

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Белорусский Республиканский фонд
фундаментальных исследований**

**Международная ассоциация разработчиков и
пользователей ультразвуковой техники и технологии**

ЗАО "Агротехнаука"

"УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ"

МАТЕРИАЛЫ

2-й международной научно-технической конференции

17-19 ноября 1999 г.

Минск - 1999

Состав руководства и организационного комитета конференции

Герасимович Л.С., академик ААН РБ, д.т.н., профессор, председатель оргкомитета, Крутов А.В., к.т.н., доцент, зам. председателя конференции, Шиялев А.С., д.т.н., профессор, зам. председателя конференции.

Члены оргкомитета

Ажаронк Н.В., Горбатовский А.К., Коротинский В.А., Лугаков Н.Ф., Шестерень В.Е., Достанко А.П., Клубович В.В., Крылович В.И., Кухарев А.В., Лазюк Д.Г., Ловкис З.В., Пархимович Э.М., Прохоренко П.П., Синкевич П.Н., Степаненко А.В., Тявловский М.Д.

УДК 534-8

2-я международная научно-техническая конференция
«УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ»
Материалы конференции.

Редакционная коллегия

Шиялев А.С., Крутов А.В., Минина Н.Н., Баранова Р.Н., Костюченко А.В.

Материалы международной научно-технической конференции
«УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ»
изданы при финансовой поддержке
Белорусского Республиканского фонда
фундаментальных исследований

ПРЕДИСЛОВИЕ

25-27 октября 1995 года в г. Минске, в Белорусском государственном аграрном техническом университете (БАТУ), состоялась 1^{ая} Международная научно-техническая конференция «Ультразвуковая техника и технология». Прошло четыре года. За это время, как говорят в народе, много воды утекло, многое изменилось, но неизменным остался интерес приерженцев ультразвуковой техники и технологии к новым разработкам.

Несмотря на тяжелые «перестроечные» годы, энтузиасты-ученые и практики в области физики, техники и технологии ультразвука многое смогли сделать. Наши знания обогатились новыми открытиями и изобретениями, технологиями, оборудованием и приборами в области ультразвукустики, ультразвуковой техники и технологии. Об этом свидетельствует информация, содержащаяся в тезисах настоящего сборника.

Организации 2^{ая} Международной научно-технической конференции «Ультразвуковая техника и технология» во многом способствовала Международная ассоциация разработчиков и пользователей ультразвуковой техники и технологии (МАРПУТТ). Решение по созданию МАРПУТТ, как известно, было принято 1^{ая} Международной научно-технической конференцией «Ультразвуковая техника и технология» по инициативе БАТУ. 14 октября 1996 года Минюст Республики Беларусь провел государственную регистрацию МАРПУТТ.

С целью претворения в жизнь идеи научно-технического прогресса в настоящее время БАТУ выступает с новой инициативой: создание межотраслевого Учебно-научно-производственного центра «Ультразвуковая техника и технология» – центра коллективного пользования уникальными установками, оборудованием и приборами (Центр).

Международная ассоциация и Центр коллективного пользования еще больше сплотят разрозненных ученых, специалистов-практиков, разработчиков и изготовителей ультразвуковой техники и технологии, организации с различной формой собственности для решения задач научно-технического прогресса, стоящих перед государствами ближнего и дальнего зарубежья. БАТУ приглашает к участию в совместной работе в МАРПУТТ и Центре в области ультразвуковой техники и технологии.

Организация и проведение конференции во многом стали возможными благодаря большой спонсорской помощи ЗАО «Агротехнаука». Оргкомитет лично благодарит Председателя правления ЗАО профессора П.Н.Синкевича за постоянное внимание и проявляемый интерес к этой перспективной области науки и техники.

СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ В АПК

Л.С.Герасимович

**Белорусский государственный аграрный технический
университет, г. Минск**

Ученые Российской Академии Прогнозирования предсказывают, что на 2003-2005 придется пик потребностей в специалистах по созданию и повышению качества продуктов питания. Разработка принципиально новых технологий и совершенствование существующих в производстве и переработки продуктов сельскохозяйственного производства на основе использования последних достижений фундаментальных наук является актуальной задачей XXI века.

К числу перспективных технологий для АПК относится ультразвуковая технология.

В основе ультразвуковой технологии лежат особые свойства и закономерности распространения и взаимодействия ультразвуков малых и конечных амплитуд со средой.

В Белорусском государственном аграрном техническом университете (БАТУ) в течение многих лет (более трех десятков) проводятся фундаментальные и прикладные исследования в области физики, техники и технологии ультразвука. За это время в БАТУ накоплен значительный опыт, интеллектуальный потенциал, получен ряд ценных научных и практических результатов, которые находят применение в АПК и других отраслях народного хозяйства Республики Беларусь и России.

При кафедре «физика» БАТУ работает Межкафедральная учебно-научно-исследовательская лаборатория «Ультразвуковая техника и технология». В учебные планы кафедры «физика» включен спецкурс «Ультразвуковая техника и технология в АПК». Наряду с лекциями, по спецкурсу проводятся лабораторные занятия. Лаборатория стала базой не только для подготовки инженерных кадров, но и для подготовки научных кадров.

Созданная и расширяющаяся экспериментальная база лаборатории может использоваться различными научными организациями Академии аграрных наук, промышленными предприятиями АПК и других отраслей народного хозяйства.

БАТУ стал Международным центром по ультразвуковой технике и технологии:

- создана Международная ассоциация разработчиков и пользователей ультразвуковой техники и технологии (МАРПУТТ),

- проводятся Международные научно-технические конференции «Ультразвуковая техника и технология» и т.п.

В целях повышения научного уровня фундаментальных и прикладных исследований, создания новейших технологий на базе достижений в области физики ультразвука, ультразвуковой техники и технологии, эффективности рационального использования бюджетных средств, БАТУ вышел с предложением в Совет Министров, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь создать при БАТУ Учебно-научно-производственный центр «Ультразвуковая техника и технология» – центр коллективного пользования.

Основными задачами Учебно-научно-производственного центра «Ультразвуковая техника и технология» являются – проведение на базе ультразвуковых установок, оборудования и приборов БАТУ совместных научно-исследовательских, опытно-конструкторских и прикладных работ в следующих направлениях.

- разработка новых способов и средств интенсификации технологических процессов и материалов с использованием ультразвуковых и других физических полей;

- разработка новых способов и средств ультразвуковых измерений, анализа, контроля, дефектоскопии и диагностики;

- разработка новых способов и средств воздействия импульсных, вперидических низкочастотных и высокочастотных акустических колебаний на физические, физико-химические, биохимические, физиологические и биологические процессы в растениеводстве, ветеринарии и медицине;

- разработка на основе фундаментальных исследований технологических процессов, оборудования и приборов интенсификации и контроля для АПК и других отраслей народного хозяйства;

- опытно-конструкторские разработки и изготовление опытно-промышленных образцов оборудования и приборов;

- опытно-промышленные испытания разработанных технологических процессов, оборудования и приборов;

- проведение конференций, семинаров, курсов, выставок и т.п. с целью повышения квалификации научных и инженерных кадров и специалистов по вопросам использования новейших ультразвуковых технологий, оборудования и приборов в АПК, здравоохранении и промышленности;

- подготовка инженерных и научных кадров для АПК.

Основываясь на предварительных исследованиях, БАТУ предлагает Минсельхозпроду РБ проведение следующих перспективных разработок на основе использования ультразвука.

Выполнить научно-исследовательские работы:

- по влиянию ультразвука на молоко и определить эффективность использования ультразвука в производственных условиях на молокопредприятиях,

- по разработке технологии ультразвуковой обработки семян зерновых культур и картофеля.

- Разработать:

- ультразвуковой прибор для измерения толщины шпика на свиньях;

- малогабаритный анализатор молока для ферм;

- автоматизированный измерительный комплекс входного контроля параметров молока для молокоперерабатывающих предприятий РБ, расположенных в зоне радиационного загрязнения;

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для получения жировых эмульсий в производстве колбасных изделий,

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование посола мяса;

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для производства замороженного молока,

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для получения молочного порошка,

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для ускорения созревания сыра;

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для экстрагирования растительных масел,

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для получения маргариновых и майонезных эмульсий,

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для осветления растительных масел;

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для приготовления водно-мучных заливок в хлебопекарной промышленности,

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для приготовления жировых эмульсий в хлебопекарной промышленности;

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для повышения подъемной силы и бродительной энергии дрожжей;

- ультразвуковой технологический процесс и оборудование для очистки диффузионного сока в сахарной промышленности,
- широкого спектра частот массажные комплексы для животных с целью повышения молокоотдачи и предотвращения маститов,
- технологический процесс и установку ультразвуковой очистки противней и форм, использующихся в хлебопекарной промышленности,
- технологический процесс ультразвуковой наплавки режущего инструмента для мясной промышленности (волчков, куттеров и т.п.).

Разработать и освоить:

- серийное производство ультразвукового оборудования и технологию очистки механических деталей и узлов сельхозмашин в ремонтных подразделениях.

Усовершенствовать:

- технологию восстановления и изготовления деталей машин электродуговой наплавкой в ультразвуковом поле.

Повысить:

- посевные качества семян основных сельскохозяйственных культур (зерновых, пропашных, трав) путем их стимуляции ультразвуком перед посевом.

Разработать и внедрить:

- системы форсирования ультразвуком процессов выращивания и сушки солода.

Внедрить:

- ультразвуковой измерительный комплекс «АМУ-4П» входного контроля параметров молока на перерабатывающих предприятиях РБ.

Министерства и ведомства, заинтересованные в проведении исследований, будут на договорной основе в установленном порядке оказывать Учебно-научно-производственному центру «Ультразвуковая техника и технологии» финансовую поддержку для осуществления его деятельности

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТРОМБОРАЗРУШЕНИЯ IN VIVO

И.Э. Адзерихо

Белорусский институт усовершенствования врачей, г. Минск

Ранее нами было показано, что воздействие непрерывного низкочастотного ультразвука (НЧУЗ) в комбинации со стрептокиназой (СК) или без нее обеспечивает более быстрое разрушение тромбов in vitro по сравнению со СК.

Целью проводимого исследования было изучить эффективность и безопасность внутрисосудистого (в/с) УЗ тромболитика с помощью сконструированной нами новой УЗ-катетерной системы in vivo.

Материалы и методы. Моделирование острого внутрисосудистого тромбоза проводили на бедренных артериях у 15 беспородных собаках весом 20-25 кг. Для формирования острого тромбоза 1 мл тромбина (50U) смешивали с 4 мл сгустка венозной крови, который затем с помощью шприца вводили в выделенный оперативным способом сегмент бедренной артерии длиной 4-6 см. Через 2 часа после формирования тромба осуществляли его разрушение путем 1) внутрисосудистого катетерного введения СК (240 000Ед) в течение 30 мин, 2) в/с катетерного НЧУЗ воздействия (22 кГц, 10 Вт/см²), 3) комбинированного воздействия СК и НЧУЗ (доза СК и параметры НЧУЗ те же, что и в предыдущих опытах). Состояние внутриартериального тромба, а также дистального сосудистого русла оценивалось с помощью ангиографии, которая выполнялась до и после формирования экспериментального тромбоза, а также спустя 40 минут после осуществления его разрушения. После вывода животных из опыта сосудистая стенка артерии в месте образования тромба и соответственно его разрушения подвергалась микроскопическому исследованию. Использовались следующие методы окраски: гематоксилин-эозином, по Массону, серебрением, на фибрин, а также ШИК-реакцией.

Результаты. Данные ангиографического исследования показали, что практически во всех случаях достигнуто образование артериального тромбоза, который характеризовался полным отсутствием контрастирования дистальных отделов магистрального сосуда, а также раскрытием большого числа коллатеральных ветвей. В нескольких экспериментах тромб не полностью перекрывал просвет сосуда, вследствие чего частично сохранялся кровоток в дистальных отделах, о

чем свидетельствовал «дефект наполнения» магистрального сосуда в зоне тромбообразования. Воздействие стрептокиназой (СК), НЧУЗ, а также комбинацией СК и НЧУЗ приводило к восстановлению кровотока, степень которого однако была различной при данных методах лечения. Так, наиболее полного и безопасного разрушения тромба удалось добиться при комбинированном воздействии СК и НЧУЗ (во всех 100% случаях), при этом без признаков тромбоэмболии дистального кровообращения. В то время как при применении НЧУЗ хотя и не визуализировался тромбоз в зоне тромбообразования, однако имелись признаки дистальной тромбоэмболии, а при введении СК, в большинстве случаев наблюдался пристеночный тромбоз, т.е. неполный тромболизис. Кроме того, время эффективного тромборазрушения для всех трех исследуемых методов было различным. Так, для СК оно составило 30 ± 5 минут, для НЧУЗ – $4,2 \pm 2,3$ минут, а для СК+НЧУЗ – $3,8 \pm 2,7$ минут. Микроскопическое исследование свидетельствовало, что при ультразвуковом тромборазрушении *in vivo* наблюдается повреждение сосудистой стенки, выраженность которого минимизируется сочетанием с ультразвуком применением стрептокиназы.

Выводы. Результаты проведенной работы свидетельствуют, что при использовании комбинированного со СК НЧУЗ воздействия происходит более быстрое и полное тромборазрушение, по сравнению как со СК, так НЧУЗ

ВОЗМОЖНОСТИ ЧРЕСПИЩЕВОДНОЙ ЭХОКАРДИОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ АНЕВРИЗМ АОРТЫ

Н.М.Тяшкевич, Ю.М.Чеснов, Н.Н.Мороз, С.А.Курганович
Республиканский центр сердечно-сосудистой хирургии, г.Минск

Чреспищеводная эхокардиография (ЧПЭ) открыла новую эру в диагностике аневризм аорты. ЧПЭ является быстрым и минимально инвазивным методом диагностики заболеваний грудной аорты. Близкое расположение пищевода к сердцу и сосудам позволяет получить изображение высокого качества и разрешения.

Цель исследования: определить роль ЧПЭ в диагностике аневризм аорты в сравнении с трансторакальной эхокардиографией (ТТЭ) и артографией.

С июня 1995 по июнь 1999 г.г. было выполнено 718 исследований ЧПЭ, из них у 66 больных с подозрением на аневризму аорты. В 52 случаях диагноз был подтвержден, причем в 21 случае выявлена расслаивающаяся аневризма. В 94,3 % случаев ЧПЭ позволила получить достоверную информацию о локализации и протяженности аневризмы, состоянии клапанного аппарата, коронарных артерий, наличии и локализации фенестраций, интимальных отслоений, тромботических масс. В 3 случаях интерпретация данных была несколько затруднена из-за плохого ультразвукового окна, но основная информация о локализации и размерах аневризмы все же была получена.

Данные ЧПЭ позволили выбрать правильную тактику операции и полностью совпали с интраоперационными находками, при этом не было ложно-положительных или ложно-отрицательных результатов.

ТТЭ позволяет оценить проксимальный отдел аорты и не дает информации о ее дистальных отделах. Качество изображения при ТТЭ существенно ниже, чем при ЧПЭ. Артография наряду с преимуществами – одномоментная визуализация всей грудной аорты и левого желудочка, требует более сложного оборудования и стерильных условий, более инвазивна для больного, менее информативна в плане оценки состояния сосудистой стенки протяженности и локализации расслоения. В течение указанного периода выполнено 32 артографии, при этом информативность метода составила 82%.

Выводы: ЧПЭ может считаться методом выбора в диагностике аневризм аорты. Информацию с помощью ЧПЭ можно быстро получить у постели больного, в операционной и отделении интенсивной терапии. Высокая разрешающая способность и достоверность метода позволяет оперировать больных с аневризмами грудной аорты без дополнительных исследований

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ПУТИ СОЗДАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ

А. А. Родионов, Санкт-Петербургский НЦ РАН
Л. Е. Шейлман, ЦНИИ «Морфизприбор»

Ультразвуковые приборы в медицине находят чрезвычайно широкое и разнообразное применение. Однако, основываясь на конверсионных возможностях военной гидроакустики, в докладе обсуждается возможность предложить некоторые новые пути создания ультразвуковых приборов для медицинских целей.

1. Приборы для повышения эффективности фонопунктуры и фонофореза.

В настоящее время пункционная ультразвуковая терапия (фонопунктура) осуществляется на частоте 88 кГц.

Отмечается, что существенное повышение эффективности лечебного воздействия может быть достигнуто при переходе на частоты релаксации мышечных тканей человека в районе 31 кГц.

Однако для создания необходимой терапевтической интенсивности требуется обеспечение более высокой амплитуды колебаний возбудителя на низких ультразвуковых частотах.

Рассматривается построение ультразвуковых экспоненциальных стержневых конденсаторов ультразвука.

Обсуждаются результаты предварительных клинических испытаний макета ультразвукового терапевтического аппарата с конденсатором ультразвуковой энергии, выполненных в Российском научно-исследовательском центре нейрохирургическом институте имени проф. А. Л. Поленова. Отмечено улучшение состояния денервированных тканей при достижочной комфортности процедуры и отсутствии осложнений. Обращено внимание на необходимость при создании серийного аппарата внести в него ряд усовершенствований.

Отмечается необходимость разработки объективного контроля за эффективностью воздействия, в частности, методом Фолля.

Введение лекарственных веществ с помощью ультразвука (фонофорез) осуществляется в настоящее время либо «наливом», либо с помощью мазей.

Обсуждается возможность повышения эффективности фонофореза путем ввода жидкости через специальные «обратные» конденсаторы. Кроме того, предлагается перейти от обычной «терапевтической» частоты на частоты релаксации мышечных тканей.

2. Приборы для повышения эффективности физиотерапии в ванне.

На границе вода-человеческое тело акустическая энергия практически не отражается, поскольку у них очень близкие волновые акустические сопротивления. Поэтому эффективность терапевтического воздействия может быть существенно повышена путем лечения ультразвуком и звуком при нахождении человека в ванне.

Отмечается, что известные способы состоят только в воздействии на рефлексогенные зоны, а не на весь организм человека в целом.

Обсуждается возможность повышения физиотерапевтического эффекта и, в частности, создание тонизирующего акустотерапевтического воздействия на организм человека и его органы путем облучения человека, находящегося в ванне, на частотах резонанса организма в целом или его отдельных органов.

При этом пациент находится в положении лежа или сидя в пресной, хвойной, минеральной или другой ванне с жидкой средой.

Обсуждается выбор частот и интенсивностей акустического воздействия, а также целесообразность в пределах одной или нескольких музыкальных полос создавать прерывистые акустические колебания в воде, в том числе так, чтобы образовывалась та или иная мелодия мажорного или минорного плана, в зависимости от индивидуальных особенностей пациента.

3. Приборы для повышения эффективности лечения мочевого пузыря и желудка.

В настоящее время ультразвуковое лечение болезней мочевого пузыря человека осуществляется путем облучения ультразвуком через мышечные ткани живота.

Повышение эффективности терапевтического воздействия может быть достигнуто путем введения ультразвуковых колебаний непосредственно в мочевой пузырь.

Ультразвуковое физиотерапевтическое лечение заболеваний кишечника осуществляется также путем облучения снаружи.

Для повышения эффективности лечения кишечника также целесообразно введение ультразвуковых колебаний непосредственно в кишечник, совмещая это воздействие с микроклизмой или клизмой.

Для введения ультразвуковых колебаний через резиновые трубки рабочие частоты необходимо выбирать таким образом, чтобы наблюдалось волновое распространение ультразвука.

Отмечается, что в трубках с податливыми стенками акустическое давление вызовет не только сжатие среды, но и изменение сечения трубы. Рассматриваются случаи, когда скорость звука в резине больше скорости звука в жидкости, заполняющей трубу, и когда скорость звука в резине меньше, чем скорости звука в жидкости, заполняющей трубку. Определяются критические частоты и производится выбор рабочего диапазона частоты

Приводятся расчетные соображения по выбору возбудителей ультразвука в виде цилиндрических стержневых концентраторов.

4. Приборы для повышения эффективности акустотерапии.

В настоящее время используют ультразвуковую физиотерапевтическую аппаратуру на частотах 880 кГц и 2 МГц. При 2 Вт/см² амплитуда смещения на частоте 880 кГц не превышает 0,03 мкм. Эти амплитуды недостаточны для лечения денервированных органов человека.

Как известно, диаметр живых клеток человека в среднем 30 мкм. Неравномерности живого организма имеют размеры до 0,1 – 0,2 мм. В связи с вышесказанным, желательно использовать более низкие частоты и применение больших интенсивностей.

Целесообразно использование цилиндрических гидроакустических излучателей, состоящих из пьезокерамического элемента, с диаметром колец 30 – 50 см. Внутри этих колец концентрируется интенсивное акустическое поле для оказания лечебного воздействия на поврежденные и денервированные конечности.

Приводятся схемы построения приборов.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА

А М Дмитриев, Н И Бохан, А С Стукин, А С Шилиев
Белорусский государственный аграрный технический
университет, г Минск

Традиционные подходы и методы при решении проблемы обработки молока в условиях молочно-товарных ферм колхозов, совхозов и фермерских хозяйств, а также в перерабатывающей промышленности на наш взгляд, не позволяют достичь высоких результатов улучшения санитарно-гигиенических качеств, обеспечивающих стойкость при хранении и сохранение его биологической ценности.

Так, например, проблема тепловой обработки молока (пастеризация и стерилизация) – уменьшение времени и температуры обработки. Уменьшение времени нагрева, температуры пастеризации и стерилизации сохранит витаминный состав, вкус, аромат, цвет, отдельные компоненты молока и его качества.

В молоке содержится большое количество газов. Газы в молоке оказывают весьма отрицательное влияние на качество, свойства и продолжительность хранения молока и молочных продуктов. Поэтому проблема дегазации (перевод газа из растворенного состояния в свободное), дезаэрации (удаление свободных газовых пузырьков из молока) является также очень актуальной.

Применяемые современные методы и средства в технологии обработки молока вообще и первичной обработки в частности, как правило, выполняют только какую-то одну операцию в общем технологическом цикле обработки: гомогенизация, дезодорация, пастеризация и т.д. Поэтому весь технологический цикл обработки молока оказывается очень продолжительным по времени и, следовательно, недостаточно эффективным, поскольку время процесса лимитирует качество молока.

В результате проведенных исследований разработан макет ультразвуковой установки для обработки молока.

Ультразвуковая обработка молока может производиться как в потоке, так и в стационарном состоянии.

В силу ряда процессов и явлений, протекающих в молоке в мощных акустических полях (кавитация, являющаяся причиной возникновения локальных высоких давлений и температур, диспергирования компонентов, дегазации и т.д.; акустические потоки, являющиеся

причиной всплытия газовых пузырьков, различных примесей, радиационное давление, являющееся также причиной всплытия газовых пузырьков и примесей, других эффектов второго порядка в жидкой среде (в мощном ультразвуковом поле) становятся одновременно возможными процессы гомогенизации, дегазации, деаэрации, дезодорации, рафинирования, пастеризации и стерилизации молока.

Анализ результатов проведенных исследований по ультразвуковой обработке молока позволяет сделать следующие основные выводы и сформулировать рекомендации для дальнейших работ в области разработки научных основ ультразвуковой технологии первичной обработки молока, средств обработки и реализации в производстве.

Ультразвуковая жидкофазная технология является эффективным средством интенсификации процессов первичной обработки молока и в перерабатывающей промышленности.

Особенно целесообразно применение ультразвуковой жидкофазной технологии при охлаждении, пастеризации, стерилизации, дезодорации. В этих процессах особенно эффективно должны проявляться интегрально эффекты второго порядка, имеющие место при распространении в жидкой фазе ультразвуковых колебаний больших амплитуд.

Применение ультразвуковой жидкофазной технологии в процессах первичной обработки молока и перерабатывающей промышленности не должно ограничиваться только улучшением санитарно-гигиенических качеств, обеспечения стойкости при хранении, сохранности биологической ценности молока, а должно получить развитие в направлении создания качественно нового продукта с более высокой биологической ценностью и усвояемостью организмом.

При определенных энергетических, временных и температурных режимах ультразвуковой обработки молока может быть достигнут положительный интегральный эффект, связанный с санитарно-гигиеническими качествами, обеспечивающими стойкость при хранении и сохранение его биологической ценности.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Л.Н.Беляцкая, А.В.Чигарев

Белорусская государственная политехническая академия

Функционирование машин, приборов, аппаратуры всегда сопровождается определенными потерями энергии на возбуждение вибраций и волн, излучение которых позволяет диагностировать состояние механической системы. Существует большое количество технологий, основанных на интенсификации процессов за счет подведения в рабочую зону звуковых и ультразвуковых колебаний. Например, при обработке материалов применение ультразвука позволяет повысить интенсивность и качество обработки материала. В вибродиагностике требуется решение обратных задач, которые являются некорректными. Это означает, что даже малая погрешность в определении вибрационного поля приводит к большим погрешностям в оценке диагностируемого процесса. Возникновение хаотизации в вибрационном или волновом поле сильно сказывается на погрешности диагностирования, идентификации исследуемого процесса. Хаотизация процессов распространения вибраций и волн звуковой обработки материалов ведет к тому, что энергия постукает в рабочую зону в количествах, меньших подводимых. Таким образом, хаотизация процессов распространения вибраций и волн в механических системах является актуальной. Представляет интерес тот факт, что стохастизация в машинах, приборах даже в том случае, если они представляют собой линейные механические системы. Стохастизация может возникать за счет структурной неоднородности материалов, неоднородных полей напряжений.

Рассмотрим стохастизацию процесса распространения высокочастотных вибраций в неоднородных средах. В настоящее время в различных машинах, приборах используется все больше композиционных материалов, которые имеют существенно неоднородную структуру. Известно, что энергия высокочастотных колебаний в среде распространяется вдоль лучевых трубок, образуемых траекториями лучей. Стохастизация этих траекторий обуславливает хаотический отток или приток энергии в рассматриваемой области среды. •

Основную роль в задачах диагностики и обработки материалов представляет изучение поверхностных полей вибраций и волн. Рассмотрим плоскость xOy , ограничивающую неоднородную среду $z \leq 0$. По плоскости распространяются вибрации в виде поверхностных волн или скачки волн напряжений от ударов или развивающихся трещин. Энергия вибраций и

волн распространяется вдоль лучей, траектории которых находятся на основе принципа Ферма [1]. В однородном материале при отсутствии остаточных напряжений лучи — прямые линии. Вследствие неоднородности материала или поля напряжений траектории лучей — кривые линии $y=y(x)$, удовлетворяющие уравнению

$$y + y(1+y^2)\varphi_1(x,y) - y^2(2-y^2)\varphi_2(x,y) - \varphi_3(x,y) = 0.$$

$$y = \frac{dy}{dx}, \quad \varphi_1 = \frac{\delta \ln n}{\delta x}, \quad \varphi_2 = \frac{\delta \ln n}{\delta y}, \quad (1)$$

где n — коэффициент преломления.

При условии, что в уравнении (1) можно учесть нелинейность по y до третьего порядка, получаем

$$z + z\omega^2(1 + \alpha z^2) - \varepsilon \alpha z \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - nX) = 0, \\ z = yn^{1/2}, \quad X = \frac{2\pi}{\Omega}, \quad \Omega \ll \omega, \quad \omega^2 = N, \quad M = 0, \quad L = \omega^2 \alpha. \quad (2)$$

Аналогично [2] установлено, что стохастизация поверхностных траекторий и полей вибрации возникает при условии $\varepsilon \frac{\Delta \omega}{\Omega} \gg 1$, т.е.

расстояние $X = \frac{2\pi}{\Omega}$ между жесткими включениями должно быть достаточно велико. Находится расстояние вдоль направления распространения вибраций и волн, начиная с которого происходит стохастизация.

Запишем уравнение (2) в переменных действие (I) — фаза (θ)

$$I = \varepsilon \Psi(I, \theta, x), \quad \theta = \omega(I), \quad (3)$$

$$\Psi = I \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(x - kX) \sin 2\theta$$

Введем функцию плотности вероятностей $p(x, I, \theta)$, удовлетворяющую известному уравнению Лиувилля [3].

$$\frac{\delta p}{\delta x} + \theta \frac{\delta p}{\delta \theta} + i \frac{\delta p}{\delta I} = 0, \\ \int p(x, I, \theta) dI d\theta = 1 \quad (4)$$

Представим $p(x, I, \theta)$ и $\psi(x, I, \theta)$ в виде

$$p(x, l, \theta) = \sum p_n(x, l) e^{in\theta} + p_{-n}(x, l) e^{-in\theta},$$

$$\Psi(x, l, \theta) = I \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(x - kX) \sin 2\theta = \sum_{n=0}^{\infty} \Psi_n^+(x, l) e^{in\theta} + \Psi_n^-(x, l) e^{-in\theta}, \quad (5)$$

$$p_{-n} = p_n, \quad \Psi_{-n} = \Psi_n^*$$

Подставляя (5) в (4), получим в нулевом приближении уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК) для $p_0(x, l)$ с граничным условием $p_n(0, l, \theta) = p_0(0, l) \delta_{n0}$

$$\frac{\delta p_0}{\delta x} = -\frac{\delta}{\delta l} (\alpha_1 l p_0) + \frac{1}{2} \frac{\delta^2}{\delta l^2} (2\alpha_1 l^2 p_0), \quad (6)$$

$$\alpha_1 = \varepsilon^2 8\pi\Omega$$

Уравнению (6) поставим в соответствие стохастическое дифференциальное уравнение, которое определим однозначным образом.

Обозначим коэффициент сноса в уравнении (6) через K_1 , коэффициент диффузии через K_2 , тогда, т.к. $K_1 = \alpha_1 l$, $K_2 = 2\alpha_1 l^2$, то получим

$$I = 2 \sqrt{\frac{\alpha_1}{N}} l(x) v(x) \quad (7)$$

Здесь $v(x)$ - чисто случайный процесс, $\langle v \rangle = 0$, $\langle v(x)v(x') \rangle = N\delta(x-x')$.

Рассмотренное приближение соответствует приближению хаотических фаз.

Вернемся к начальным переменным x , y , тогда в приближении хаотических фаз траектория луча удовлетворяет уравнению

$$y = y \left[-\frac{1}{2} (\ln n)' + \sqrt{\frac{\alpha_1}{N}} v \right] \quad (8)$$

Уравнение ФПК в переменных x , y имеет вид

$$\frac{\delta f(y, x)}{\delta x} = -\frac{\delta}{\delta y} \left[\frac{\alpha_1}{4} - \frac{1}{2} (\ln n)' y f \right] + \frac{1}{2} \frac{\delta^2}{\delta y^2} \left[\frac{\alpha_1}{2} y^2 f \right], \quad (9)$$

где $f(y, x)$ - плотность вероятностей отклонения y луча от оси x .

Уравнение (9) имеет аналитическое решение в виде

$$f(y, x) = \frac{1}{y \sqrt{\pi \alpha_1 x}} \exp \left\{ -\frac{\ln^2 y n^{1/2}}{\alpha_1 x} \right\} \quad (10)$$

Во всех вышенаписанных формулах $n(x)$ представляет собой детерминированную функцию, от конкретного вида которой существенно зависит поведение лучей, вдоль которых переносится энергия поверхностных

волн и вибраций. Таким образом, установлены условия, при которых возникает детерминированный хаос в волновых полях.

На рис. 1 изображена поверхность плотности вероятности в зависимости от x, y при заданных значениях p, Q .

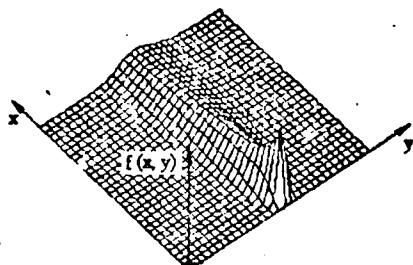


Рис. 1. Поверхность распределения плотности вероятности $f(x, y)$ при $p = 1,5, Q = 0.0995$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заславский Г.М. Статическая необратимость в нелинейных системах. -М.: Наука, 1970, 143 с.
2. Чигарев А.В., Чигарев Ю.В. О возможности возникновения стохастической неустойчивости лучей в неоднородных средах. -Акустический журнал, 1978, XXIV, вып. 5, с. 765-771.
3. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику. -М.: Наука, 1988, 368 с.

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТР УЗ СИГНАЛОВ

А.Н.Осинов, В.М.Бондарик

Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники, г.Минск

Цифровая обработка сигналов находит все большее применение в УЗ технике (акустическая эмиссия, измерители скорости потоков жидкости и газа, дальномеры и т.д.) [1,2]. Цифровые устройства контроля, дефектоскопии и диагностики характеризуются большим объемом вычислений. Одним из основных элементов цифровых фильтров является сумматор-накопитель. Параметры цифровой фильтрации в значительной степени определяются временем выполнения операций в сумматоре. Для увеличения скорости вычислений используются нетрадиционные системы счисления [3]. Недостатком подобного подхода является необходимость перевода данных из двоичной системы счисления в нетрадиционную на входе устройства и обратно на выходе, что требует дополнительных временных и аппаратных затрат. В докладе рассматривается вопрос синтеза быстродействующих фильтров УЗ-сигналов на основе преобразования сумм чисел.

Известно [4], что частота поступления сигнального вектора определяется временем сложения на сумматоре-накопителе. Для увеличения быстродействия сумматора-накопителя предлагается использовать преобразование операции сложения трех чисел в операцию сложения двух чисел [5]. Данное преобразование описывается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} X_1 + X_2 + X_3 &= X'_1 + X'_2 \\ X'_{1,i} &= X_{1,i} \oplus X_{2,i} \oplus X_{3,i} \\ X'_{2,i} &= X_{1,i-1} \cdot X_{2,i-1} \vee X_{2,i-1} \cdot X_{3,i-1} \vee X_{1,i-1} \cdot X_{3,i-1}, \end{aligned} \quad (1)$$

где X_i - значение i -го разряда числа. Как следует из (1), значения i -го разряда числа X'_1 зависят и определяются только из значений i -х разрядов чисел X_1, X_2, X_3 , а значения i -го разряда числа X'_2 - определяются и зависят только от значений $(i-1)$ -х разрядов чисел X_1, X_2, X_3 и не зависят от значений предыдущих разрядов. Следовательно, время преобразования не зависит от длины обрабатываемых чисел.

На рис.1 представлена схема сумматора-накопителя, реализованная в соответствии с (1). На вход устройства последовательно поступают N отсчетов $X_1, X_2 \dots X_N$ сигнала разрядности k , которые необходимо накопить. В начале работы сигнал с выхода тактового генератора обнуляет содержимое регистров 1, 2, 3, 4. Одновременно первый операнд

X_1 поступает на вход устройства. Данный отсчет и нулевое содержимое регистров 1 и 2 преобразуются в сумматоре 1 в два числа в соответствии с (1). По переднему фронту сигнала тактового генератора вычисленные значения заносятся соответственно в регистры 1 и 2, а по заднему фронту – данные числа из регистров 1 и 2 переписываются в регистры 3 и 4.

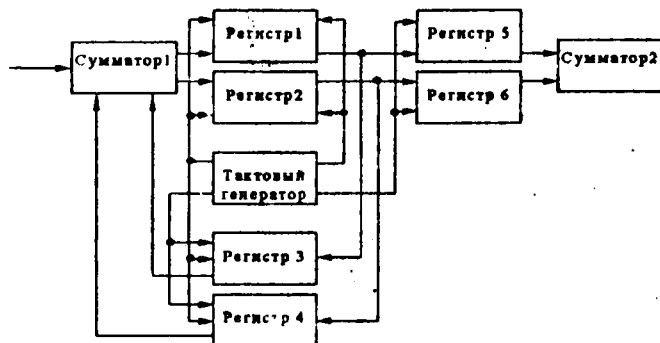


Рис.1 Сумматор-накопитель

Регистры 3 и 4 предназначены для хранения результатов сложения, полученных в предыдущих тактах. Аналогичным образом в следующем такте работы поступившее на вход устройства число X_2 складывается в сумматоре 1 с содержимым регистров 3 и 4. Результат сложения представляется двумя числами, сумма которых есть искомый результат. Таким образом, на выходе первого сумматора в i -м такте работы устройства появляется два числа X'_m и X''_{m+1} :

$$X'_m + X''_{m+1} = \sum_{i=1}^1 X_i. \quad (2)$$

В N -м такте в регистрах 1 и 2 хранится пара чисел, сумма которых дает результат накопления N отсчетов. Окончательное сложение выполняется в сумматоре 2. Для этого на входы регистров 5 и 6 поступает сигнал с тактового генератора, который разрешает перезапись данных из регистров 1 и 2 соответственно в регистры 5 и 6. Второй сумматор реализован по известной схеме как сумматор с последовательным переносом. Результат накопления чисел $X_1, X_2 \dots X_N$ поступает на выход устройства.

Анализ быстродействия данного устройства показал, что частота поступления отсчетов сигнального вектора зависит от соотношения

времени накопления в регистрах 1 и 2 и времени вычисления в сумматоре 2. Так, во время обработки данных во втором сумматоре, первый сумматор готов накапливать очередные входные данные. Если время суммирования во втором сумматоре меньше времени накопления N чисел в сумматоре 1 ($k \leq N$), то частота поступления данных в устройство равна:

$$f_T = \frac{1}{t_0}, \quad (3)$$

где t_0 - время вычисления одного разряда при суммировании входных данных. В противном случае ($k > N$):

$$f_T = \frac{1}{\left(\frac{k}{N}\right) \cdot t_0}. \quad (4)$$

Увеличение частоты поступления данных для первого (3) и второго (4) случаев в сравнении с устройством, реализующим типовой алгоритм, составляет соответственно:

$$B_1 = k, \quad (5)$$

$$B_2 = N. \quad (6)$$

Таким образом, установлено, что синтез цифровых фильтров УЗ-сигналов на основе преобразования сумм чисел позволяет увеличить частоту поступления входного вектора. Увеличение частоты тем выше, чем больше длина обрабатываемой последовательности и разрядность обрабатываемых отсчетов. Это позволит улучшить отношение сигнал/шум, сократить время обработки сигналов, увеличить быстродействие устройств УЗ контроля, дефектоскопии и диагностики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровые фильтры и их применение: Пер. с англ. / В. Каппеллини, А. Дж. Константинидис, П. Эмилиани. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 360 с.
2. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. - М.: Наука, 1989.
3. Гамаюн В.П. Метод параллельного вычисления / Управляющие системы и машины, 1994, N1,2, с.10-13.
4. Цифровая обработка сигналов: Справочник / Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. - М.: Радио и связь, 1985. - 312с.
5. Осипов А.Н. Синтез высокоскоростных цифровых процессоров сигналов // Реферативный сборник БЕЛИСА, 1997, вып.6, с.80.

НАКОПЛЕНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ МЕТАЛЛА ПАРОПРОВОДОВ

В. И. Петров, С. Ф. Подборонников, В. Е. Громов

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

В современном теплоэнергетическом оборудовании применяются теплоустойчивые низколегированные стали с достаточной стабильностью свойств. Для таких сталей эксплуатационные параметры соответствуют давлениям до 14 МПа и температуре 565-570°C. К наиболее распространенным сталям, применяющимся для паропроводов, относится сталь 12Х1МФ, основу которой составляет малолегированный раствор на основе α -железа. Стабилизация структуры этой стали происходит через 30...70 тысяч часов эксплуатации, когда она становится более однотипной.

Гнутые отводы паропроводов повреждаются более интенсивно, поскольку изготавливаются путем холодной деформации и не подвергаются термической обработке при толщине стенки менее 12 мм, и к концу расчетного срока эксплуатации (100 тысяч часов) в металле гнутых отводов присутствует большее число пор. Это происходит вследствие ужесточения исходного напряженного состояния - появления овальности до 6 - 8%, которая при воздействии эксплуатационных нагрузок уменьшается.

К настоящему времени большая часть теплоэнергетического оборудования отработала расчетный срок, а оценить работоспособность паропроводов (прямых участков и гнутых отводов) обычными методами дефектоскопии затруднительно в условиях эксплуатации из-за наличия окалины и теплоизоляционных покрытий, а также высоких температур. Кроме этого, полная замена его нецелесообразна вследствие дефицита металла и его высокой стоимости.

В этих условиях весьма актуальным становится применение нетрадиционных методов дефектоскопии, позволяющих определять не только местонахождение развивающегося дефекта, но и его развитие в процессе эксплуатации. Такими возможностями обладает метод акустической эмиссии АЭ, основанный на регистрации волн напряжений, возникающих при развитии любого дефекта. Применение АЭ связано с регистрацией полезного сигнала на высоком уровне шумов от работающего оборудования.

Внедрение систем акустического контроля включало следующие этапы:

- разработка преобразователей широкополосных и узкополосных;
- определение спектра промышленных шумов 100-канальным анализатором спектра параллельного типа с применением широкополосного преобразователя для определения полосы частот полезного сигнала АЭ;
- изготовление резонансных систем датчик -предварительный усилитель для регистратора сигналов АЭ;
- отладка блока определения местоположения дефекта на реальном объекте.

Для установки диагностирующего комплекса приборов на оборудование тепловых станций (ТЭС) предварительно определяются участки, которые подвергаются повышенным нагрузкам в процессе эксплуатации Система обеспечивает локацию развивающегося дефекта с погрешностью менее 5%.

Применение данной методики на ряде ТЭС позволило выявить дефектные паропроводы (гнутые отводы) острого пара, промежуточного перегрева, а также обнаружить трещины в корпусах турбин.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

И.С. Лобова, В.Д. Сарычев, В.И. Петров

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

При регистрации сигналов акустической эмиссии от трещины в нагруженных изделиях возникает проблема интерпретации регистрируемого сигнала. В связи с этим в данной работе осуществлен анализ перераспределения энергии при образовании и движении трещины с учетом наличия двух свободных поверхностей.

В настоящем сообщении рассматривается трещина конечных размеров, перпендикулярная свободной поверхности внутри конечной нагруженной полосы.

Важным обстоятельством, неучтенным ранее, является наличие волн, отраженных от свободных поверхностей, определяемые поля упругих напряжений и смещений удовлетворяют уравнениям движения, закону Гука и граничным условиям:

$$\begin{aligned} x = \pm \infty; \quad 0 \leq z \leq H: \quad \sigma_x = \sigma_0(z), \tau = 0; \quad z = 0, H, \quad -\infty < x < \infty: \\ \tau = \sigma_z = 0; \quad x = 0; \quad 0 < z \leq z_0(t); \quad \sigma_z = \tau = 0, \end{aligned}$$

где $z_0(t)$ - координата вершины трещины, H - высота образца,

$\sigma_0(z)$ - приложенная нагрузка.

В процессе решения задачи, напряжение, заданное на $\pm \infty$, сносится на линию $x=0$; учитывается симметрия по оси x , условие при $0 < z < H$ заменяется на приближенное. Используются преобразования Фурье для смещений U и W .

Из уравнений движения и закона Гука для образов Фурье перемещений получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= -q^2 c_1^2 u + c_2^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - q(c_1^2 - c_2^2) \frac{\partial W}{\partial z} - c_1^2 q U(0, z, t) \\ \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} &= -q^2 c_2^2 W + c_1^2 \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} + q(c_1^2 - c_2^2) \frac{\partial u}{\partial z} + (c_1^2 - 2c_2^2) \frac{\partial U(0, z, t)}{\partial z}, \end{aligned}$$

где c_1, c_2 - скорости продольных и поперечных волн; U, W - образы Фурье соответствующих перемещений, q - параметр преобразования Фурье.

Таким образом, задача об излучении волн трещиной, движущейся перпендикулярно свободной поверхности, сводится к конечным выражениям в образах, что дает возможность получить все компоненты напряжений и, следовательно, вклад в перенос энергии соответствующих компонент волнового поля

АКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРОВАННОМ ВОЛОЧЕНИИ ПРОВОЛОКИ

Т.В.Ерилова, И.Н.Воронов, В.Е.Громов, С.Н.Кудрин, Е.В.Лыков
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

В настоящее время получило дальнейшее распространение электростимулированное деформирование материалов. Импульсный характер многократного воздействия током вынуждает обратить внимание на колебательные процессы в деформирующей системе.

Проведено как обычное (ОВ), так и электростимулированное волочение (ЭСВ) широко применяемых в народном хозяйстве малоуглеродистых и низколегированных сталей. Волочение осуществлялось на промышленно-лабораторной установке, состоящей из однократного волочительного стана и генератора импульсов электрического тока с системой токоподвода. Рассмотрено влияние различной частоты повторения импульсов тока при ЭСВ на усилие волочения, на механические свойства, микроскопическую и тонкую структуру проволоки. Выявлена немонотонная экстремальная связь между частотой импульсов тока и усилием волочения, структурой и физико-механическими свойствами сталей, определяемыми методами современного физического материаловедения. Экспериментально определены акустические спектры колебаний системы при обычном и электростимулированном волочении. Для проволоки диаметром 3-5 мм основная частота находится в диапазоне от 200 до 300 Гц. С уменьшением диаметра проволоки частота возрастает. Оказалось, что проволока после электростимулированного волочения с частотами импульсного тока, кратными третьей гармонике собственной частоты колебаний системы, обладает оптимальными механическими и физическими свойствами. Тем самым получено, что для выбора оптимальных условий электростимулированного волочения достаточно определить собственные частоты акустического спектра системы при волочении и проводить ЭСВ на этих и кратных им частотах.

Собственные частоты волочительной системы определяются из амплитудно-частотных характеристик процесса. Параметры вибрации процесса волочения (или стимуляции) запоминаются на магнитной пленке. Замтим, что ранее сигнал с магнитофона подавался на вход анализатора спектра СКЧ-72. Однако разложение сигнала в спектр можно проводить с помощью преобразований Фурье не только в анализаторе, но и по программам, имеющимся в компьютере. В настоящее время параметры вибрации (шум) процесса через вход магнитофона переносятся в

персональный компьютер и сохраняются там в виде отдельных файлов. Специальная программа "Cool Edit" позволяет принимать все измеренные данные, анализировать их различными способами. На экране можно одновременно наблюдать как временное представление сигнала, так и его спектр. Картину процесса и собственные частоты можно вывести на печать. Использование компьютера в установке для электростимулированного волочения проволоки и стимуляции образцов значительно ускоряет процесс выбора оптимальных частот воздействия. Настроенная система периодического контроля и анализа вибрации позволяет своевременно оценивать техническое состояние агрегатов процесса, предупреждать возникновение аварийных ситуаций и сокращать расходы на ремонт оборудования.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

И.В.Кузнецов, В.Е.Громов, С.М.Кулаков, В.Я.Целлермаер
Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк

В последнее время проблема усталостного разрушения является важной и актуальной, вследствие наличия большого числа машин и механизмов, части которых работают в условиях циклических нагрузжений. В связи с этим возникает задача надежного и своевременного определения критической стадии усталостного разрушения металлического изделия, которая уже была решена нами ранее [1], применительно к нашей работе. Возможность восстанавливать работоспособность металлических изделий также обсуждалась в указанных работах.

Ниже описана система автоматического управления процессом восстановления работоспособности металлических изделий, задачей которой является обработка металлических образцов импульсами тока большой амплитуды при поддержании температуры поверхности на уровне (150-200°C). Вышеуказанные импульсы создаются специальным генератором импульсов, основными недостатками которого являются следующие:

1. большой (пиковый) ток заряда конденсаторной батареи, который неблагоприятно отражается на системе электроснабжения,
2. невозможность управлять величиной заряда на накопительных конденсаторах;
3. большие потери мощности на активном токоограничивающем сопротивлении.

Эти недостатки обуславливаются, в первую очередь, наличием неудовлетворительного зарядного устройства ёмкостных накопителей ГИ. Разработанное зарядное устройство является частью САУ восстановления и предназначено для устранения недостатков, указанных выше. В целом, САУ восстановления представляется в виде трёхконтурной системы подчинённого регулирования, а зарядное устройство является двумя её внутренними контурами управления. Внешним контуром зарядного устройства является контур регулирования зарядного напряжения, внутренним - зарядного тока. Задачей внутреннего

контура ЗУ является формирование характеристики зарядного тока в виде, близком к прямоугольному, при этом ширина такого прямоугольника или, иначе говоря, время заряда накопительных конденсаторов является функцией от частоты следования силовых импульсов. Задача внешнего контура ЗУ - формирование характеристики зарядного напряжения в виде, близком к линейно-нарастающему. Выбор структуры и расчёт параметров регуляторов зарядного устройства производились с использованием модульного оптимума.

Третий контур САУ - это контур регулирования температуры поверхности образца. При расчёте контура регулирования температуры мы для простоты пренебрегли нелинейностью объекта управления и рассчитали регулятор как линейный, используя для определения его параметров модульный оптимум. В этом случае нелинейный объект оказывает влияние на вид переходных характеристик, при этом время переходного процесса и перерегулирование не остаётся постоянным. Однако, несмотря на это, при температурах до 250°C переходные характеристики обладают приемлемым качеством регулирования и, вследствие этого, в области рабочих температур возможна линеаризация статических характеристик нелинейных звеньев.

1. Кузнецов И.В., Соснин О.В., Громова А.В., Котельников Д.В.; «Система ультразвукового контроля усталостной повреждаемости и электростимулированного повышения ресурса»; Тематический сборник научно-технических статей « Математические и экономические модели в оперативном управлении производством ».-Москва, 1997г, №4, с.76-80.

ДИАГНОСТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО КОСВЕННЫМ ПРИЗНАКАМ

Е.В.Семакин, С.Ф.Подборонников, Е.О.Браунштейн,
В.Е.Громов, Н.Д.Калюкина

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Элементы и узлы энергетического оборудования, в наибольшей степени нагруженные эксплуатационными воздействиями, как правило, хуже всего поддаются диагностическому контролю. Это связано с тем, что точные и высокочувствительные методы оценки состояния материала сродни методам физического эксперимента, а значит, требуют стабильных и воспроизводимых внешних условий, что для промышленного оборудования как раз и проблематично. Поэтому оценка текущего состояния и прогноз остаточного ресурса изделий должны опираться на использование параметров, измерение которых в эксплуатации не вызывает дополнительных сложностей. Такими параметрами могут служить: температура, механическое напряжение, мощность и т.д., т.е. параметры, имеющие энергетический характер.

Оценивая израсходованную часть ресурса R в интегральной форме

$$R = \int_0^t F(\bar{x}) dt, \text{ где } t - \text{ текущее время, } \bar{x} - \text{ набор (вектор) наблюдаемых}$$

параметров, F - некоторая неотрицательная функция, получаем возможность накопления информации о величинах R , соответствующих предельному состоянию изделия. Предельное состояние проявляется в виде отказа, либо выявляется каким-либо традиционным методом контроля. По мере набора статистики условием работоспособного состояния изделий можно считать выполнение соотношения

$$R(\tau) - [R(t) + \tilde{R}] > 0,$$

где τ - средний срок службы изделий данного типоразмера, $\tilde{R}$ - случайная составляющая в израсходованной части ресурса. Придавая компонентам $\bar{x}$ определенный физический смысл, можно получить модели расхода ресурса изделий, в том числе поддающиеся практическому применению. Последнее осуществимо в случае, когда функция F имеет физический смысл некоторой мощности. Тогда R есть некоторая обобщенная энергия, что имеет несомненную аналогию с феноменологической термодинамикой. Поэтому целесообразно в качестве компонент $\bar{x}$ использовать квадраты термодинамических сил.

СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ И ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРОВАННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ

И.В.Кузнецов, В.Е.Громов, С.Ф.Подборонников, О.Е.Брайунштейн,
Е.С.Кучумова, А.В.Громова

Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк

Основными критериями оценки работоспособности и ресурса деталей и конструкций являются усталостная прочность и долговечность. Предсказание и увеличение усталостного ресурса элементов металлических конструкций, которые эксплуатируются в условиях циклических нагрузжений, являются важными народнохозяйственными задачами.

В качестве достоверного и информативного признака наступления критической стадии усталостных повреждений выбрана скорость ультразвука, величина которой улавливает эволюцию дефектной структуры при усталостном нагружении. Она определялась с помощью прибора ИСП-12. Установленный трехстадийный характер изменения скорости ультразвука при таких испытаниях был подтвержден микроструктурными и электронно-микроскопическими исследованиями. Если на третьей стадии резкого уменьшения скорости ультразвука, свидетельствующей о приближении исчерпания ресурса конструкций, что проявляется в появлении микротрещин размером $\sim 0,1$ мм, образец подвергнуть обработке мощными короткими токовыми импульсами, то это приведет к увеличению скорости ультразвука. Этот факт указывает на восстановление структуры металла, заживление возникших дефектов и обеспечивает увеличение ресурса выносливости деталей на 20-30%. Для сталей 40, 40Х, Х18Н10Т, 70ХГСА установлен оптимальный диапазон параметров токовых импульсов: амплитуда до 250 МА/м^2 , частота до 100 Гц, длительность 75-120 мкс, время воздействия до 10 минут [2].

В работе реализовано автоматическое изменение амплитуды импульса тока в зависимости от усилия прикладываемого к образцу. Амплитуда импульса регулируется за счет изменения напряжения на силовых конденсаторах генератора импульсов. Для плавного регулирования этого напряжения служит тиристорный преобразователь, специально введенный в схему установки. Также с целью повышения точности и быстродействия в схеме используется аналоговый контур регулирования [3].

После обработки детали импульсами тока происходит многократная контрольная проверка скорости ультразвука на восстановленной детали. Если скорость ультразвука после обработки оказалась меньше нижней границы, то формируется аварийный сигнал, предупреждающий о невозможности восстановления работоспособности этого элемента конструкции.

1. В.В.Муравьев, Л.Б.Зуев, К.Л.Комаров. Скорость звука и структура сталей. Новосибирск: Наука, 1996 – 183 с.

2. Зуев Л.Б., Громов В.Е., Чиракадзе Д.З. и др.//Металлофизика и новейшие технологии. 1997. Т.19, № 8. С. 80-82.

3. Кузнецов И.В., Кузнецов В.А., Громов В.Е., Громова А.В. Изв вузов. Черная металлургия. 1998. № 6. С. 17-19.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ПАРОПРОВОДОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

С. Ф. Подборонников, В. Е. Громов, Л. Б. Зуев, Н. Д. Калюкина,
О. Е. Браунштейн

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк
Институт физики прочности и материаловедения СОРАН, г. Томск

Автоциркуляционный метод измерения скорости ультразвуковых волн является неразрушающим и в то же время хорошо "чувствует" изменения структуры материала. Установлено изменение скорости ультразвука в зависимости от режимов термической обработки стали 12Х1МФ и 15К. Исследовались образцы сталей после отжига при разных температурах и последующих термических обработок. Одновременно контролировались формирующиеся структуры, твердость материалов и их механические характеристики. В результате были получены корреляционные зависимости между этими параметрами и скоростью акустических волн, по которым можно судить о структурных изменениях (в частности о коагуляции карбидов), без проведения микроскопических исследований [1,2].

Эти результаты были использованы для анализа степени повреждаемости и деградации материалов паропроводов котельных установок ТЭС после различных сроков эксплуатации. Исследовались вырезки труб конвективного вторичного пароперегревателя котлов блока 8 Томь-Усинской ГРЭС Сибирского территориального объединения "Кузбассэнерго".

Для измерения использовался прибор ИСП-12. Линейный характер изменений частоты автоциркуляции при изменении механических свойств обнаруживал устойчивую связь акустических параметров со структурным состоянием материала и позволял использовать полученные тарировочные графики для определения механических свойств стали паропроводов по данным ультразвуковых измерений.

Так как зоны акустических замеров располагались по всему периметру трубы, это позволило определить распределение механических свойств металла и степень их деградации в зависимости от огневого воздействия. Как и следовало ожидать, наибольшее снижение этих характеристик происходит в большинстве случаев на "огневой" стороне и наименьшее – на тыльной.

Полученные результаты позволили провести сравнительный анализ опасности воздействия различных органических загрязнителей в технической воде и установить, что наиболее опасными являются трикрезилфосфат и поверхностно-активные вещества, которые, разлагаясь в интервале эксплуатационных температур, могут таким образом способствовать образованию сложных карбидов [2].

1. Данилов В.И., Подборонников С.Ф., Котов Н.Н. и др. //Изв вузов Черная металлургия. 1994. № 6, с. 49-51.

2. Сизова О.В., Подборонников С.Ф., Котов Н.Н. и др. //Изв вузов. Физика. 1994. № 4, с.71-75.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНОПЛАСТОВ ПО ИХ ТОЛЩИНЕ

И.И.Крюков, О.О.Карапетян, А.В.Горский
АО НПО ЦКТИ, г.Санкт-Петербург

Исследовались пенополиуретановые (ППУ) блоки плотностью 100 кг/м^3 , предназначенные для использования в трехслойных конструкциях в качестве внутреннего теплоизоляционного и конструкционного слоя. Ранее для них при ультразвуковых измерениях на частоте 60 кГц по площади пеноблока было установлено, что значения амплитуды ультразвуковой волны, прошедшей через считающийся бездефектным материал, изменяются в 7 - 10 раз, а скорости - в 1,5 - 2 раза, что говорит о существенной структурной неоднородности материала [1]. Средний размер газовых ячеек ППУ-блоков находится в пределах 0,25 - 0,35 мм, поперечный срез которых может быть описан шестиугольником. Для исследования образцы из пеноблока ППУ-3Ф толщиной 56 мм разрезались по высоте на 8 частей. Распределение плотности по толщине пеноблока соответствовало плотности заливочного пенопласта, получаемого в закрытой форме под давлением. Плотность такого пенопласта максимальна у верхней и нижней поверхности и минимальна в средней по высоте части.

Измерения параметров ультразвуковой волны - амплитуды и скорости распространения - для блоков ППУ проводили теневым методом на приборе УЗК-10ПМС с помощью пары пьезоэлектрических преобразователей с рабочей частотой 60 кГц . Для повышения стабильности акустического контакта излучающий и приемный преобразователи устанавливали соосно по обе стороны пеноблока через слой разогретого пластилина. В каждой точке проводили по 5 измерений, устанавливая преобразователи каждый раз заново. Из всех измеренных значений амплитуды ультразвуковых колебаний для каждой точки блока ППУ выбирали максимальное значение, как наиболее достоверное, отвечающее наиточшему акустическому контакту.

Результаты исследования акустических свойств жестких пенопластов типа ППУ-3Ф показали, что материал неоднороден по толщине не только по плотности и размерам газовых ячеек.

Наблюдается заметное изменение значений амплитуды и скорости ультразвука в разных по толщине 7-миллиметровых слоях пенопласта. Экспериментально установлено, что в направлении вспенивания от нижней к верхней поверхности пеноблока амплитуда прошедшего ультразвукового сигнала уменьшается в 2,5-3 раза, а скорость ультразвука - в 2 раза. И это изменение акустических свойств не совпадает напрямую с изменением плотности пенопласта по толщине. По всей видимости на изменение акустических свойств по толщине пенопласта в направлении вспенивания могут оказывать несколько факторов. Наличие в тяжах и узлах макроячеек многочисленных микроячеек (микропор), размер которых составляет 0,5 - 1,0 мкм и практически не зависит от изменения плотности. Эти капиллярные и гелевые микропоры оказывают негативное влияние на эксплуатационные свойства ячеистого пеноматериала. Вторым фактором, по-видимому, оказывающим существенное влияние на проходимость ультразвукового сигнала, является состояние внутренней поверхности газовых макроячеек, так называемого припорового слоя. На микрофотографиях, полученных в разных по толщине слоях пенопластового блока, видно, что состояние внутренней и внешней поверхности макроячеек в направлении вспенивания от нижней к верхней поверхности изменяется от более гладкой (лучшая проходимость ультразвука) к более рыхлой поверхности (худшая проходимость ультразвука). Экспериментально установлено [2], что рыхлый припоровый слой ослабляет сечение тяжа, а глянцевый существенно повышает прочность пористого материала.

В результате проведенного исследования установлено, что акустические свойства жестких пенопластов типа ППУ-3Ф существенно изменяются не только от участка к участку на считающемся бездефектным пеноблоке [1], но и по его толщине вдоль направления вспенивания. Неравномерность в скорости подъема пены на разных, отстоящих друг от друга, участках и приводит к существенной структурной неоднородности материала. Это объясняется спецификой технологии получения пенопластов при смешивании исходных компонентов. При этом на отдельных участках с низкой скоростью подъема пены могут образовываться протяженные дефекты типа "газовая полость", закрытые с поверхности. Ультразвуковой контроль несплошностей в таких структурно-неоднородных материалах осуществляется с помощью амплитудно-временного теневого метода [3].

Полученные результаты позволили с помощью ультразвуковых методов оценить сложный процесс вспенивания и полимеризации жестких пенополиуретанов типа ППУ-3Ф, получаемых заливкой композиции в закрытую форму под давлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крюков И.И. Экспериментальные исследования акустических свойств жестких пенопластов. - Акустический журнал, 1994, №6, с.1998-1000.
2. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий.-М.: Стройиздат. 1978.-144 с.
3. Крюков И.И., Агузумян В.Г. Механизированный ультразвуковой контроль структурно-неоднородных материалов типа пенопластов.- Дефектоскопия, 1998, №2. с.61-72.

ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПЕНОПЛАСТОВ, СВЯЗАННЫЕ С ЧАСТИЧНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ УЛЬТРАЗВУКА СКВОЗЬ ДЕФЕКТ

И.И.Крюков
АО НПО ЦКТИ, г.Санкт-Петербург

Пенопласты представляют собой структуры, состоящие из газовых ячеек, разделенных пленками твердого полимера. Типичными и наиболее опасными дефектами в них являются несплошности типа "газовая полость", протяженность которых может значительно превышать поперечный размер у.з. пучка. Эти дефекты не должны превышать 3-5 см с раскрытием по толщине 0,3-3 см из-за резкого снижения прочностных и теплоизоляционных свойств. Подобные несплошности часто моделируют дефектами в виде безграничной звуконепрозрачной полосы нулевой толщины. При контроле амплитудным теневым методом на такой модели дефекта получаются вполне приемлемые результаты, совпадающие с расчетными [1]. Дефект, заполненный воздухом, хоть и не является при частотах 40-60 кГц полностью звуконепрозрачным, существенно ослабляет у.з. сигнал, проходящий через материал ППУ от излучателя к приемнику. При контроле временным теневым методом уже необходимо учитывать частичную звукопроницаемость сквозь дефект [2]. В этом случае время прохождения ультразвука от излучателя к приемнику t , будет определяться тремя возможными путями: двумя дифракционными - за счет огибания краев дефекта слева и справа - и прямым - сквозь дефект. Для каждого значения Δ смещения края дефекта относительно оси преобразователей время прохождения ультразвука $t(\Delta)$ определяется минимальным из значений t_1 , ($t_{пр}$, $t_{дифр1}$, $t_{дифр2}$).

На рис.1 приведены экспериментальные зависимости регистрируемого на приемнике времени прохождения ультразвука $t(\Delta)$, отсчитываемого по приходу переднего фронта у.з. импульса. Они получены на пенополиуретановом блоке ППУ-3Ф плотностью 100 кг/м³ толщиной $H=5,6$ см с помощью катящихся пьезопреобразователей с размером пятна контакта в направлении прокатывания $2a=6$ мм до и после внесения дефекта в виде протяженной полосы (шириной $d=5$ см и толщиной $h=0,5$ и 2,0 см). Для частично звукопрозрачного дефекта в виде полосы относительно большой толщины $h=2,0$ см, а также для звуконепрозрачного дефекта нулевой толщины (кривая 1) зависимость $t(\Delta)$ имеет острый максимум (пик), равноудаленный от границ дефекта. Кривая 2 соответствует участку пеноблока с частично звукопрозрачным

дефектом толщиной $h=0,5$ см, кривая 3 - бездефектному участку, а также участку с очень "тонким" дефектом. Из рис.1 видно, что на кривых $i(\Delta)$ времени прохождения ультразвука вместо обычного пика,

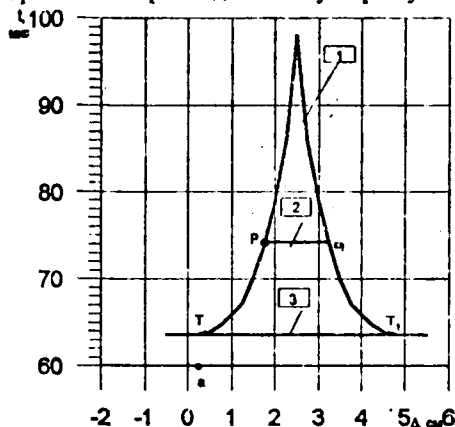


Рис.1. Зависимость амплитуды отражения ультразвука в пеностекле на дефекте шириной 5 см

соответствующего звуконепрозрачному дефекту (кривая 1), при частичной звукопрозрачности появляется явно выраженное горизонтальное плато (срезанная вершина) (кривая 2). Положение этого плато соответствует времени прямого прохождения ультразвука $t_{пр}$ сквозь неповрежденный слой изделия толщиной $(H-h)$ и воздушный слой дефекта толщиной h ($t_{пр} < t_{дифр}$). Чем больше толщина дефекта, тем больше время прохождения ультразвука $t_{пр}$ и тем выше расположена горизонтальная полочка на кривой $i(\Delta)$.

Ширина дефекта в таких материалах может быть оценена по трем взаимно дополняющих друг друга формулам. Ширина полосы d , когда кривая $i(\Delta)$ имеет острый пик, определяется известной формулой [3]:

$$d = 2a + H \sqrt{\frac{t_{дифр}^2}{t_0^2} - 1}, \quad (1)$$

где t_0 - время прямого прохождения ультразвука на бездефектном участке изделия; $t_{дифр}$ - максимальное время дифракционного прохождения ультразвука, соответствующее пику кривой.

По точке перегиба T времени $t(\Delta)$ на участке с дефектом от уровня его бездефектного значения t_0 также можно судить о пространственном положении дефекта. Ширина полосы d в этом случае определяется как:

$$d = 2a + d_T, \quad (2)$$

где d_T — размер горизонтального плато между двумя точками T и T_1 .

Ширина полосы d , когда кривая $t(\Delta)$ имеет вместо острого пика горизонтальное плато (срезанную вершину), определяется как [2]:

$$d = 2a + d_p + H \sqrt{\frac{t_{\text{прм}}^2}{t_0^2} - 1}, \quad (3)$$

где d_p — размер горизонтального плато между точками P и P_1 .

Во всех рассмотренных выражениях (1)–(3) ширина дефекта зависит также от размера преобразователей $2a$.

Величина раскрытия дефекта, когда на кривой $t(\Delta)$ наблюдается срезанная вершина (при $t_{\text{пр}} < t_{\text{дифр}}$), определяется как [4]:

$$h = H \frac{\frac{t_{\text{пр}}}{t_{\text{дд}}} - 1}{\frac{c_d}{c_d} - 1}, \quad (4)$$

где c_d — скорость распространения у.з. колебаний в материале пенопласта; c_d — скорость распространения ультразвука в дефектном слое, заполненном воздухом. Анализ (4) показывает, что чем больше $t_{\text{пр}}$ отличается от $t_{\text{дд}}$, тем толщина h дефекта больше. Дефекты, у которых $t_{\text{пр}}$ близко $t_{\text{дд}}$, толщина $h \approx 0$ (кривая 3), временным теневым методом не выявляются.

При этом положение и размер горизонтального плато, появление которого связано с частичной звукопрозрачностью дефекта, зависят от соотношения ряда факторов: ширины дефекта, толщины изделия, размера преобразователей, различия скоростей распространения у.з. колебаний в пенопласте и дефекте, величины раскрытия дефекта.

1. $t(\Delta)$ не имеет отличия от бездефектного уровня (частично звукопрозрачный “тонкий” дефект: $h \approx 0$): $t_d \approx t_{\text{дд}}$;

2. $t(\Delta)$ имеет горизонтальное плато (частично звукопрозрачный “средний” дефект: $h \neq 0$): $t_d < t_{\text{дд}} - t_{\text{прм}} < t_{\text{дифр}}$;

3. $t(\Delta)$ имеет пик с острой вершиной (частично звукопрозрачный “толстый” дефект: $h < H$): $t_d < t_{\text{дд}} - t_{\text{дифр}} < t_{\text{прм}}$;

4. $t(\Delta)$ для особо протяженных дефектов не имеет выраженного пика из-за невозможности зарегистрировать слабый сигнал на фоне шумов.

Следует отметить, что в таких структурно-неоднородных материалах, как пенопласты необходимо учитывать изменение структуры материала от участка к участку и соответственно изменение скорости ультразвука при

прямом и дифракционном прохождении ультразвука на разных участках материала.

Частичная звукопрозрачность дефектов при у.з. дефектоскопии пенопластов по времени распространения ультразвука на частотах 40-60 кГц и появление при этом на зависимости времени прохождения t (Δ) срезанных вершин горизонтальной (или иной) формы позволяет для соответствующих соотношений размеров изделия, преобразователей и дефекта с достаточной для практики точностью производить оценку ширины и толщины протяженных дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агузумян В.Г., Крюков И.И., Мамистов С.В., Паврос С.К. Акустический тракт теневого дефектоскопа при механизированном контроле пенопластов с помощью катящихся пьезопреобразователей.- Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 1991, №2, с. 42-48.
2. Крюков И.И. Об особенностях акустического контроля пенопластов теневым методом.- Акустический журнал, 1993, №6, с. 1138-1142.
3. Джонс Р., Фэкзоару Н. Неразрушающие методы испытания бетонов.-М.: Стройиздат, 1974. - 296 с.
4. Крюков И.И. Расчет толщины раскрыва протяженных дефектов при ультразвуковом контроле пенопластов.- Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 1994, № 3-4, с. 63-66.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД И СРЕДСТВО ОЦЕНКИ ГИГРОСКОПИЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

В. И. Зубцов, В. Ф. Янушкевич, Полоцкий государственный университет
А. В. Васюков, Новополоцкий завод «Измеритель»

Многие материалы характеризуются значительной гигроскопичностью, т.е. способностью улаживаться в среде влажного воздуха.

Повышенное содержание влаги приводит к образованию микротрещин в материалах и изделиях из них, что приводит к снижению прочности.

В полимерах, например, влага оказывает влияние на их физико-механические свойства. А если учесть, что некоторые полимеры получают из окружающей среды значительное количество влаги, то понятно, что влияние становится заметным. Поэтому информацию о гигроскопичности материалов и изделий из них можно использовать при оценке прочностных и технологических свойств.

Влажностное содержание полимеров можно определить по кривым кинетики сорбции, т.е. по изменению влажности во времени. При длительном пребывании полимера на воздухе влажность достигает равновесного значения, т.е. скорости сорбции и десорбции равны. Кривые кинетики сорбции влаги позволяют определять конечную влажность, которую достигает конкретный полимер с начальной влажностью, пребывая на воздухе за определенный период времени, т.е. содержание свободной влаги, выраженное в процентах к его массе.

К недостаткам можно отнести и то, что речь здесь может идти только о конкретном материале. Определить гигроскопичность полимеров и других гигроскопичных материалов позволяет предлагаемый метод контроля кинетики пропитки жидкостью гигроскопичных материалов. По скорости проникновения жидкости в материал можно оценивать его гигроскопичность. Скорость проникновения жидкости в материал измеряется с помощью ультразвуковых колебаний и равна:

$$g = \frac{\eta}{\tau},$$

где h - высота образца полимера;

τ - временной интервал между началом и окончанием проникновения жидкости в гигроскопичный материал.

Образец материала вводят в контакт с водой, которая будет проникать в него до достижения равновесного значения влажности, являющегося моментом окончания проникновения воды в материал.

Предложенный ультразвуковой метод оценки гигроскопичности материалов основан на эффекте Доплера, согласно которому при прохождении упругих волн через движущуюся область частота изменяется. Фиксируя моменты начала и окончания измерения частоты принятых ультразвуковых колебаний, по их разнице определяют время сорбции влаги определенной длины образца материала. С учетом измеренного времени определяют скорость сорбции влаги.

Преобразователь, реализующий данный метод, содержит генератор синусоидальных колебаний, излучатель, образец данного полимера, приемник ультразвуковых колебаний и частотомер. Метод контроля скорости проникновения жидкости в материал осуществляется следующим образом. Нижнюю торцевую поверхность контролируемого образца вводят в контакт с водой, затем с помощью генератора возбуждают излучатель, расположенный на нижней торцевой поверхности, который создает в контролируемом образце упругие колебания заданной частоты в направлении сорбции влаги. Эти колебания принимаются приемником. Частота принимаемых упругих колебаний измеряется частотомером. Движущаяся область сорбируемой влаги под действием проникновения с нижнего торца образца будет изменять частоту принимаемых частотомером ультразвуковых колебаний в соответствии с эффектом Доплера. Измеряют временной интервал между началом измерения частоты (момент проникновения влаги в образец) и окончания (момент окончания проникновения влаги в образец).

Предлагаемый метод позволяет с высокой информативностью контролировать кинетику сорбции влаги материалов, а по кинетике делать оценку их гигроскопичности. Метод может быть использован как в научных, так и в практических целях, связанных с определением значения гигроскопичности (влагонакопления) как физической величины.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ УРОВНЯ АГРЕССИВНЫХ И ТОКСИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В РЕЗЕРВУАРАХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

М.Я. Андреев, Ю.И. Флсер, В.А. Яковлев
ЦНИИ Морфизприбор, г. Санкт-Петербург

На предприятиях топливно-энергетического комплекса и нефтехимических производствах технологический и коммерческий учет сырья и конечной продукции всегда относились к одним из приоритетных вопросов.

Задача текущего контроля уровня заполнения так называемых «чистых» парков, резервуаров может быть решена путем их оснащения серийно выпускаемыми отечественными и зарубежными приборами, в принцип действия которых заложены различные методы:

- гидростатические,
- на основе электрофизических свойств жидкости;
- на основе взаимодействия каких-либо излучений с жидкостью.

К особому классу задач относятся вопросы контроля уровня при производстве, хранении, отпуске и транспортировке агрессивных и токсичных продуктов. В ряде случаев технология производства и условия эксплуатации предъявляют к контрольно-измерительным приборам предельно жесткие требования по диапазону рабочих температур, давлению, взрывозащите. Такие проблемы возникают при производстве жидких компонентов минеральных удобрений, кислот, щелочей, высокоэффективных топлив и окислителей.

В этих условиях целесообразно использовать ультразвуковые уровнемеры, обеспечивающие измерение уровня без прямого контакта со средой.

В докладе представлены результаты проектирования, лабораторных испытаний и опытной эксплуатации двух типов уровнемеров, основанных на принципе ультразвуковой эхолокации, обеспечивающих абсолютную изоляцию приема-излучающих антенн с размещением последних либо на стандартных фланцах резервуаров, либо снаружи на оболочке резервуаров.

Информационно-управляющие системы на основе одного из типов уровнемеров внедрены на двух химических предприятиях.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕВЕРБЕРАЦИОННЫХ ПОМЕХ ПРИ КОНТРОЛЕ ЭХО-СКВОЗНЫМ МЕТОДОМ

Д. Д. Добротин, С. К. Паврос, А. С. Паврос

Санкт-Петербургский Государственный электротехнический университет

Автоматизированный ультразвуковой контроль горячекатанного листового проката с высокой чувствительностью может осуществляться эхо-сквозным методом, впервые предложенным в ЛЭТИ [1]. В 1998 году на металлургическом комбинате "Азовсталь" введен в промышленную эксплуатацию головной образец новой ультразвуковой системы типа ДУЭТ-АЗС, реализующей эхо-сквозной метод, установленной в транспортном потоке стага "3600"[2]. Принцип эхо-сквозного метода состоит в регистрации (1 и 2) эхо-сигналов, отраженных от внутреннего дефекта, во временном промежутке между первым (I) и вторым (II) прошедшими через контролируемое изделие импульсами (рис. 1). Особенностью этого метода является наличие двух эхо-импульсов от одного дефекта, отраженных от него в сторону излучателя (И) и в сторону приемника (П).

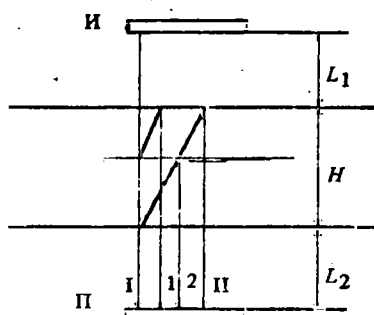


Рис. 1

Принципиальным недостатком как эхо, так и эхо-сквозного метода является наличие реверберационных помех, ограничивающих предельную чувствительность контроля. Влияние реверберационных помех при контроле эхо-методом, среднеквадратичный уровень которых рассчитывается в энергетическом приближении, подробно изложен в [3]. Эта же методика нами использована и при контроле эхо-сквозным методом [4, 5].

Источником указанных помех является возмущенный слой поликристаллической среды протяженностью $c_T/2$, где c_T - скорость распростра-

нения продольных волн в материале изделия, τ - длительность акустического импульса. При иммерсионном контроле изделий этот слой, возникший возле грани, обращенной к излучателю, вначале распространяется в направлении к приемнику, затем отражается от противоположной (донной) грани в сторону излучателя, вновь отражается от первой грани и т. д. (рис. 2).

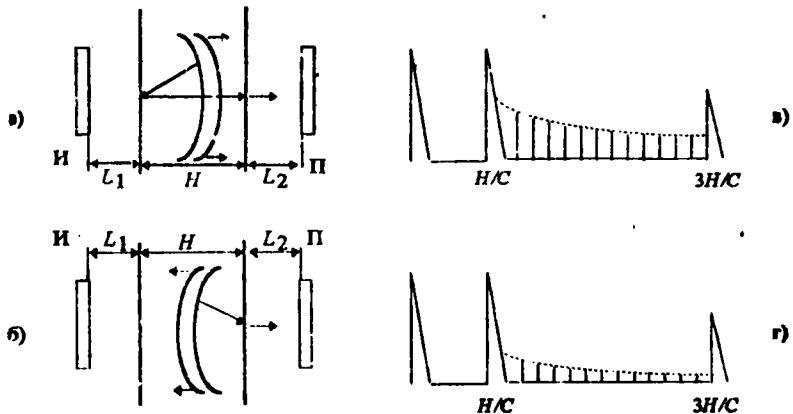


Рис. 2

В процессе распространения слоя от излучателя к приемнику реверберационные помехи создаются волнами, рассеянными в направлении к излучателю (рис. 2. а). Они достигают приемника после отражения от первой грани изделия, пройдя через всю его толщину. При движении слоя от приемника к излучателю помехи создаются волнами, рассеянными непосредственно в сторону приемника. В интересующем нас интервале времени между моментами прихода на приемник первого и второго прошедших через изделие импульсов, результирующий уровень помех будет складываться из обеих составляющих (рис. 2. в, г).

Используя методику [3] расчета каждой составляющей для суммарного уровня помех получено соотношение:

$$\frac{\bar{U}_p}{K_p U_{\Gamma}} \approx 125 \sqrt{\frac{S_p S_H C_{\Gamma} \Gamma}{4\pi}} D^* R \left[\frac{e^{-2\delta(H+2x)}}{(nL_1 + x)(H + x + nL_2)} + \frac{e^{-2\delta(3H-2x)}}{(nL_1 + 2H - x)(H - x + nL_2)} \right]$$

где $\bar{U}_p$ - среднее значение амплитуды напряжения реверберационных помех в тракте низкой частоты (после детектора); U_{Γ} - амплитуда возбуж-

дающего электрического напряжения; K_T - коэффициент двойного электромеханического преобразования; δ_r - коэффициент рассеяния; δ - коэффициент затухания (равный сумме коэффициентов поглощения и рассеяния); S_H - площадь преобразователей; η - коэффициент направленности ($\eta \approx 0.5$ для остронаправленных преобразователей); $n = C_0/C_1$; C_0 - скорость звука в иммерсионной жидкости; D^* - коэффициент прозрачности границы раздела жидкость-металл по энергии; R - коэффициент отражения звука от этой границы по амплитуде; x - координата, отсчитываемая от передней грани изделия.

Как видно из этого выражения, компоненты реверберационных помех различны в зависимости от координаты x , и только при $x = H/2$ они равны.

Представляет интерес сравнить уровни реверберационных помех при эхо-сквозном и обычном эхо-методом при прочих равных условиях ($x = H/2$; $L_1 = L_2 = L$). Это отношение равно:

$$\frac{(\bar{U}_P)_{\text{э.с.}}}{(\bar{U}_P)_{\text{э}}} = R e^{-2\alpha H} \sqrt{\frac{2nL + H}{2nL + 3H}}.$$

Как видно из этого выражения, несмотря на то, что уровень структурных помех при эхо-сквозном методе складывается из двух компонент, его результирующее значение меньше уровня помех, чем при обычном эхо-методе.

В докладе приводятся результаты расчетов и экспериментальных исследований реверберационных помех при прозвучивании ряда марок сталей, титана, бронзы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веревкин В. М., Евдокимов Н. А. Способ ультразвукового обнаружения дефектов. А. С. СССР, №216354, Б. И. №14, 1968
2. Веревкин В. М., Каширин В. А., Кривочуров И. А., Манчха В. К., Махов И. Э. Организация автоматизированного ультразвукового контроля листового проката в соответствии с международными стандартами. Сборник докладов конференции УЗДМ-98, С.-Петербург, 1998
3. Ермолов И. Н., Алешин Н. П., Поталов А. И. Акустические методы контроля, книга 2, -М.; Высш. шк., 1991.
4. Голубев А. С., Добротин Д. Д. Об уровне реверберационных помех при контроле листов эхо-сквозным методом. Известия ЛЭТИ, 1972, Вып. 112
5. Паврос С. К. Жарков К. В. Методы ультразвуковой дефектоскопии. -Л.: ЛЭТИ, 1982

СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ МНОГОКАНАЛЬНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА

Н.Н. Егоров, Р.Н. Золотуха, В.В. Ковалев, А.А. Ряднов, С.В. Титов,
К.Э. Тоом

Государственный электротехнический университет, г. Санкт-Петербург

Рассматриваются особенности сбора информации с приемных датчиков промышленной многоканальной ультразвуковой системы контроля листового проката, работающей в непрерывном покое прокатного стана. Описываются работа многопроцессорного блока обработки сигналов, представление результатов контроля на экране монитора синхронно с движением контролируемого листа, запись дефектограмм в базу данных контроля качества.

В настоящем сообщении описана система сбора и обработки информации промышленной многоканальной ультразвуковой установки ДУСТ-5, работающей в потоке прокатного стана «3600» меткомбината «АЗОВСТАЛЬ» (г. Мариуполь, Украина).

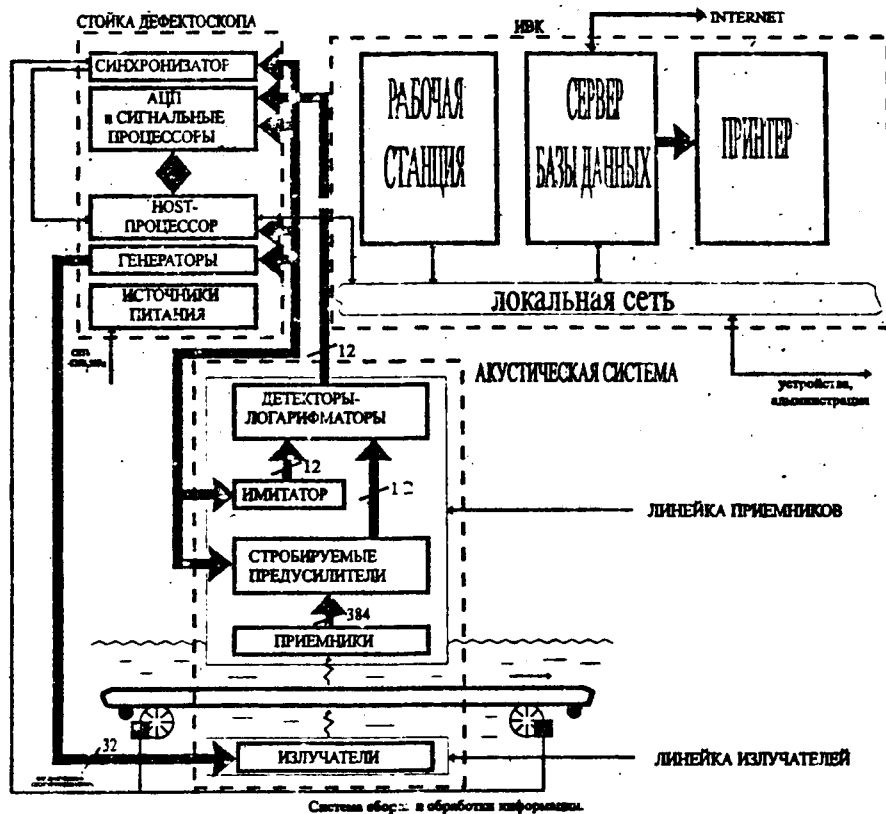
Установка предназначена для:

- сбора аналоговой информации во всех точках прозвучивания листа при скорости движения последнего до 1 м/с при количестве акустических каналов, равном 384;
- аналого-цифрового преобразования информации по всем каналам;
- обработки цифровых сигналов по трем методам контроля (теневому, многократнотеневому, эхо-сквозному) при входном потоке информации до 200 Мбайт/сек;
- формирования дефектограммы и ее отображения на экране монитора синхронно с движением листа на рольганге;
- обработки дефектограммы по заданному стандарту контроля качества;
- сжатия файлов дефектограмм и их архивирования в базе данных;
- создания и печати служебной документации;
- диагностики функционирования системы, коррекции параметров и ведения базы данных ее технического состояния;
- взаимодействия с некоторыми устройствами прокатного стана (маркерами, сканерами, ножницами) и администрацией предприятия.

В процессе создания установки был преодолен ряд значительных научно-технических проблем. Так проблема обработки большого потока

информации решена путем организации ~~установки~~ как системы с распределенным интеллектом. В ней используется 16 высокопроизводительных, в том числе специализированных, микропроцессорных устройств. Проблема взаимодействия вычислительных устройств, имеющих различную архитектуру, решена путем создания сложных интерфейсов, реализованных на программируемых логических интегральных схемах. Для преодоления проблемы передачи больших потоков информационных и управляющих сигналов использованы как стандартные каналы (последовательные, параллельные, локальная сеть), так и специально разработанный высокоскоростной параллельный канал.

Работа системы сбора и обработки информации иллюстрируется структурной схемой на рисунке. Синхронизация устройств комплекса осуществляется от оптоэлектронных датчиков движения листа, сопряженных с роликами рольганга. На основе их сигналов синхронизатор и HOST- процессор вырабатывают управляющие сигналы для многих устройств установки. В частности, создается особая последовательность срабатывания импульсных генераторов. Это делается с целью исключения акустических помех и оптимизации аппаратных средств системы. Каждый из 32-х генераторов возбуждает одновременно 12 излучателей (всего излучателей 384 шт.), находящихся в линейке излучателей. Излученные ультразвуковые импульсные сигналы, пройдя воду и контролируемый лист, попадают на приемники, расположенные в линейке приемников. Принятые сигналы снимаются только с 12-ти групп приемников, соосных с активными в данный момент излучателями. Подключение групп приемников в соответствии с действующими излучателями осуществляют стробируемые предусилители под управлением HOST-процессора. Применяемое коммутирование позволяет в 32 раза уменьшить число каналов дальнейшей передачи и обработки принятых от 384-х приемников сигналов. Далее в каждом из 12-ти каналов шины обрабатываемых сигналов происходит детектирование и усиление сигнала логарифмическим усилителем, имеющим широкий динамический диапазон (80 дБ). Для тестирования и калибровки каналов обработки сигналов в линейке приемников имеется специальный имитатор сигналов, близкий к реальным. Он автоматически используется в режиме «старт» установки для выравнивания чувствительностей всех каналов обработки сигналов. Кроме того, имитатор используют для проверки электронных и электронно-вычислительных устройств в режиме



«тест». Из линейки приемников сигналы по 12-ти коаксиальным линиям передаются в стойку дефектоскопа, где преобразуются из аналоговой формы в цифровую и обрабатываются в блоке аналого-цифровых преобразователей и сигнальных процессоров. Далее сигналы поступают в HOST-процессор, где дополнительно обрабатываются с целью предварительного формирования дефектограммы, а затем блоками по специальному высокоскоростному каналу передаются в Рабочую станцию. После оценки амплитуд сигналов относительно заданных уровней дефектоотметки на экран монитора синхронно с движением листа выводится изображение дефектограммы той части листа, которая прошла через акустическую систему. Если лист полностью прошел через акустическую систему, то происходит окончательная обработка всей дефектограммы с учетом требований заданного стандарта контроля и пересылка ее по локальной сети в Сервер базы данных. Кроме отмеченных функций Рабочая станция осуществляет:

- загрузку программного обеспечения в режиме «старт»;
- тестирование установки и запись его результатов в базу данных технического состояния,
- установку методов контроля, уровней дефектоотметки и стандарта контроля,
- отображение осциллограмм сигналов в любом из каналов электроакустического тракта.

Конечным пунктом информационного потока является Сервер базы данных, который создает и обслуживает базу данных всех проконтролированных листов. На сервере готовится сопутствующая контролю документация, а также с помощью принтера печатаются дефектограммы и документы.

ТЕПЛОЕМКОСТЬ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ Y-Ba-Cu-O, ИЗМЕРЕННАЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПОД ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ.

Добрянский В.М., Магер Е.Л., Малишевский В.Ф., Межелич З.В.
Белорусский аграрный технический университет.
Белорусский медицинский институт.

В данной работе восстановлена низкочастотная часть фоновой спектра $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ по экспериментальным барическим зависимостям скоростей распространения ультразвуковых волн в интервале температур 77...273К.

Были исследованы поликристаллические $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, изготовленные по методике твердофазной реакции соответствующих стехиометрических количеств оксидов $YO_{1.5}$, BaO и CuO при температуре $t=950^\circ\text{C}$ с последующими отжигом и медленным охлаждением[1]. Непосредственно измеренная плотность полученных образцов $\rho=6015\text{кг/м}^3$. По рентгендифрактометрическим исследованиям образцы орторомбически однофазные.

Упругие свойства керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ исследовались путем измерений в ней скоростей распространения продольной v_l и поперечной v_t акустических ультразвуковых волн частотой 5МГц в диапазоне температур 77...273К и гидростатического давления до 10^9Па . Температурный диапазон исследования включает температуру сверхпроводящего перехода керамики $T_c=91.3\text{К}$. Рентгеновские исследования полированных поверхностей и контрольные измерения скоростей распространения акустических волн вдоль различных направлений позволяют считать поликристаллические материалы упругоизотропной средой, обладающей двумя независимыми компонентами тензора упругих модулей второго порядка. В этом случае имеются только две скорости v_l и v_t , связанные с коэффициентами Ламе λ и μ соотношениями:

$$v_l = \left(\frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \right)^{1/2} \quad \text{и} \quad v_t = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{1/2}.$$

Экспериментально измеренные абсолютные значения скоростей при различных температурах и давлениях позволили рассчитать упругие модули:

При $T_1=273\text{К}$ и $P_1=1 \cdot 10^5\text{Па}$

$v_l=3977.3\text{м/с}$, $v_t=2481.8\text{м/с}$, $\lambda+2\mu=95.15\text{ГПа}$, $\mu=37.05\text{ГПа}$.

При $T_2=77.4\text{К}$ и $P_1=1 \cdot 10^5\text{Па}$

$v_l=4073.6\text{м/с}$, $v_t=2542.1\text{м/с}$, $\lambda+2\mu=99.81\text{ГПа}$, $\mu=38.87\text{ГПа}$.

При $T_1=273\text{К}$ и $P_2=9388 \cdot 10^5\text{Па}$

$v_l=4342.7\text{м/с}$, $v_t=2569.1\text{м/с}$, $\lambda+2\mu=113.44\text{ГПа}$, $\mu=39.70\text{ГПа}$.

При $T_2=77.4$ и $P_2=9388 \cdot 10^5\text{Па}$

$v_l=4428.7\text{м/с}$, $v_t=2634.1\text{м/с}$, $\lambda+2\mu=117.97\text{ГПа}$, $\mu=41.73\text{ГПа}$.

Используя известное приближение Андерсона и экспериментально определенные значения v_l и v_t , можно оценить температуру Дебая исследуемого материала

$$\theta_D = \frac{h}{k_B} \left(\frac{9nN_A \rho}{4\pi\mu} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{1}{v_l^3} + \frac{2}{v_t^3} \right)^{-1/3},$$

где h – постоянная Планка, k_B – постоянная Больцмана, n – число атомов в ячейке, N_A – число Авогадро, μ – молекулярный вес.

Температура Дебая имеет значения:

$$\theta_D(T_1P_1) = 336.5\text{К}, \theta_D(T_2P_1) = 344.8\text{К}, \theta_D(T_1P_2) = 350.3\text{К}, \theta_D(T_2P_2) = 350.3\text{К}.$$

На основании полученных значений $\theta_D(T,P)$ рассчитаны значения теплоемкости $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ при различных значениях температуры и давления. Теплоемкость рассчитывалась в дебаевском приближении из соотношения:

$$C_V = \frac{12}{5} \pi^4 R \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3, \text{ где } R = 8.3147 \text{ Дж/моль К}$$

При $T=77.4\text{К}$ значения теплоемкости $C_V(T_2, P_1) = 21.99 \text{ Дж/моль К}$, $C_V(T_2, P_2) = 19.48 \text{ Дж/моль К}$, т.е. при увеличении давления теплоемкость уменьшается.

Теория Дебая позволяет найти фононный спектр:

$$g(\nu) = \frac{dn_\nu}{d\nu} = \frac{9N_A \left(\frac{h}{k_B} \right)^3}{\theta_D^3} \nu^3$$

для области низких температур, представляющий собой параболу с граничной частотой фононных колебаний $\nu_m = \frac{k_B}{h} \theta_D$.

При $T=77.4\text{К}$: $g(\nu)=7.545 \cdot 10^{11}$, $\nu_m=7.185 \cdot 10^{12} \text{с}^{-1}$, при увеличении давления до $P_2=9388 \cdot 10^5 \text{Па}$ – $g(\nu)=7.246 \cdot 10^{11}$, $\nu_m=7.481 \cdot 10^{12} \text{с}^{-1}$.

В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением давления до 10^5Па плотность фононных состояний $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ в области низких частот уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 В.М. Добрянский, Е.Л. Магер, В.Ф. Малишевский, Г.М. Чобот, В.П. Яруничев "Исследование процесса синтеза керамики Y-Ba-Cu-O методом ТГА"//Вестн. Белорус.ун-та. Сер.1.1998.№3.с.68-69.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ Y-Ba-Cu-O КЕРАМИКИ, ПОЛУЧЕННОЙ ДИФфуЗИОННЫМ СПОСОБОМ.

Добрянский В.М., Магер Е.Л., Паньков В.В.
Белорусский аграрный технический университет.
Белорусский технологический университет.
г.Минск

Оксидные сверхпроводники обычно получают в результате реакций, проходящих в смеси нескольких исходных оксидов или других подходящих прекурсоров при различных внешних воздействиях (температура, механическое давление, ультразвуковое поле) с последующей термической обработкой [1]. Понимание кинетики и механизма твердофазных реакций, протекающих в такой сложной смеси реагентов, важно для оптимизации процесса синтеза сверхпроводников и, в особенности, необходимо при получении этих материалов максимально свободными от примесных фаз, которые формируются на границах зерен сверхпроводников и отрицательно сказываются на их сверхпроводящих свойствах.

В общем случае, при протекании реакций в смеси порошков оксидов, содержащей более трех металлических ионов, возможно формирование за счет параллельных реакций нескольких различных промежуточных фаз, возникающих в результате твердофазного взаимодействия на границах между двумя контактирующими оксидами $MeO-Me'O$. Эксперименты с диффузионными парами прямо показывают из скольких фаз, одной или более, состоит продукт рассматриваемой реакции. Обычно все промежуточные фазы, указанные на равновесной диаграмме состояния, должны присутствовать. На основании этих данных можно судить, будет ли реакция являться реакцией присоединения или обмена. Кинетика роста фазы продукта реакции определяется по скорости движения фазовых границ или из расчетов диффузионных коэффициентов, перемещающихся через продукт ионов. Необходимо лишь установить те ионы, скорость движения которых контролирует весь процесс, и выяснить зависимость их коэффициента диффузии от температуры, механического давления, парциального давления кислорода, ультразвукового воздействия и т.д. Такой подход позволяет на основании изучения отдельных промежуточных реакций, протекающих в порошкообразной смеси, методом диффузионных пар определить, какая из них является реакцией присоединения, дающей однофазный продукт, и с помощью данной последовательности, уже для смеси порошков, поэтапно синтезировать однофазный сверхпроводник. Таким образом, можно провести каждую

промежуточную реакцию в наиболее оптимальных для нее условиях и избежать конкуренции между отдельными этапами. Коллективом авторов разработаны основы применения метода диффузионных пар и осуществлен синтез образцов сверхпроводящих систем $\text{YO}_{1,5}\text{-BaO-CuO}$, $\text{BiO}_{1,5}\text{-SrO-CaO-CuO}$ нетрадиционным способом из смеси оксидов и карбонатов [2].

1. С помощью метода диффузионных пар исследованы фазовые равновесия в бинарных и квазибинарных сечениях сверхпроводящих систем.

2. На основании выбора компонентов для промежуточных реакций, дающих однофазные продукты в сверхпроводящих системах, экспериментально установлены последовательности этих реакций, приводящих к синтезу гомогенных по составу безпримесных фаз сверхпроводников.

3. Определены оптимальные условия проведения каждой промежуточной реакции.

4. Исследованы сверхпроводящие свойства материала в зависимости от условий проведения отдельных реакций, приводящих в порошкообразных смесях к однофазному продукту.

5. Исследованы вольт-амперные характеристики материалов и переходных слоев токопроводящих электроконтактов, коэффициент линейного термического расширения. Измерены скорости распространения акустических ультразвуковых волн.

Проводятся исследования критической температуры T_c , критического тока J_c , магнитной индукции B_c . По скоростям распространения продольных и поперечных ультразвуковых волн проводится расчет модуля Юнга, модуля сдвига, модуля объемной упругости, характеристической температуры Дебая, параметра Грюнайзена.

Получены авторские свидетельства на способы получения ВТСН-материалов [3].

Литература

1. В.М. Добрянский, Е.Л.Магер, В.Ф. Малишевский, Чобот Г.М., Яруничев В.П. "Исследование процесса синтеза керамики Y-Ba-Cu-O методом ТГА" // Вестн Белорус. ун.-та. Сер. I. 1998. №3. с.68-69.

2. Koslov S.V., Pankov V.V., "The charadenization of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ layorc produced by the diffusion couple technique" // Czechosiovaak, J.Phys, 1996, Vol.16, p.1507-1508.

3. Патент 205412 Россия H01439/24,39/12 "Способ изготовления тонких, однородных по составу сверхпроводящих пленок".

АКУСТИЧЕСКАЯ ШУМОМЕТРИЯ В ПРОЦЕССАХ ДОБЫЧИ НЕФТИ.

Л.А.Чернобай

Международная ассоциация разработчиков и пользователей
ультразвуковой техники и технологии, г.Минск

Акустический шумометрический метод контроля за геолого-техническим состоянием разработки продуктивных пластов базируется на принципе регистрации уровней и спектров шумовых полей. Возникающие шумовые поля при движении жидкости через пористый фильтр нефтенасыщенного коллектора, а также при движении газожидкостного потока по стволу скважины регистрируются геофизическим прибором спускаемого в скважину на каротажном кабеле. В случае истечения жидкости или газа из отверстий интервала перфорации, истечения газожидкостного потока через газлифтные клапаны, негерметичности НКТ и т.д. в точках инъекции возникает акустическое поле, которое регистрируется пьезокерамическим датчиком скважинного прибора.

Нарушение стационарности газожидкостного потока в скважинном пространстве вызывает возмущение среды, которое приводит к возникновению колебаний частиц этой среды. Изменение состояния среды приводит к показателю звукового давления (P), т.е. к уровню превышения давления возмущенной среды над давлением покоящейся среды. Где амплитуда звукового давления связана с амплитудой смещения частиц (A) соотношением

$$P = 2\pi f \rho c A, \text{ где}$$

ρ — плотность среды, c — скорость распространения волны,
 f — частота колебательного движения частиц среды.

Интенсивность, как основная энергетическая характеристика колеблющейся среды, прямо пропорциональна квадрату звукового давления и обратно пропорциональна волновому акустическому сопротивлению скважинного флюида:

$$I = \frac{P^2}{2\pi \rho c}$$

Из выражения видно, что интенсивность излучения звукового поля зависит не только от параметров источников колебаний, но и от акустических свойств самой среды.

Возникающие акустические поля в районе интервала перфорации и при-скважинной зоне пласта можно условно разделить на несколько условных

областей, различающихся по скорости потока, характерным геометрическим размерам и механизму шумообразования. Отличительными особенностями каждого источника шумообразования является то, что все источники имеют свои индивидуальные амплитудно-частотные характеристики.

Наибольший интерес для нас представляют источники шума от движения флюида из пористого коллектора в перфорированные каналы, от движения флюида по перфорационным отверстиям и от движения флюида по насосно-компрессорным трубам. Каждый из указанных источников, излучающих шумовое поле, имеет собственный характерный только для него спектр частот. Спектральный анализ зарегистрированных скважинных шумов позволяет извлекать дополнительную информацию при интерпретации геофизического материала профилей притока и отдачи скважин, а также при определении технического состояния эксплуатационного фонда скважин.

ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА С ДВУМЯ ИЗЛУЧАЮЩИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Ан.С.Рубанов

Белорусский государственный аграрный технический университет, г.Минск

В докладе обсуждаются результаты теоретического и экспериментального исследования амплитудной (АХ) и фазовой характеристик (ФХ) интерферометра плоских гармонических акустических волн с двумя излучающими преобразователями. Выражение, описывающее результирующие колебания в плоскости приемного (второго) преобразователя,

$$\begin{aligned} \xi_{2\Sigma} = & \xi_{10} \exp(-\alpha L) \exp[i(\alpha x - kL + \varphi_{10})] \frac{1 + r_2 \exp(-i\delta_2)}{1 - R \exp[-i(2kL + \delta_1 + \delta_2)]} + \\ & + \xi_{20} \exp[i(\alpha x + \varphi_{20})] \frac{1 + r_1 \exp(-2\alpha L) \exp[-i(2kL + \delta_1)]}{1 - R \exp[-i(2kL + \delta_1 + \delta_2)]}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ξ_{10} , ξ_{20} и φ_{10} , φ_{20} - амплитуды и начальные фазы колебаний, излучаемых первым и вторым преобразователями соответственно, L - акустическая база (длина резонатора), α - коэффициент поглощения колебаний в среде резонатора, $R_0 = r_1 r_2 \exp(-2\alpha L)$, r_1 и r_2 , δ_1 и δ_2 - модули и фазы комплексных коэффициентов отражения колебаний от первого и второго преобразователей соответственно, $i = \sqrt{-1}$.

Принципиально возможно получить аналитическое представление для АХ и ФХ интерферометра рассматриваемого типа. Однако в общем случае для произвольных условий отражения и параметров резонатора аналитическое описание выходных характеристик в силу большой громоздкости получаемых выражений не имеет смысла.

На рис. 1 - 3 приведены в качестве иллюстрации графики зависимостей выходных характеристик интерферометра при некоторых произвольных значениях комплексных коэффициентов отражения от преобразователей.

Рассмотрим один из частных случаев. Пусть $\xi_{10} = \xi_{20}$, $r_1 \neq 1$; $r_2 = 1$; $\delta_1 = \delta_2 = 0$; $\varphi_{10} = \varphi_{20} = 0$ (последнее для определенности). Тогда из (1) можно получить для АХ

$$U(I) = \xi_{10} \sqrt{\frac{4 \exp(-2\alpha L) - 4(1 + r_1) \exp(-\alpha L) \cos(kL) + [1 + 2R \cos(kL) + R^2]}{1 - 2R \cos(2kL) + R^2}}. \quad (2)$$

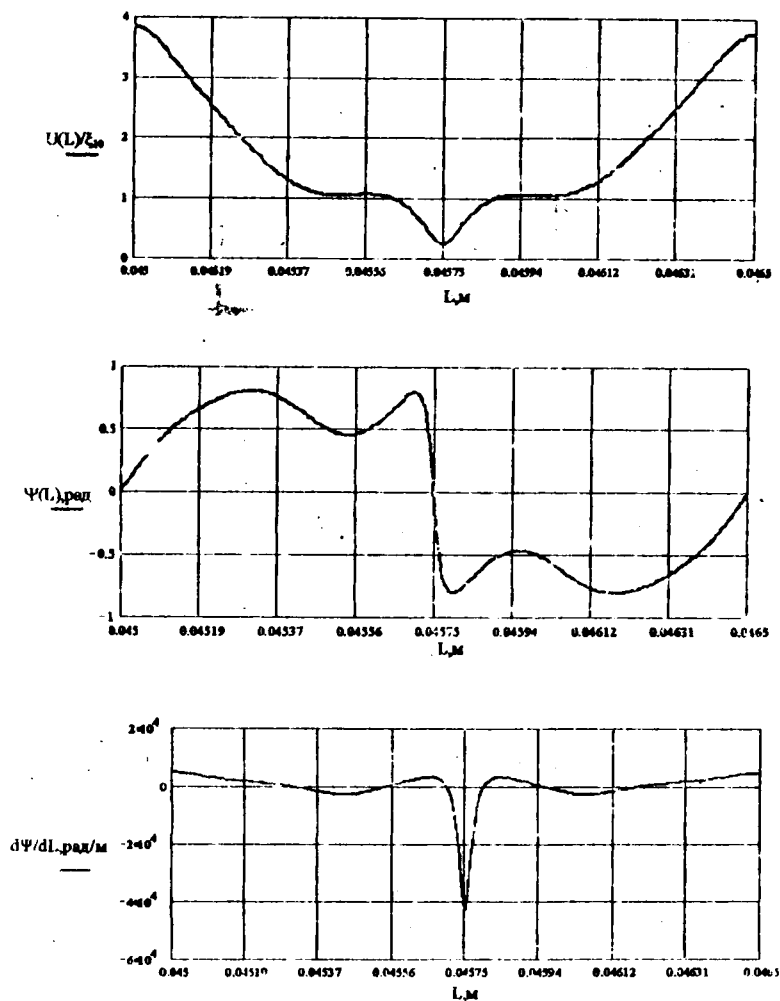


Рис. 1 Графики зависимостей A_X , Φ_X и крутизны Φ_X от акустической базы при $\gamma_1=0,9$, $\gamma_2=0,9$, $\alpha=10\text{м}^{-1}$, $\delta_1=\delta_2=0$, $\xi_{10}=\xi_{20}=1$, $\phi_{10}=\phi_{20}=0$

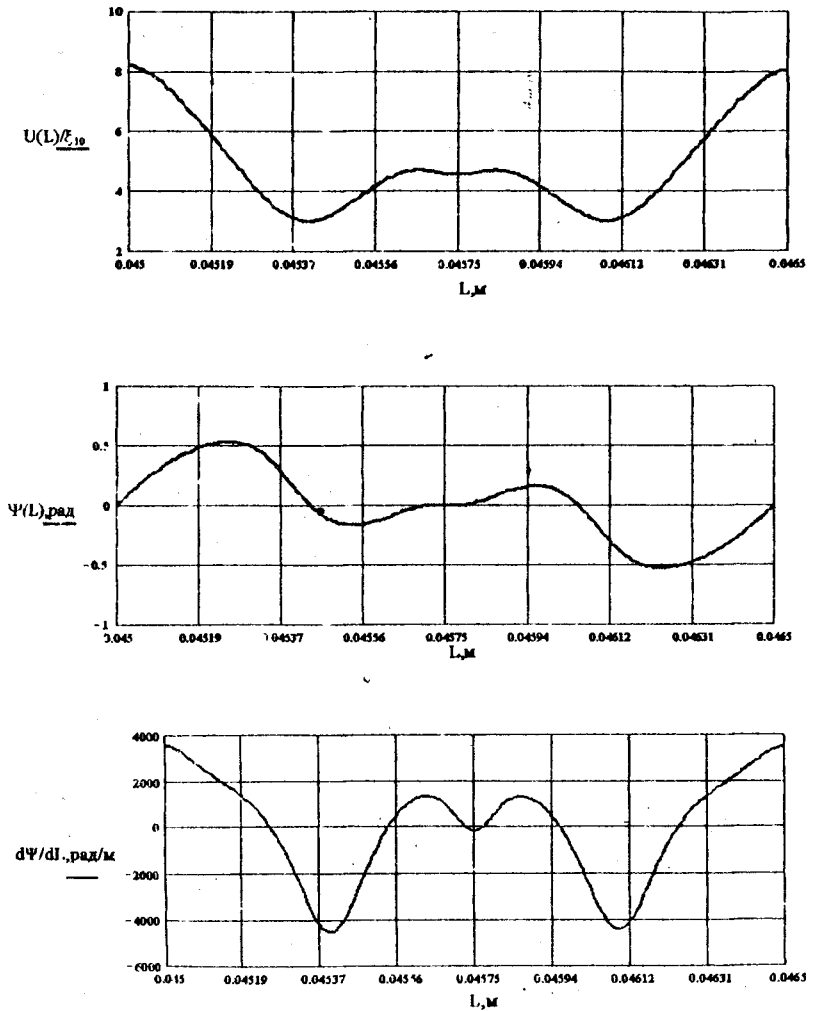


Рис. 2. Графики зависимостей АХ, ФХ и крутизны ФХ от акустической базы при $\gamma_1=0,9$, $\gamma_2=0,9$, $\alpha=10\text{м}^{-1}$, $\delta_1=\delta_2=0$, $\xi_{10}=1$, $\xi_{20}=\pi$, $\phi_{10}=\phi_{20}=0$

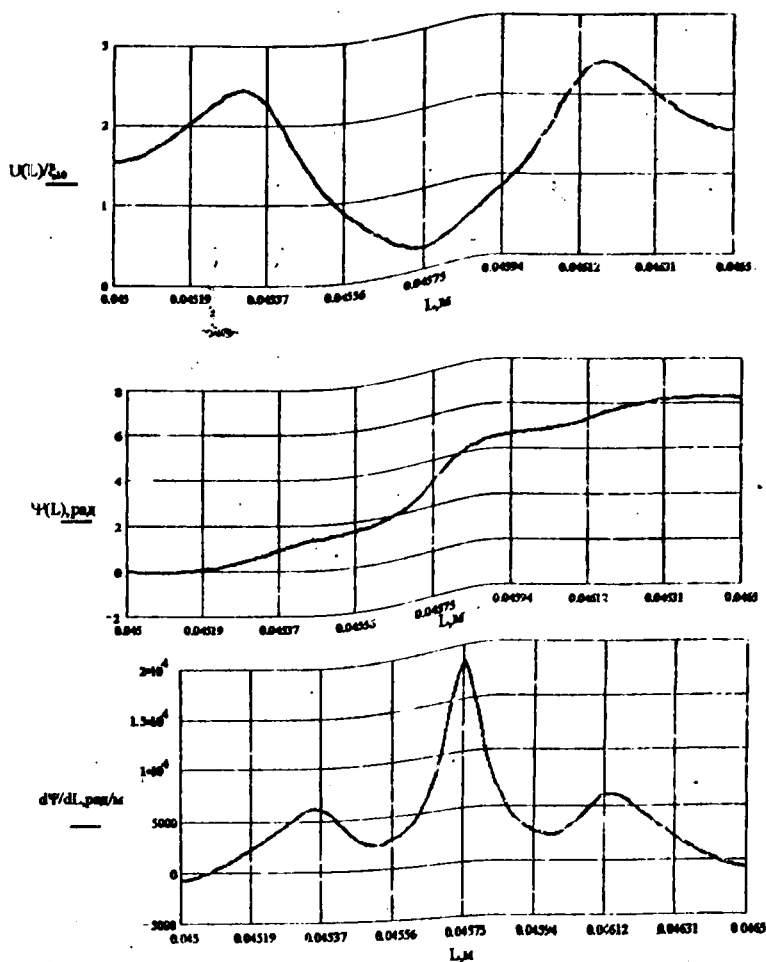


Рис.3. Графики зависимостей АХ, ФХ и крутизны ФХ от акустической базы
при $\tau_1=0,9$, $\tau_2=0,9$, $\alpha=10\text{м}^{-1}$, $\delta_1=\pi$, $\delta_2=0$, $\xi_{10}=\xi_{20}=1$, $\phi_{10}=\phi_{20}=0$

и для ФХ

$$\Psi(L) = \arctan \frac{(1+r_1) \exp(-\alpha L) \sin(kL) + r_1 \sin(2kL)}{(1-r_1) \exp(-\alpha L) \cos(kL) + \frac{1}{2}(1-r_1^2)} \quad (3)$$

Если одновременно выполняется условие

$$\cos(kL) = -1,$$

то при этом наблюдается локальный минимум АХ интерферометра, а крутизна ФХ достигает одного из своих локальных максимумов и оказывается равной

$$\frac{\partial \Psi}{\partial L} = \frac{(1+r_1) \left[\exp(-2\alpha L) - \frac{1}{2} \frac{(1-r_1)^2}{(1+r_1)} + r_1 \right] \omega}{(1-r_1) \left[\exp(-\alpha L) - \frac{1}{2} (1+r_1) \right]^2} \cdot \frac{\omega}{v} \quad (4)$$

При $\alpha L \ll 1$; $\xi_{10} \neq \xi_{20}$; $r_1 \neq 1$, $r_2 = 1$; $\delta_1 \neq 0$; $\delta_2 = 0$; $\varphi_{10} - \varphi_{20} = 0$ (последнее для определенности) можно получить следующие выражения, аналогичные формулам (2) и (3):

$$U(L) = \sqrt{\frac{[\xi_{10}^2 \exp(-2\alpha L) + 4\xi_{10}\xi_{20} \exp(-\alpha L) \{\cos(kL) + R \cos(kL - \delta_1)\}] + \xi_{20}^2 [1 + 2R \cos(2kL - \delta_1) + R^2]}{1 - 2R \cos(2kL - \delta_1) + R^2}} \quad (5)$$

$$\Psi(L) = \arctan \frac{[\xi_{10} \{\sin(kL) + R_0 \sin(kL - \delta_1)\} \exp(-\alpha L) + \xi_{20} R_0 \sin(2kL - \delta_1)]}{[\xi_{10} \{\cos(kL) - R_0 \cos(kL - \delta_1)\} \exp(-\alpha L) + 0.5 \xi_{20} (1 + R_0^2)]} \quad (6)$$

Выражения (2) - (6) проанализированы и проиллюстрированы в работе [1].

Литература

1. В.И. Крылович, А.С. Рубанов, О.П. Приходько, П.Н. Логвинович, В.В. Михальков, Е.П. Чернухо. Условия оптимизации выходных характеристик интерферометра плоских акустических волн. - В настоящем сборнике.

УСЛОВИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕРФЕРОМЕТРА ПЛОСКИХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

В.И.Крылович, Ан.С.Рубанов, О.П.Приходько, П.Н.Логвинович,
В.В.Михальков, Е.П.Чернухо

Академический научный комплекс «Институт тепло- и массообмена им. А. В.Лыкова», Белорусский государственный аграрный технический университет, г.Минск

Условия оптимизации акустического интерферометра плоских волн с одним преобразователем достаточно хорошо изучены и сводятся к выполнению условия $\tilde{\Gamma}_1 = 1$, где $\tilde{\Gamma}_1 = \Gamma_1 \exp(i\delta_1)$, Γ_1 и δ_1 - модуль и фаза комплексного коэффициента отражения колебаний $\tilde{\Gamma}_1$ от излучающего преобразователя; $i = \sqrt{-1}$.

В случае интерферометра с двумя излучающими преобразователями многочисленность параметров, характеризующих условия на границах резонатора интерферометра (модули и фазы комплексных коэффициентов отражения колебаний от преобразователей $\Gamma_1, \Gamma_2, \delta_1, \delta_2$), характеристики излучаемых преобразователями колебаний (частота ω , амплитуды и фазы излучаемых колебаний $\xi_{10}, \xi_{20}, \varphi_{10}, \varphi_{20}$) и акустические параметры среды (скорость распространения v и коэффициент поглощения α колебаний в среде), существенно влияют на вид АХ, ФХ и крутизны ФХ интерферометра. Поэтому требуется выбрать, исходя из достаточно общих соображений, те из указанных параметров, которые будут существенным образом влиять на отличия выходных характеристик предлагаемого интерферометра от выходных характеристик интерферометра с одним излучающим преобразователем. Очевидно, что такими параметрами, обеспечивающими указанные отличия, будут соотношения между ξ_{10} и ξ_{20} ($\varphi_{10}, \varphi_{20}$) при различных значениях $\Gamma_1, \Gamma_2, \delta_1, \delta_2$.

Анализ выражения, описывающего результирующие колебания в плоскости приемного (второго) преобразователя [1], показывает, что можно найти такое соотношение между амплитудами ξ_{10} и ξ_{20} излучаемых преобразователями колебаний, при которых наблюдается резкое возрастание максимумов АХ и крутизны ФХ интерферометра. Последнее обстоятельство весьма важно с точки зрения возможности применения предлагаемого интерферометра для фазовых измерений малых приращений скорости распространения колебаний в различных, в том числе и сильнопоглощающих, средах. Указанное соотношение имеет вид:

$$\frac{\xi_{10}}{\xi_{20}} = \frac{\frac{1}{2}(1 - R_0)^2 + \sqrt{\frac{1}{4}(1 - R_0)^2 + 2 \cos^2 \frac{\delta_1}{2} \left[(1 + R_0)^2 + 4R_0 \left[R_0 - \frac{1}{8}(1 - R_0)^2 \right] \right]}}{[(1 + R_0)^2 + 4R_0] \cos \frac{\delta_1}{2}} (1 + R_0) \exp(\alpha l), \quad (1)$$

где $R_0 = r_1 r_2 \exp(-2\alpha L)$, L - акустическая база (длина резонатора).

Приведенный рисунок иллюстрирует тот факт, что при соотношении между амплитудами колебаний, излучаемых первым и вторым преобразователями в среду резонатора, в соответствии с выражением (1), крутизна ФХ интерферометра $\frac{d\Psi_{\text{ин}}(L)}{dL}$ будет в точках локальных экстремумов

АХ всегда больше, чем соответствующее значение крутизны ФХ $\frac{d\Psi_2(L)}{dL}$

при $\xi_{10} = \xi_{20}$ и крутизны ФХ интерферометра с одним излучающим преобразователем $\frac{d\Psi_1(L)}{dL}$.

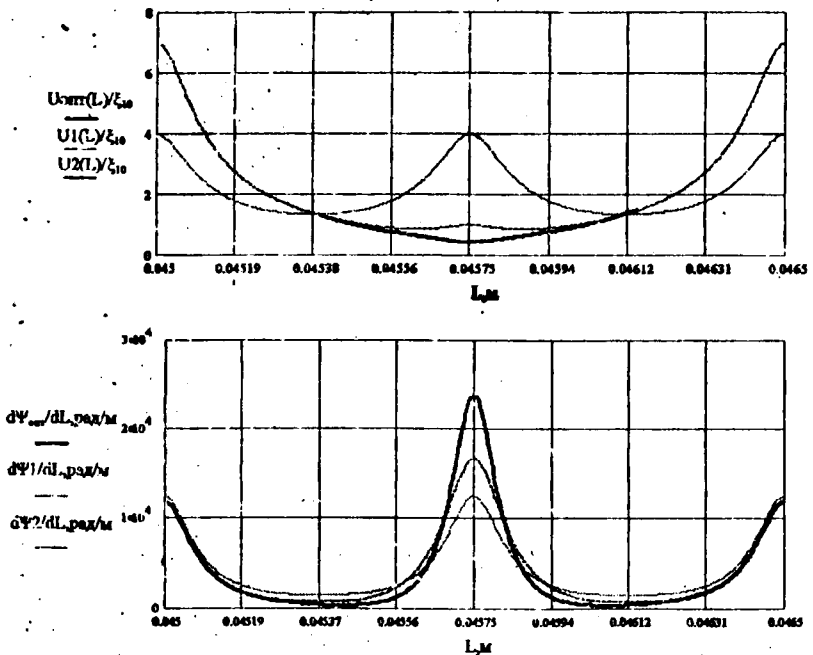


Рис. Графики зависимостей АХ и крутизны ФХ от акустической базы при $r_1=0,5$, $r_2=1$, $\alpha=0,024\text{м}^{-1}$, $\delta_1=\delta_2=0$, $\xi_{10}=1$, $\xi_{20}=1,187$; 0; 1, $\phi_{10}=\phi_{20}=0$

Литература

1. Ан.С.Рубанов Выходные характеристики акустического интерферометра с двумя излучающими преобразователями. - В настоящем сборнике.

ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ

Ан.С.Рубанов

Белорусский государственный аграрный технический университет,
г.Минск

Анализ выражений, полученных для амплитудной (АХ) и фазовой (ФХ) характеристик акустического интерферометра с двумя излучающими преобразователями показывает, что при равенстве амплитуд и фаз излучаемых обоими преобразователями колебаний и при значениях коэффициентов отражения от обоих преобразователей, равных 1, амплитудная характеристика и крутизна фазовой характеристики интерферометра достигают локальных экстремумов при значениях акустической базы L_n , удовлетворяющих условию (при $\alpha L \ll 1$) $L_n = \frac{\lambda}{4} n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$), где нечетным n соответствуют локальные минимумы, а четным n — локальные максимумы АХ. При этом локальные максимумы и минимумы АХ располагаются симметрично друг относительно друга. Однако в отличие от интерферометров стандартного типа, крутизна фазовой характеристики вблизи локальных минимумов АХ принимает отрицательные значения, а вблизи локальных максимумов — положительные значения. Соответственно, ФХ не является всюду возрастающей функцией, а будет знакопеременной функцией.

При неравенстве амплитуд и фаз излучаемых преобразователями колебаний симметрия взаимного расположения экстремумов АХ и крутизны ФХ исчезает, при этом искажается и вид ФХ интерферометра. При нарушении равенства между амплитудами колебаний, излучаемыми первым и вторым преобразователями, можно говорить о возникновении дополнительных локальных экстремумов АХ и ФХ интерферометра рассматриваемого типа. При малых значениях коэффициента поглощения α ($\alpha L \ll 1$) наблюдаются отличные от приведенных выше изменения АХ и ФХ. В частности, при $\alpha = 2.4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ для реального диапазона изменения акустической базы L (при длине волны $\lambda = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) наблюдаются дополнительные экстремумы у АХ, причем весьма острые, что приводит к существенным искажениям ФХ и крутизны ФХ интерферометра обсуждаемого типа.

Показано, что добротность предлагаемого интерферометра при малых значениях коэффициента поглощения α существенно повышается по отношению к интерферометру с одним излучающим преобразователем.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА С ДВУМЯ ИЗЛУЧАЮЩИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

В.И.Крылович, Ан.С.Рубанов, О.П.Приходько, П.Н.Логвинович,
В.В.Михальков, Е.П.Чернухо

Академический научный комплекс «Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова». Белорусский государственный аграрный технический университет, г.Минск

При условии оптимизации выходных характеристик акустического интерферометра с двумя излучающими преобразователями (выражение (1) в работе [1]) и при выполнении условий

$$\frac{2\omega L}{v_0} - \delta_1 - \delta_2 = 2\pi n; r_2 = 1; \delta_2 = 0,$$

(здесь $n = 2p + 1$, $p = 0, 1, 2, \dots$, ω - частота излучаемых акустических волн, L - акустическая база, v_0 - начальная скорость их распространения в исследуемой среде, r_2 - модуль комплексного коэффициента отражения акустических волн от второго электроакустического преобразователя, δ_1 и δ_2 - соответственно фазы комплексных коэффициентов отражения акустических волн от первого и второго электроакустических преобразователей) между преобразователями интерферометра образуется стоячая акустическая волна в результате многократных отражений излучаемых преобразователями волн. При этом амплитуда стоячей волны в плоскости второго преобразователя описывается выражением

$$\xi_2 = \{ 4\xi_{01}^2 \exp(-2\alpha L) + 4\xi_{01}\xi_{02} \exp(-\alpha L) [\cos(kL) + R_0 \cos(kL - \delta_1)] + \xi_{02}^2 [1 + 2R_0 \cos(2kL - \delta_1) + R_0^2] [1 + R_0^2 - 2R_0 \cos(2kL - \delta_1)]^{-1} \}^{1/2}$$

а фаза

$$\arg(\varphi_2 - \alpha L - \varphi_{01}) = \{ \xi_{01} [\sin(kL) + R_0 \sin(kL - \delta_1)] \exp(-\alpha L) + \xi_{02} R_0 \sin(2kL - \delta_1) \} * \\ * \left\{ \xi_{01} [\cos(kL) - R_0 \cos(kL - \delta_1)] \exp(-\alpha L) + \frac{1}{2} \xi_{02} (1 - R_0^2) \right\}^{-2},$$

где $k = \omega / v$, $R_0 = r_1 \exp(-2\alpha L)$.

В докладе рассматриваются возможности применения приведенных формул для измерения скорости распространения и коэффициента поглощения акустических волн в среде.

Литература

1. В.И.Крылович, Ан.С.Рубанов и др. Условия оптимизации выходных характеристик интерферометра плоских акустических волн. В настоящем сборнике.

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В АКУСТИЧЕСКОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ

Ан.С.Рубанов

Белорусский государственный аграрный технический университет,
г.Минск

В реальном акустическом интерферометре плоских волн постоянной и переменной длины практически всегда имеют место дифракционные искажения его амплитудной (АХ) и фазовой (ФХ) характеристик. Как показано в работе [1], в случае интерферометра с одним излучающим преобразователем эти искажения могут быть использованы для измерения малых приращений скорости распространения акустических волн. Кроме того, точки дополнительных локальных минимумов ФХ, обусловленные дифракционными искажениями, могут быть использованы в различных устройствах автоматизированного поддержания заданных параметров среды с высокой степенью точности.

В докладе показано, что дополнительные локальные минимумы АХ и ФХ таких интерферометров, возникновение которых обусловлено другими причинами (например, непараллельностью излучающей и принимающей поверхностей электроакустических преобразователей для интерферометра с двумя плоскими преобразователями или излучающей поверхностью преобразователя и плоскостью рефлектора в случае интерферометра с одним преобразователем) также могут быть использованы для описанных выше целей.

Следует отметить, что модуль крутизны ФХ в точках дополнительных локальных минимумов ФХ, как правило, всегда больше, чем его значение в точках основных локальных минимумов ФХ интерферометра соответствующего типа (с одним или двумя излучающими преобразователями).

Проведенные экспериментальные исследования выходных характеристик акустического интерферометра с двумя излучающими преобразователями [2] подтвердили универсальность полученных результатов для всех типов акустических интерферометров плоских волн.

Литература

1. А.с. 1486803 (СССР). Способ Рубанова измерения приращения скорости распространения акустических колебаний (Авт. изобр. Рубанов Ан.С. - Б.П., 1989, №22).
2. Г.Н.Крылович, Ан.С.Рубанов и др. Условия оптимизации выходных характеристик интерферометра плоских акустических волн. В настоящем сборнике.

К ВОПРОСУ ТАРИРОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ, В КОТОРЫХ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ФАЗОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

А.С.Шилев, А.С.Рубанов, В.А.Козик, С.Л.Быкова
Белорусский государственный аграрный технический университет,
г.Минск

При тарировке ультразвуковых измерительных приборов, работа которых основана на фазовых измерениях скорости распространения непрерывных колебаний, важнейшей задачей является установление зависимости между фазой принимаемых колебаний и значением контролируемого параметра среды. Учитывая, что на практике фактически не достижим режим бегущей волны, конструкция измерительной камеры должна обеспечивать монотонность ее фазовой характеристики (ФХ). Это возможно только в случае исключения дифракционных эффектов.

В докладе приводятся результаты разработки конструкции измерительной камеры, используемой в автоматизированном ультразвуковом измерительном комплексе АМУ-4П, предназначенном для измерения содержания основных компонентов молока (жира, белка, сухого обезжиренного молочного остатка), а также его плотности по способу, описанному в работе [1]. Применяемая в измерительном комплексе конструкция измерительной камеры хотя и не обеспечивает линейность ФХ, но полностью (по крайней мере в пределах чувствительности измерителя разности фаз) исключает проявление ее дифракционных искажений. Отметим при этом, что опыт практически серийного производства измерительных камер такой конструкции свидетельствует о правильности заложенных при ее разработке технических решений. Достигнутая монотонность ФХ позволила применить разработанную в БАТУ оригинальную методику тарировки измерительных каналов, что обеспечило достижение высокой точности измерений. В основе указанной методики лежит идея унификации коэффициентов регрессии для различных измерительных каналов за счет экспериментального определения ФХ каждой из измерительных камер на эталонных образцах и последующей компьютерной обработки. Это позволило выполнять тарировку измерительных комплексов в заводских условиях, обеспечивая высокую точность определения параметров молока.

Обсуждаемая методика может найти применение при тарировке любых измерительных устройств, работающих на основе фазовых измерений скорости распространения акустических непрерывных колебаний.

Литература

1. Рубанов А.С. и др. Способ измерения содержания массовой доли белка и жира в молоке. Патент РФ № 17.3521

О ВЛИЯНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ НА ДЕФЕКТНОСТЬ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ.

Лукаков Н.Ф., Шилиев А.С., Соболь В.Р., Маер Е.Л.

Белорусский аграрный технический университет.

Институт физики твердого тела и полупроводников АН РБ.

Проблема дефектообразования в целом и особенно процессы развития деформационных искажений кристаллической структуры широко обсуждаются в настоящее время. Это связано с тем, что основное направление по изысканию путей интенсификации использования металлических материалов заключается в повышении рабочего ресурса деталей машин и элементов конструкции путем улучшения таких эксплуатационных характеристик материалов, как твердость, упругая вязкость, износостойкость, усталостная прочность и др., которые позволяют увеличить срок службы при предельных и близких к ним нагрузках.

Методом моделирования упругих колебаний в образцах из исследуемого материала изучено влияние нестатических необратимых микродеформаций на дислокационную структуру и прочностные свойства некоторых сталей и сплавов. Используя методологию вынужденных колебаний в механической системе, разработаны принципы аккумуляции энергии упругих смещений в диапазоне ультразвуковых частот, определен уровень пространственной локализации упругих напряжений и деформаций в поле волны, включая и резонансный предел. Установлена степень изменения прочностных свойств материалов (твердость, микротвердость, упругие модули) после воздействия периодического во времени нагружения различной амплитуды и временной длительности. Аналитически изучены вопросы дефектообразования при частотном нагружении, используя концепцию дислокационного размножения на закрепленных источниках. Оценена роль необратимых деформаций при нестатическом нагружении и их влияния на модули упругости, с целью установления корреляции между скоростью изменения напряжения, уровнем модификации плотности дислокаций и параметрами прочности материала.

Отметим, что указанный подход может явиться определенным дополнением общей проблемы совершенствования ресурсосберегающей технологии на основе полей упругих колебаний в ультразвуковом диапазоне частот. Характерно, что как и при воздействии упругих смещений на жидкофазную компоненту при дуговой наплавке, улучшающий износостойкие свойства, так и в случае резонансных колебаний в твердофазном состоянии металла можно селективно модифицировать прочностные свойства[1].

! Шилиев А.С. Ультразвуковая обработка расплавов при производстве и восстановлении деталей машин. Минск: Наука и техника, 1992.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ РАСХОДУЕМОГО ВОЛНОВОДА-ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

С.А. Стукин, Н.Ф. Лутаков, М.М. Севернев, А.С. Шиляев, А.М. Гришанович
Белорусский государственный аграрный технический
университет, г. Минск

Ультразвук в расплав вводится с помощью волноводной проволоки. Расстояние, а также угол между волноводной и электродной проволоками изменяются при помощи специального приспособления. Диаметр электродной и волноводной проволок может быть различным. Волноводная проволока подается в расплав, проходя через волновод. Волновод соединен с магнитострикционным преобразователем. Волноводная проволока подается в расплав непрерывно. Конец погруженный в расплав, по мере подачи оплавляється. В данной установке при подаче волноводной проволоки используется метод «касания».

Суть процесса наплавки по методу «касания» состоит в следующем. В зону наплавки непрерывно подается электродная проволока. Под действием тепла дуги, горящей между концом электродной проволоки и наплавляемым образцом, проволока плавится и формирует на образце слой наплавленного металла. В ванну расплавленного металла подается присадочная (волноводная) проволока того же химического состава, что и электродная проволока. При этом в присадочной проволоке через волновод, соединенный с магнитострикционным преобразователем ультразвуковой установки, возбуждаются ультразвуковые колебания.

Присадочная проволока подается при помощи приводного и прижимного роликов. Усилие прижатия ролика регулируется пружиной и должно быть меньше упругости присадочной проволоки, что обеспечивает постоянное касание конца присадочной проволоки поверхности наплавляемого образца и предотвращает ее деформацию.

Конец проволоки, упираясь в поверхность под действием ультразвуковых колебаний, интенсивно очищает поверхность от окислов и флюса, одновременно воздействуя на жидкий металл.

По мере расплавления присадочной проволоки ролики, вращаясь, подают ее до упора конца в поверхность, после чего начинают проскальзывать по ее поверхности.

Конструкция волновода в результате испытаний создана такой, что она наиболее полно отвечает практическому применению и проста в исполнении. Для обеспечения контакта волноводной проволоки с волноводом-излучателем используются упругие свойства непосредственно самой волноводной проволоки, что позволяет обеспечить необходимый акустический контакт.

Упругость волноводной проволоки на участке втулка – волновод регулируется посредством поступательного движения втулки, что в свою очередь позволяет регулировать усилие прижатия волноводной проволоки к стенкам отверстия волновода.

Выполненная прорезь на боковой поверхности волновода позволяет ускорить процесс замены волноводной присадочной проволоки в процесс наплавки. Данная конструкция, по сравнению с существовавшими ранее, позволяет в наиболее широких пределах регулировать усилие прижатия, обеспечивая необходимую для каждого конкретного случая величину.

Проведенный сопоставительный анализ разработанных способов ввода ультразвука в расплавы при электродуговой наплавке показал, что на данном уровне развития элементной базы ультразвуковой техники, предпочтительнее способ наплавки с непрерывно расходуемым волноводом-излучателем. Этот способ был принят за основу при создании технических средств для ремонтно-восстановительного производства.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НЕРАСХОДУЕМОГО ВОЛНОВОДА

Н.Ф.Лутакоа, А.С.Шилев, М.М.Севернев С.А.Стукин
Белорусский государственный аграрный технический
университет, г.Минск

Эффективность применения ультразвуковых волн конечных амплитуд для интенсификации технологических процессов зависит от режимов работы ультразвуковой колебательной системы (УКС). Режим работы УКС определяется электрическими параметрами, согласованностью резонансных условий работы ультразвукового генератора, преобразователя электрических колебаний в механические и волновода-излучателя. От электрического режима работы УКС зависит амплитуда ультразвуковых колебаний волновода-излучателя. Поэтому из анализа электрического режима можно получить информацию об амплитуде ультразвуковых колебаний волновода-излучателя. Амплитуда колебаний определяет технологический эффект влияния ультразвука на расплавы металлов и сплавов. Из изложенного следует необходимость в разработке способа оценки режима работы УКС технологического назначения.

Основным технологическим параметром, определяющим эффективность влияния ультразвука на жидкофазную систему, является, как уже было отмечено, амплитуда ультразвуковых колебаний волновода-излучателя. Наиболее благоприятным режимом работы ультразвуковой технологической установки является условие электрического и акустического резонанса. Состояние резонанса наступает, когда частота вынужденных электрических колебаний ультразвукового генератора равна собственной частоте ультразвуковой колебательной системы. При условии резонанса амплитуда ультразвуковых колебаний волновода-излучателя достигает максимального значения. Однако следует заметить, что не всегда эффективны максимальные амплитуды. Как правило, для большинства ультразвуковых технологических процессов существуют оптимальные значения амплитуды. Поэтому в практической работе, применяя ультразвуковые колебания для технологических целей, необходимо контролировать заданную величину амплитуды и постоянно удерживать ее на оптимальном режиме.

Исследование электрических и акустических режимов работы ультразвуковой установки проводилось путем измерения амплитуды ультразвуковых колебаний волновода-излучателя индикатором с одновременным фиксированием показаний приборов, измеряющих мощность, напряжение, частоту, а также ЭДС – индукции E , возникающей в датчике милливольтметром.

Анализ результатов исследований позволяет сделать вывод, что амплитуда ультразвуковых колебаний, возникающих на свободном конце волновода-излучателя и ЭДС-индукция, наведенная в катушке индуктивности датчика, изменяется линейно в зависимости от потребления мощности магнитострикционным преобразователем и напряжения на нем.

Более сложный характер представляет собой зависимость амплитуды ультразвуковых колебаний волновода-излучателя и наведенной ЭДС – индукции в датчике от изменения частоты электрических колебаний, подаваемых от ультразвукового генератора на магнитострикционный преобразователь: она носит резковыраженный экстремальный характер. В связи с нелинейным характером использовать зависимость амплитуды ультразвуковых колебаний свободного конца волновода – излучателя и ЭДС – индукции, возникающей в датчике, от частоты ультразвуковых колебаний, с целью определения амплитуды ультразвуковых колебаний волновода – излучателя затруднено.

Проведенные исследования в то же время показали, что наиболее полная информация об амплитуде ультразвуковых колебаний может быть получена из замера мощности и напряжения.

Изучена зависимость ЭДС-индукции, возникающей в датчике, расположенном непосредственно на волноводе-излучателе в зависимости от амплитуды колебаний свободного конца волновода-излучателя. Из анализа нетрудно установить, что информацию об амплитуде ультразвуковых колебаний волновода-излучателя можно получить по данным ЭДС-индукции, возникающей в датчике.

Располагая зависимостью $E=f(w,u,v)$, можно оценивать электрические режимы ультразвуковой системы. Таким образом, рассматривая зависимость $E=f(A)$ и $E=f(w,u,v)$, можно в целом получить достаточно полное представление об электрических и акустических режимах работы ультразвуковой технологической установки с нерасходуемым волноводом.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ РЕЖИМА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА ПЕРАСХОДУЕМЫМ ВОЛНОВОДОМ-ИЗЛУЧАТЕЛЕМ

С. А. Стукин, Н. Ф. Лутаков, М. М. Севернев, А. С. Шилиев
Белорусский государственный аграрный технический
университет, г. Минск

Целью работы является разработка устройства ввода ультразвука в расплавы с автоматическим поддержанием резонансных размеров волновода-излучателя в процессе обработки жидкого металла.

Устройство содержит магнитострикционный преобразователь, волновод-излучатель, датчики, расплав, дешифратор, исполнительный механизм с двигателем, ультразвуковой генератор, индикатор амплитуды ультразвуковых колебаний, датчик амплитуды.

Действует устройство следующим образом. При включении ультразвукового генератора начинает работать магнитострикционный преобразователь и волновод-излучатель, настроенный на резонансный режим работы. Приведенный в соприкосновение с расплавом волновод-излучатель производит его обработку. В случае изменения длины волновода-излучателя за счет оплавления, диспергирования или намораживания изменяется положение плоскости узла или пучности, и при этом в датчиках вырабатываются электрические сигналы (в зависимости от того, увеличились или уменьшились размеры волновода-излучателя), которые подаются на дешифратор. Дешифратор подает сигнал на исполнитель-механизм с двигателем, который с помощью винта поднимает или опускает магнитострикционный преобразователь с волноводом-излучателем относительно расплавленного материала. При этом размеры волновода-излучателя корректируются (восстанавливаются) непосредственно в процессе ультразвукового воздействия, и он снова работает в резонансном режиме. Таким образом, указанный способ позволяет, посредством созданного на его принципах устройства, восстанавливать размеры волновода-излучателя непосредственно в процессе ультразвуковой обработки и повысить долговечность волновода-излучателя, стабильность ввода ультразвука в расплав.

Блок управления представляет собой конструкцию, состоящую из следующих узлов:

1. Источник питания.
2. Источник стабилизированного питания.

3. Электронная схема поиска и определения узловых точек и управление рабочим перемещением. В данную схему включены электромагнитные датчики, выполненные в экранированных корпусах на фторопластовых двухсекционных катушках (обмотки выполнены проводом 0,06 по 800 витков в каждой секции и включены встречно).

4. Система рабочих перемещений.

5. Система ускоренных перемещений.

Принцип работы устройства основан на разности электрических сигналов, выдаваемых с двух электромагнитных датчиков. При подходе датчиков к узловой точке они вырабатывают разные сигналы (один меньше другого), что обрабатывается компаратором, и он дает команду на включение или отключение через транзистор и реле. Реле своими контактами реверсирует двигатель, т.е. двигатель совершает колебательные движения около узловой точки и волновода.

Принципиальная схема устройства включает также ряд дополнительных функциональных законченных блоков электронного управления.

Блок совпадения (БС) соотносит окончание ускоренных перемещений и начало рабочих перемещений. Блок состоит из микросхем Д1 (К155ЛА3), Д2 (К155ИЕ1), емкости транзистора (КТ315), реле и блок-контакта.

Блок рабочих перемещений (БРП) состоит из датчиков установленных на магнестрикторе, операционных усилителей А1, А2, А3 (К140УД8А, Б), емкостей, диодов, подстроечников, сопротивлений, транзистора Т2 (КТ315), реле двигателя.

Схема начинает работать при включении тумблера. При этом электродвигатель переключает всю конструкцию ускоренно вниз до включения кончика. При этом скорость падает до минимальной. Одновременно с работой системы ускоренных перемещений и как только схема БС выдаст сигнал, что датчики находятся в рабочей зоне, произойдет отключение двигателя и ускоренное перемещение «вниз» прекратится. Система рабочих перемещений работает в режиме маятника, как только на одном из датчиков сигнал превысит уровень срабатывания компаратора, двигатель реверсируется и изменяет направление движения магнестриктора. Магнестриктор уходит в другую сторону (вверх) до следующего срабатывания схемы компаратора, при разности сигналов с индукционных датчиков, равной порогу срабатывания $\Delta Z \pm 0,5$ мм или длины перемещения магнестриктора - 0,2 мм

При изменении длины волновода-излучателя смещается узловая точка. Следовательно, датчики выдают разность сигналов, заставляющих схему привода магнитостриктора сработать команду, противоположную изменению длины волновода-излучателя. Это осуществляется до тех пор, пока индукционные датчики не совпадут с новой узловой точкой волновода-излучателя, которая определяет пространственное положение излучателя, т.е. изменение его длины.

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ УЛЬТРАЗВУКОВОГО УСТРОЙСТВА К ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ НАПЛАВОЧНЫМ СТАНКАМ

А.С.Шиляев, С.А.Стукин, Н.Ф.Луцаков М.М.Севернев А.М.Гриппанович
Белорусский государственный аграрный технический
университет, г.Минск

В состав (нового, разработанного в БАТУ) образца ультразвукового устройства входят:

- ультразвуковой генератор для питания пьезоэлектрического преобразователя;
- пьезоэлектрический преобразователь для превращения электрических колебаний в механические и передачи их волноводной присадочной проволоке;
- механизм подачи волноводной присадочной проволоки в микрованну/расплавленного металла (сварочную ванну);
- пульт управления механизмом подачи волноводной присадочной проволоки.

Испытания ультразвукового устройства к наплавочным станкам проходили на Полоцком авторемонтном заводе на участке восстановления колесчатых валов.

Проведенные промышленные испытания ультразвукового устройства к наплавочным станкам показали, что в целом устройство работоспособно и рекомендуется после некоторых корректировок конструкторской документации для тиражирования и последующей эксплуатации на других ремонтных заводах.

Разработанное новое ультразвуковое устройство к наплавочным станкам, по сравнению с устаревшим устройством, имеет меньшие в 12 раз габариты, сниженную в 10 раз массу, материалоемкость, пониженное в 11 раз потребление электроэнергии, сокращенное в 3 раз время настройки и запуска в эксплуатацию, повышенную в 5 раз износостойкость волновода, увеличенный на 60% ресурс работы. Разработанное устройство обеспечивает стабильную и устойчивую передачу ультразвука через присадочную проволоку в наплавочную ванну, что способствует формированию качественного и износостойкого металла. Устройство обеспечивает повышение производительности труда, экономию материальных и энергетических ресурсов.

Применение ультразвукового устройства к наплавочным станкам обеспечивает:

- повышение производительности труда и экономию материальных ресурсов;
- улучшение качества и повышение надежности деталей машин.

Технические решения, положенные в основу данного опытно-промышленного ультразвукового устройства к наплавочным станкам, защищены патентами Российской Федерации и Республики Беларусь.

Результаты исследований, разработка устройств исполнения и систем управления процессами электродуговой наплавки при воздействии ультразвука позволили создать гамму промышленного оборудования для данной технологии восстановления деталей машин как агропромышленного назначения, так и многих смежных отраслей.

Новый способ получения высокоутроченных наплавов увеличивает перспективность этого процесса в технологии восстановления и ремонта деталей сельхозмашин, другой техники и оборудования в целях повышения их эксплуатационных свойств и надежности.

Применение разработанного процесса и оборудования электродуговой наплавки в ультразвуковом поле в народном хозяйстве не ограничивается только восстановлением изношенных деталей. Расчеты и испытания показывают экономическую целесообразность применения его при изготовлении деталей машин. В этом случае основа детали изготавливается из недефицитных распространенных материалов, а поверхность – по разработанной технологии.

Широкое внедрение разработанного процесса и оборудования в промышленность позволит больше экономить дефицитные металлы, повысить эксплуатационные свойства и долговечность деталей машин.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ГЕТЕРОГЕННОЙ ТВЕРДОЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЕ В МОЩНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Н.Ф.Лутаков, А.С.Стукин, А.С.Шипяев
Белорусский государственный аграрный технический
университет, г.Минск

Реальный расплав порошковых металлических и неметаллических материалов в способе композиционных покрытий, восстановления, упрочнения и непрерывного изготовления деталей машин с заданными свойствами намораживанием в физических полях представляет собой гетерогенную твердожидкостную систему

В целях выяснения поведения твердых частиц в жидком расплаве в мощном ультразвуковом поле были проведены исследования влияния ультразвуковых колебаний на гетерогенные твердожидкостные системы.

Процесс регистрировался с помощью кино съемки кинокамерой «Конвас-автомат» с частотой кадров 32 кадра в секунду.

В качестве твердых частиц использовались частицы разной плотности и природы: электрокорунд, гетинакс. В качестве жидкости — вода и глицерин при комнатной температуре. Выбор обусловлен тем, что для выяснения механизма и характера распределения нужны разные соотношения в плотностях твердожидкостной системы.

Частицы силикатным клеем фиксировались на поверхности ультразвукового излучателя, и он опускался в жидкость. Включался ультразвук и синхронно кинокамера. Получены кинограммы поведения и распределения электрокорунда и гетинакса в воде под действием ультразвукового поля. Обработка ультразвуком производилась на частоте 22 кГц в режиме кавитации. На кинограммах видны осыпавшиеся с излучателя частицы электрокорунда и гетинакса без воздействия ультразвука. Последующие снимки фиксируют характер изменения явлений в ультразвуковом поле в течение полутора секунд. Видно, как быстро развивается процесс. В течение долей секунды распределение частиц в пространстве вблизи излучающей поверхности практически заканчивается. В результате ультразвуковой обработки происходит равномерное распределение частиц в обрабатываемом объеме и характер распределения не зависит от плотности частиц. Изучение форм и размеров частиц после воздействия ультразвука показывает, что в результате обработки они приобретают округлую форму, меняется их поверхностная структура и размеры. Наблюдается измельчение на

кинограмм поведения и распределения твердых частиц электрокорунда. В глицерине в ультразвуковом поле видно, что, по сравнению с предыдущими исследованиями, процесс распределения частиц в объеме идет значительно медленнее, вследствие большой вязкости системы, отсутствия развитой кавитации в обрабатываемом объеме и акустических потоков, а также большой плотности частиц.

Нам представляется, что качество намораживаемого слоя, его служебные свойства можно существенно изменить путем введения в намораживаемый и обрабатываемый ультразвуком металл твердых частиц. Проведенные исследования показали, что если в жидкой среде находятся твердые частицы, то за счет акустических потоков частицы разносятся и равномерно распределяются в объеме обрабатываемой ультразвуковыми колебаниями жидкой среды. Если процесс происходит в жидком металле, то, естественно, в этом случае за счет интенсификации в ультразвуковом поле диффузии, диспергирования и акустических потоков происходит модификация и легирование металла атомами твердых частиц, приводящие к его структурным изменениям. При этом процессе увеличивается число активных центров кристаллизации. Сохранившиеся частицы при затвердевании металла фиксируются в матрице металла.

Этими исследованиями показана принципиальная возможность получения композиционных покрытий, восстановления, упрочнения и изготовления деталей машин с заданными свойствами намораживанием в физических полях.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ГЕТЕРОГЕННОЙ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЕ В МОЩНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Н.Ф.Лугаков, А.С.Стукин, А.С.Шмеляев
Белорусский государственный аграрный технический
университет, г.Минск

Известно, что в жидкости всегда присутствуют свободные и растворенные газы.

Для экспериментальной проверки теоретических положений, касающихся дегазации, была поставлена серия опытов, связанных с выяснением влияния ультразвуковой обработки на характер протекания процесса дегазации. В качестве объекта исследования использовалась газированная вода, дистиллированная дегазированная вода. На этих объектах исследования особенно наглядно можно было изучить процесс перехода газа из растворенного состояния в свободное. Проводились визуальные наблюдения и регистрация процесса с помощью фото – и кино средств с частотой 3. кадра в секунду на специально созданной лабораторной установке. Для количественной оценки степени дегазации применен оптический метод.

В случае ультразвуковой обработки жидкости, содержащей в себе растворенные газы, процесс перехода последнего в свободное состояние происходит очень бурно. В случае ультразвуковой обработки дистиллированной воды каких-либо заметных явлений, связанных с дегазацией, не наблюдается.

Влияние частоты ультразвуковых колебаний на возникновение, состояние и поведение газовых пузырьков в жидкости проводилось на двух частотах: 22 кГц и 2000 кГц на специально разработанной установке. В опытах использована газированная выстоявшаяся некоторое время при атмосферном давлении вода.

Емкости с газированной водой устанавливались на излучатели ультразвука с частотой 22 кГц и 2000 кГц. Интенсивности ультразвука оценивались по высоте масляного бугра. Синхронно с включением ультразвука включалась кинокамера и регистрировалось влияние ультразвука.

Из анализа результатов эксперимента сделан вывод, что при возбуждении низкочастотных ультразвуковых колебаний (22 кГц) в жидкости с растворенным в ней газом происходит интенсивный переход растворенного газа в свободное состояние. При действии же на жидкость с растворенными в ней газами высокочастотных ультразвуковых колебаний (2500 кГц) такого эффекта не наблюдается.

Следовательно, низкочастотные ультразвуковые колебания преимущественно обеспечивают переход растворенных газов в свободное состояние. Высокочастотные — практически не оказывают заметного влияния на состояние растворенных газов, вследствие отсутствия развитой кавитации в высокочастотных ультразвуковых полях.

Из количественной оценки результатов исследования следует, что эффективность высокочастотной ультразвуковой эвакуации свободных газовых пузырьков в три и более раза превышает эффективность низкочастотной.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ТВЕРДОЕ ТЕЛО-ЖИДКОСТЬ В МОЩНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Н. Ф. Лукаков, А. С. Стукин, А. С. Шилуев

Белорусский государственный аграрный технический
университет, г. Минск

Непосредственное наблюдение процессов в реальных условиях намораживания из-за сложности и непрозрачности системы не представляется возможным. Поэтому необходимо было сложную систему дифференцировать и в соответствии с задачами выбрать определенные модели, на которых можно было изучить влияние ультразвукового поля и некоторых других факторов на состояние поверхности подложки (намораживаемой детали) и взаимодействия ее с расплавом.

В качестве материала объекта исследования, имитирующего трудно активируемый материал подложки (намораживаемой детали) использовали образцы из алюминия. Выбор обусловлен следующими обстоятельствами. Известно, что алюминий при взаимодействии с кислородом атмосферы при комнатной температуре сильно окисляется с образованием окисной пленки толщиной 20-50 Å. Окисная пленка (Al_2O_3) является весьма стойким химическим соединением и имеет температуру плавления 2323 К. В качестве расплава использовали оловянно-цинковый сплав (Sn - 80%, Zn - 20 %) с температурой плавления 473 К.

Для выяснения влияния ультразвукового поля на капиллярные процессы в твердожидкостной капиллярно-пористой системе в качестве объекта такой системы использовались образцы из пористого алюминия. Эффективность влияния ультразвукового поля на капиллярные процессы, происходящие в твердожидкостной системе, оценивалась по степени заполнения капиллярных систем бакелитовым лаком. Степень заполнения определялась весовым методом на аналитических весах с точностью до 0,1 мг.

Поверхность алюминиевых образцов во всех опытах имела одни и те же параметры шероховатости.

Исследования показали, что в обычных условиях, без ультразвуковой обработки системы «оловянно-цинковый расплав - алюминиевый образец», их соединения достичь не удастся. В этом случае атомное взаимодействие между расплавом и алюминием из-за наличия окисной пленки на поверхности алюминиевого образца не проявляется.

Наложение на систему «расплава – алюминиевый образец» ультразвукового поля разрушает окисные пленки, изменяет кинетику взаимодействия атомов расплава и твердого алюминия, активизирует диффузионные процессы и обеспечивает в итоге прочное соединение затвердевшего расплава с подложкой. В работе исследованы зависимости влияния температуры расплава, при которой обрабатывается система ультразвуком, расстояние от источника ультразвука до подложки, амплитуды ультразвуковых колебаний и продолжительности обработки на взаимодействие расплава с алюминиевой подложкой. При влиянии мощного ультразвукового поля на твердожидкостную систему на поверхности твердого тела возникают дополнительные дефекты типа пор, надрывов, трещин и т.п. Если капиллярно - пористое с поверхностными дефектами твердое тело находится в жидкой среде и на систему воздействует ультразвуковое поле, то за счет ультразвукового капиллярного эффекта интенсифицируется процесс проникновения расплава в подложку.

С целью проверки этого положения проведена пропитка бакелитовым лаком алюминиевых капиллярно - пористых образцов при постоянной амплитуде ультразвуковых колебаний. Полученные результаты исследования влияния амплитуды ультразвуковых колебаний, времени обработки, температуры наполнителя на относительное изменение приведенного увеличения массы после пропитки свидетельствуют о значительной интенсификации капиллярных и диффузионных процессов на границе раздела «твердое тело – жидкость».

Положительный эффект влияния ультразвукового поля на интенсификацию процесса пропитки пористо-капиллярных тел жидким наполнителем и диффузионные процессы на границе раздела «жидкий расплав-подложка» должен иметь место при намораживании расплава в физических полях.

НАПЛАВКА МЕТАЛЛА В ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ КАК СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ, ВОССТАНОВЛЕНИЯ, УПРОЧНЕНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

А.С.Шилев, Н.Ф.Лукаков, В.И.Семенов, А.С.Стукин
А.М.Гришанович, В.П.Иванов

Белорусский государственный аграрный технический
университет, г.Минск, Авторемонтный завод, г. Полоцк

Сущность способов металлизации металлических и неметаллических изделий, композиционных покрытий, восстановления, упрочнения и непрерывного изготовления многослойных деталей с заданными свойствами посредством намораживания расплавов материалов в физическом (ультразвуковом) поле изложена в работах /1-7/.

В настоящем докладе дается обоснование необходимости расширения гаммы физических полей, оказывающих существенное влияние на формирование структуры и свойств намораживаемого материала, а также схемные решения устройств для реализации способов металлизации, износостойких покрытий, восстановления, упрочнения и непрерывного изготовления многослойных деталей намораживанием расплавов заданного состава.

В докладе обсуждаются также общие вопросы методики и методологии проведения экспериментальных исследований процессов и явлений в сложных многофазных системах в физических полях.

Многообразие и сложность процессов и явлений, происходящих под действием физических полей в гетерогенных твердогазожидкостных системах, представляющих композиционный расплав в используемых порошковых материалах, а также в межфазной границе раздела твердое тело (восстанавливаемая деталь, упрочняемая поверхность, подложка изготавливаемой многослойной детали) – жидкость (расплавы порошковых материалов) обусловили привлечение различных методов и средств исследования как стандартных, так и оригинальных.

Изучение влияния физических полей на такие сложные системы, какими являются расплавы металлических и неметаллических порошковых материалов, связано с большими трудностями. Поэтому в ряде случаев, с целью установления закономерностей воздействия физических полей на сложные системы в жидкофазном состоянии, а также при исследовании строения, состава и свойств металлов и сплавов,

разным было проведение экспериментов на моделях. Ими явились легкие металлы или их сплавы, а также различные вещества с низкими температурами плавления, которые широко используются для моделирования кристаллизации. При моделировании процессов и явлений в жидких многофазных гетерогенных системах в физических полях использовались дифференцированные различные газожидкостные, жидкожидкостные, твердогазожидкостные, жидкотвердопористые системы.

Широкий спектр данных о влиянии физических полей на структуру и свойства вещества, процессы и явления в сложных системах позволил получить исчерпывающую информацию для разработки технологии покрытий, восстановления, упрочнения и непрерывного изготовления деталей машин с заданными свойствами посредством намораживания расплава материала в физических полях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шиляев А.С. Ультразвуковая обработка расплавов при производстве и восстановлении деталей машин. – Мн.: Наука і техника, 1992. – 176с.
2. Устройство для лужения керамических изделий: А.с. 187601 СССР: Кл. 80 в, 13/03; 80 в, 23/01, 49 h, 25.
3. Способ ввода ультразвуковых колебаний в расплав: А.с. 161477 СССР: Кл 31, 1504.
4. Способ изготовления биметаллических отливок: А.с. 483192 СССР: Кл.В 22 d 27/08, В 22d, 23/04.
5. Способ износостойкой наплавки: А.с. 1016912 СССР: В 23 К 9/04.
6. Способ обработки расплавленного металла: А.с. 383529 СССР: М.Кл. В. 22 d 27/02.
7. Способ дегазации расплавов материалов: А.с. 615146 СССР: М.Кл.² С 22 13 9/02.

АППАРАТУРА АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИСКВАЖИННУЮ ЗОНУ ПЛАСТА.

Л.А.Чернобай

Международная ассоциация разработчиков и пользователей
ультразвуковой техники и технологии, г.Минск

Аппаратура акустического воздействия представляет собой геофизический комплекс, используемый для обработки призабойной зоны продуктивных нефтенасыщенных отдающих и принимающих коллекторов. Воздействуя упругими колебаниями на нефтенасыщенные коллектора в ультразвуковом диапазоне частот и достаточной акустической мощности ($>1\text{вт/см}^2$), происходит интенсификация фильтрационных процессов в капиллярно-поровом пространстве, восстанавливается проницаемость скелета породы за счет разрушения асфальтосмолистых и неорганических отложений в прискважинной зоне пласта.

Комплекс аппаратуры акустического воздействия включает:

- а) наземную аппаратуру воздействия;
- б) наземную аппаратуру контроля и регулирования;
- в) глубинный (скважинный) акустический излучатель;
- г) каротажный геофизический кабель.

Наземная аппаратура воздействия представляет собой ультразвуковой генератор с тиристорным преобразователем частоты типа ТПЧ-3/50, запитываемый от 3-фазного выпрямителя. Выходные характеристики ТПЧ:

- выпрямленное напряжение -320 в;
- выходной ток -30 а;
- выходная мощность генератора -3,0 кВт;
- диапазон излучаемых частот -20 кГц $\pm$ 5кГц.

Контроль за работой аппаратуры воздействия и ее управление осуществляются электроизмерительными приборами, установленными как по входу, так и по выходу генератора. Частотный режим контролируется и регулируется электронно-счетным устройством. Подстройка выходного инвертора на нагрузку (кабельная линия-акустический излучатель) производится устройством регулирования с визуальным контролем за настройкой системы по циллограмме. Блок управления позволяет регулировать работу генератора переключая его в импульсный или непрерывный режим работы. В импульсном режиме есть возможность регулировки скважности импульсов.

В комплексе аппаратуры акустического воздействия определяющее значение уделяется характеристике скважинного излучателя. Используемый

лучатель изготовлен из пермендюра в форме стержня диаметром 36 мм, обмотки которого объединены в последовательную группу. Удельная акустическая мощность определяется из выражения:

$$P_{\text{уд}} = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2 B_m}{\eta} \frac{h}{r} \eta_m \cdot 10^{-3} \text{ (Вт/м}^2\text{)},$$

где

σ -магнитострикционная постоянная поляризованного излучателя;

h -толщина стенки прибора;

r -средний радиус прибора;

B_m -амплитудное значение переменной магнитной индукции;

η -акустико-механический КПД.

В нашем случае, при мощности излучения (3кВт) удельная акустическая мощность на единицу поверхности составила -1 Вт/см².

Электрическая линия генератор-излучатель выполнена на каротажном геофизическом кабеле марки КГ7-70-180 с фторопластовой изоляцией. Другие марки геофизических кабелей для данной линии не приемлемы из-за больших потерь на высоких частотах и температурных режимов работы кабеля. Применяемый кабель КГ7-70-180 семижильный с сечением 4мм², причем шесть жил кабеля включаются на нагрузку параллельно для снижения потерь передаваемой акустической мощности.

Одна из жил кабеля (седьмая) задействована под приборы геофизического контроля за работой глубинной аппаратуры воздействия.

Для привязки аппаратуры по глубине скважины подключается магнитный индикаторный прибор сплошности среды и манометрическая приставка, которая служит для контроля за работой глубинной аппаратуры акустического воздействия, проведения геофизических исследований скважин манометрическим методом, а также изучения гидродинамических характеристик пластов.

Под воздействием упругих колебаний в прискважинной зоне пласта интенсифицируются процессы теплообмена, которые в свою очередь, вызывают изменение забойного давления. Регистрируя давление в процессе обработки скважины акустическим полем, мы можем делать выводы о работоспособности аппаратуры воздействия, выбирать необходимые режимы обработки пласта. Регистрируя забойное и пластовое давление, тем самым, мы можем снимать кривую восстановления давления, а также фиксировать на каротажном материале документальный объем выполненных геофизических исследований.

Использование кабеля КГ7-70-180 (6-ти жильный вариант включения нагрузки) позволяет эффективно производить акустическую обработку скважин с глубиной до 2500 метров. Возможен и вариант включения нагрузки

по 4-х жильной схеме. В этом случае происходит уменьшение емкостной составляющей каротажного кабеля при увеличении его общего омического сопротивления. Это позволяет значительно упростить установление резонансного режима работы аппаратуры акустического воздействия, сохраняя максимальный КПД обработки. Последующее увеличение длины каротажного кабеля вызывает значительные потери акустической мощности. На каждые 500 метров каротажного кабеля потери акустической мощности составляют свыше -15%, что делает обработку прискажинной зоны пласта малоэффективной.

Анализ полученных скважинных исследований, проведенных на месторождениях Западно-Сибирского нефтяного комплекса, показывает, что предложенный комплекс аппаратуры акустического воздействия на нефтенасыщенные коллектора позволяет увеличивать дебит скважин в среднем на 15%. Продолжительность обработки скважин сохраняется в течение 4,5 месяцев.

Полученная эффективность работ говорит о перспективности их продолжения в направлении широкого использования предложенной технологии акустического воздействия на различных объектах разработки нефтяных и газовых месторождений.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕФТЕНАСЫЩЕННЫЕ КОЛЛЕКТОРА:

Л.А. Чернобай

Международная ассоциация разработчиков и пользователей
ультразвуковой техники и технологии, г. Минск

В последние годы в практике нефтедобывающей промышленности большее внимание уделяется физическим методам воздействия на нефтенасыщенные коллектора с целью повышения степени извлечения нефти из недр и интенсификации добычи нефти.

Одним из перспективных физических методов является метод акустического воздействия на призабойную зону скважины, и в целом, на продуктивный пласт мощными упругими колебаниями.

Обработку прискважинной зоны нефтеносного пласта производят аппаратурой акустического воздействия, спускаемой в работающую скважину на геофизическом каротажном кабеле.

Воздействуя на пористый нефтенасыщенный коллектор мощными акустическими колебаниями, в прискважинной зоне происходят различные явления физико-химического и термодинамического характера, вызывающие значительные ускорения фильтрационных процессов в капиллярно-поровом пространстве пласта. Наблюдается увеличение проницаемости нефтенасыщенного коллектора. Происходит очистка засорившегося вскрытого фильтра за счет разрушения асфальтосмолистых и неорганических отложений в призабойной зоне скважины.

Комплексные теоретические, экспериментальные и промысловые исследования показали эффективность применения акустического поля по обработке пористой нефтенасыщенной среды для увеличения нефтеотдачи и темпов разработки нефтенасыщенных коллекторов.

В основе физического механизма акустического воздействия на насыщенную нефтью пористую среду, вызывающего интенсификацию фильтрационных процессов в капиллярно-поровом пространстве, лежат процессы ослабления сил адгезии флюида к скелету породы вследствие возмущающего воздействия упругой волны и формирования направленного движения флюида в акустическом поле.

В насыщенной пористой среде также могут существовать и вторичные явления, относящиеся к неволновым эффектам. К их числу относятся радиа-

ционное давление, акустические потоки, кавитация, дегазация, фазовые переходы и т. д.

Акустическая волна, при распространении через насыщенную пористую среду, по мере отдаления от источника колебаний принимает пилообразную форму с крутым подъемом по переднему фронту и пологим спадом. На некотором расстоянии от излучателя упругая волна становится явно несинусоидальной, приводящей к возникновению гармоник, которые создают постоянное радиационное давление, имеющее величину 2-го порядка в сравнении с амплитудным значением колебательного давления.

Колебательные возмущения (акустические потоки) насыщенной жидкостью пористой среды возникают вследствие поглощения коллектором энергии распространяющейся упругой волны. Причем, возникающие в среде акустические потоки носят вихревой характер и направлены в сторону распространения упругой волны. В зависимости от формы и структуры внешних границ среды и ее молекулярных свойств скорость акустических потоков может значительно менять свою величину. Для насыщенных пористых сред, когда размер неоднородностей (δ) коллектора сравним или меньше длины упругой волны (λ)

$$\text{где} \quad \delta \leq \lambda, \text{ где } \delta = \sqrt{\nu/\omega},$$

ν — кинематическая вязкость,

ω — частота поля,

возникающие потоки вне пограничного слоя (пограничный слой 2δ) имеют масштабность равной длине звуковой волны.

Акустическое поле малых амплитуд в основном оказывает свое влияние на пористую среду в размере пограничного слоя. По мере роста амплитуды упругих колебаний скорость потоков в пограничном слое увеличивается и постепенно начинает формироваться зона замкнутых течений толщиной, равной 2δ .

Возникновение этих течений происходит тогда, когда акустическая волна имеет амплитуду смещения, равную примерно толщине акустического пограничного слоя. В пограничном слое, который включает в себя кроме жидкости скелет пористой породы, возникают акустические потоки. Характер потоков зависит от кинематической вязкости жидкости и амплитуды смещения упругих волн. При малых амплитудах смещения акустические потоки ламинарны и огибают собой ближние препятствия. По мере возрастания акустического поля от 0,1 Вт/см² и выше наблюдается обтекание акустическим потоком препятствий в значительной удаленности от источника излучения. Причем, зарождение потоков происходит в зонах до 10δ пограничного слоя

с образованием акустических течений сложного вихреобразного характера движения.

Увеличивая вводимую мощность упругих колебаний в нефтенасыщенную пористую среду, мы, тем самым, увеличиваем и радиус охвата продуктивного коллектора. Точно так же, как и возрастание вязкости жидкости, которое влечет за собой оттеснение потоков на большее расстояние от пограничного слоя.

Однако с увеличением вязкости жидкости возрастают и пороговые значения акустической мощности, при которой возникают акустические течения. Максимальную скорость акустических потоков (U_{max}) можно выразить:

$$U_{\text{max}} = \frac{k_{\text{пр}}}{\mu} \Delta E = \frac{\alpha V_0^2}{\nu} d^2,$$

где

E -полная упругая энергия волны;

$k_{\text{пр}}$ -коэффициент проницаемости;

α -коэффициент затухания волны;

μ -вязкость жидкости;

ν -кинематическая вязкость скважинного флюида;

V_0 -амплитуда колебательной скорости;

d -диаметр пор нефтенасыщенного коллектора.

Рассматривая это выражение, можно сделать вывод о том, что относительные скорости акустических потоков соизмеримы со скоростью движения жидкости по пласту.

Колебательное движение жидкости в пористой среде приводит к перераспределению поверхностных сил на границе флюид-порода. Вводя упругие колебания достаточной мощности в нефтенасыщенный коллектор, мы, тем самым, изменяем силы адгезии флюида и скелета породы, приводящие в итоге к увеличению относительной скорости фильтрации. Причем, скорость фильтрации для нефтенасыщенных коллекторов может кратнo возрасти при воздействии упругими колебаниями достаточной величины ($>1 \text{ Вт/см}^2$).

В результате использования акустического поля в процессах интенсификации добычи нефти в условиях Западно-Сибирского региона при $k=300 \text{ мД}$ установлено, что скорость фильтрации возрастает в несколько раз и определяется в основном вводимой мощностью упругих колебаний.

Кроме рассмотренных акустических потоков существенную роль в интенсификации процессов фильтрации насыщенных пористых коллекторов оказывают кавитационные явления в акустическом поле. Явление кавитации заключается в образовании в жидкости ряда мельчайших разрывов с последующим схлопыванием этих разрывов. Разрывы возникают под действием переменных давлений, создаваемых в объеме источником акустического поля.

Для разрыва жидкости необходимо, чтобы амплитуда акустического давления превышала величину прочности жидкости на разрыв, которая для идеальной жидкости составляет порядка -10 атмосфер. Включение различных микрон неоднородностей значительно снижает прочность жидкости. Количество примесей-зародышей определяет реальную структуру жидкости и по ним устанавливается пороговое значение акустического поля, которое необходимо для создания кавитации.

При прохождении упругих колебаний через нефтенасыщенную пористую среду явления кавитации возникают при условии вводимой мощности $> 0,5 \text{ Вт/см}^2$, которая рассчитывается из выражения:

$$I = \frac{P_c}{2\rho c},$$

где

P_c - акустическое давление;

ρ - плотность жидкости;

c - скорость распространения звука в жидкости.

Для выполнения условий существования кавитационного режима необходимо чтобы разность гидродинамического давления и давления насыщения жидкости газом была меньше давления акустической волны. Только при таких условиях в системе будет существовать устойчивый кавитационный процесс, интенсифицирующий фильтрацию в пористом коллекторе.

Таким образом, важнейшим механизмом интенсификации фильтрации жидкости при воздействии акустического поля на насыщенную породу оказывают такие явления, как акустические потоки, вызывающие дополнительный массоперенос, кавитация, сопровождающаяся дегазацией жидкости. Однако течение этих явлений возможно только при определенных граничных условиях и параметрах работы аппаратуры акустического воздействия на нефтенасыщенную пористую среду.

УДК 621.783

Использование ультразвуковых колебаний в процессе засыпки
 изоляционного порошка при производстве кабельных заготовок

Клубович В.В., Рубаник В.В.*, Царенко Ю.В.

Институт технической акустики НАН Беларуси

* Витебский государственный технологический университет

Традиционная технология производства кабелей с минеральной изоляцией в металлических оболочках является весьма трудоемкой и дорогостоящей. Она включает в себя операции засыпки трубы-заготовки, последующее волочение и термическую обработку после каждого обжигания. Засыпка и уплотнение труб изоляционным материалом является самой ответственной и трудоемкой задачей. Нарушение технологических режимов прежде всего отражается на центровке токопроводящих жил и плотности изоляции и, следовательно, на электрических параметрах кабелей. В качестве изоляционного материала используют оксиды магния и алюминия. Чтобы не происходило увлажнение изоляционного порошка, во время засыпки его прокаливают в проходной электрической печи. Температура прокаливания составляла 800 °С.

Особенностью процесса волочения кабеля с минеральной изоляцией является то, что при волочении происходит одновременно деформация оболочки, жилы и изоляционного слоя, это приводит к увеличению плотности порошка до определенного значения. Деформирование жил происходит под действием сил, передаваемых через слой наполнителя. В результате на поверхности жил образуются вмятины, возникает значительная неоднородность в сечении по длине. Причем, неоднородность поверхности жил зависит как от физико-механических свойств материала жил, так и от гранулометрического состава порошка. Это приводит при последующем волочении, особенно кабелей малого диаметра, к обрывам жил, нестабильности термоздС, преждевременному выходу из строя нагревостойкого кабеля при эксплуатации.

Применение в качестве изоляции порошка с меньшими размерами частиц, например, окиси магния марки ЧДА по ГОСТ 4526-75 в значительной мере устраняет указанные недостатки. Однако мелкодисперсная окись магния обладает малой сыпучестью, что не позволяет использовать при изготовлении заготовки способ засыпки, совмещенный с волочением, где перемещение порошка происходит под действием силы тяжести.

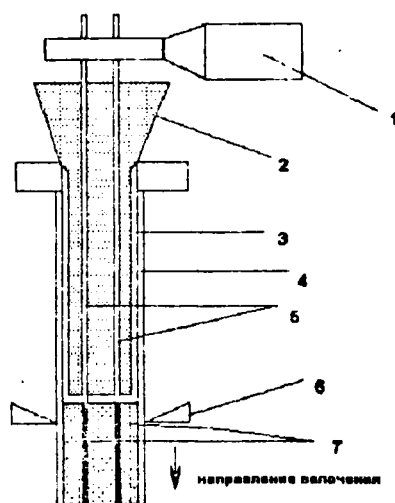


Рис.1. Схема засыпки порошковой изоляцией кабельной заготовки с использованием ультразвуковых колебаний: 1-магнитострикционный преобразователь-концентратор, 2-бункер, 3-направляющая труба (шток), 4-труба-заготовка, 5-направляющие трубки для жил, 6- вибратор, 7- гокопроводящие жилы.

Применение ультразвуковых колебаний позволило, используя заводскую технологию засыпки с одновременным уплотнением волочением, производить заполнение кабельной заготовки порошковым материалом любого гранулометрического состава. На рис.1 представлена схема, реализующая способ ультразвуковой засыпки порошка. Ультразвуковые колебания возбуждали с помощью магнитострикционного преобразователя 1. Из бункера 2 через шток 3 и отверстия в пробке штока порошок поступает в трубу-заготовку 4. Скорость заполнения определяется размером отверстий в пробке штока и размерами частиц порошка. В соответствии с заводской технологией уплотнение порошка осуществляется вибратором 6, расположенным на некотором расстоянии от волокни. Однако воздействие на трубу-заготовку низкочастотных вибраций (50 Гц) не устраняет зависания порошка как

в пробке штока, так и в бункере и практически не влияет на сыпучесть. При возбуждении в направляющих трубках 5 ультразвуковых колебаний порошок, находясь в контакте с вибрирующей поверхностью трубок, свободно перемещается как в отверстие бункера, так и в отверстиях пробки штока. Причем, скорость движения порошка значительно увеличится. Это обусловлено тем, что силы трения, возникающие между движущимися частицами порошка и поверхностью трубок, а также поверхностью отверстий пробки штока, при воздействии ультразвуковых колебаний существенно снижаются.

В заводских условиях разработанную технологию применяли при заполнении трубы из стали ЭИ-435 размером 20х2 мм с внутренними жилами из сплавов алюминия и хрома диаметром 3,6 мм для получения термостойкой кабельной заготовки КТМС(ХА) и с внутренними жилами из никрома диаметром 3,3 мм для получения заготовки нагревостойкого кабеля КНМСН. В качестве изоляционного порошка использовали окись магния марки ЧДА со средним размером частиц 2...4 мкм. Степень деформации при волочении заготовки составляла 15%. Источником ультразвуковых колебаний служил магнитострикционный преобразователь, питаемый от генератора УЗДН-2Т. Из исходной заготовки кабеля диаметром 22 мм получали изделия конечного диаметра 0,15 мм, удовлетворяющие требованиям ТУ 16-505.757-75. В случае использования окиси магния марки ПЭ-1М с размером частиц 40...60 мкм получать изделие диаметром менее 1,0 мм не удавалось. Кроме того, использование окиси магния с размером частиц 2...4 мкм позволило увеличить пробивные напряжения в кабельных заготовках до 1,5 раза.

Для повышения производительности процесса засыпки изоляционного порошка и улучшения качества заготовки было разработано устройство, в котором помимо направляющих трубок для жил, дополнительно вводились засыпные трубки резонансной длины, в которых возбуждали изгибные ультразвуковые колебания. Это позволило увеличить скорость засыпки порошка, полностью исключить пустоты в кабельной заготовке и обеспечить засыпку мелкодисперсного порошка. Локализация ультразвуковых колебаний в засыпной трубе исключает возбуждение колебаний в жилах, что позволяет осуществлять точную их центровку в кабельной заготовке в процессе засыпки. Скорость протягивания заготовки составила 0,04 м/с, при засыпке по заводской технологии скорость составляет 0,02 м/с.

Таким образом, использование ультразвуковых колебаний различной направленности и интенсивности в процессе сборки заготовки кабеля позволило увеличить производительность процесса производства кабелей и повысить качество готовой продукции.

УДК 669.018.2

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАТНОГО МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В TiNi

В.В. Рубаник, В.В. Клубович*, В.В. Рубаник (мл.)*

Витебский государственный технологический университет

* Институт технической акустики НАН Беларуси

Ранее нами было показано, что за счет возбуждения акустических колебаний в TiNi образцах возможно инициировать практически весь спектр эффектов мартенситной неупругости: эффект памяти формы, пластичность превращения, генерацию реактивных напряжений [1]. И хотя полностью механизм ультразвукового воздействия на сплавы с памятью формы не установлен, можно утверждать, что основное его влияние связано с разогревом материала в результате поглощения акустической энергии. В связи с тем, что внутреннее трение TiNi сильно зависит от фазового состояния, степень поглощения энергии ультразвука и скорость нагрева будут также зависеть от фазового состояния материала. Кроме того, возбуждение продольных ультразвуковых колебаний в TiNi образцах резонансной длины с неизбежностью приводит к неравномерности его нагрева по длине. Это обусловлено неравномерностью распределения механических напряжений, которые максимальны в узлах и минимальны в пучностях ультразвуковых смещений образца.

Исследования по распределению температурных полей, создаваемых акустическими колебаниями, проводили на TiNi образцах примерно эквиатомного состава волновой длины диаметром 10 мм. Исходные характеристические температуры материала имели значения: $M_n=70^{\circ}\text{C}$, $M_s=60^{\circ}\text{C}$, $A_n=93^{\circ}\text{C}$ и $A_s=105^{\circ}\text{C}$. Для возбуждения в образце ультразвуковых колебаний (УЗК) использовали генератор с автоматической подстройкой резонансной частоты и непрерывной регистрацией частоты и амплитуды УЗК. Образцы к концентратору крепили методом резьбового соединения.

Для изучения температурного профиля всего образца в процессе воздействия УЗК была использована система "Thermovision 880" фирмы Agema. На рис.1 приведена блок-схема контрольно-измерительного комплекса, используемого для исследований. Термовизионная система состоит из термографического видеокамерного блока, черно-белого

контрольного монитора, видеомагнитофона и компьютера для обработки данных с цветным дисплеем. Измерения проводили в температурном интервале от 20°C до 150°C, т.е. в интервале мартенситных превращений с точностью 0.5°C. Видеокамерный блок располагался так, что позволял снимать весь образец и место соединения образца с концентратором (рис.2). На рис.2b приведена цветокодирующая температурная шкала для этих испытаний. Запись процесса велась на видеомагнитофон, с которого в дальнейшем информация вносилась в компьютер и обрабатывалась.

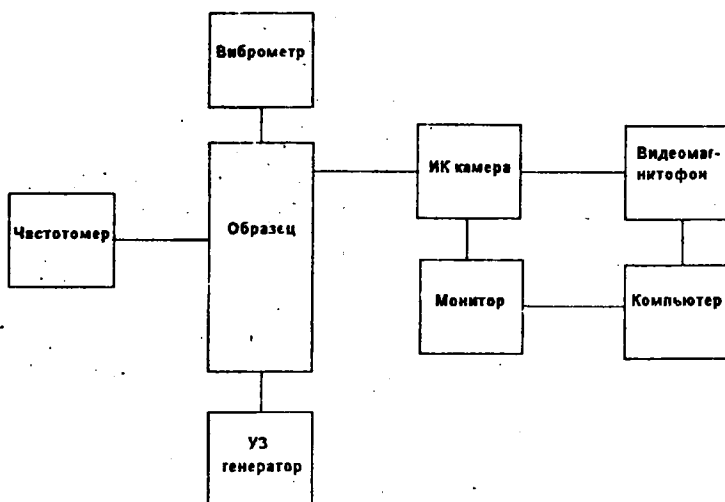


Рис.1. Блок-схема измерений распределения температуры по поверхности образца

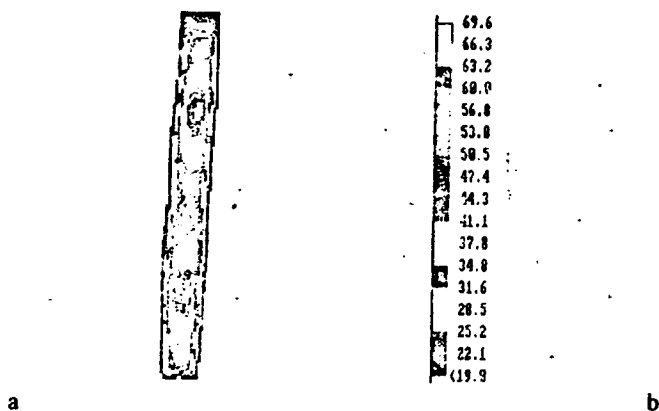


Рис.2. Инфракрасный термографический профиль TiNi волнового образца через 150 с после начала возбуждения УЗК

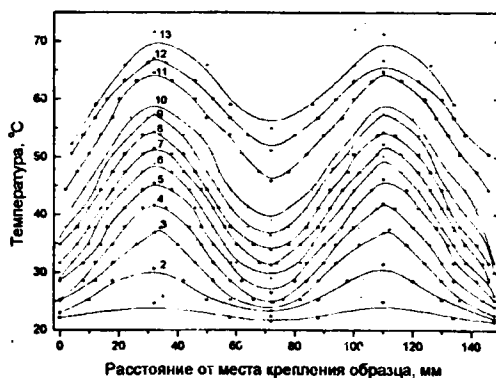


Рис.3. Распределение температур по поверхности TiNi образца в процессе УЗК воздействия. Время действия УЗК: 1 - 4; 2 - 13; 3 - 22; 4 - 31; 5 - 40; 6 - 49; 7 - 58; 8 - 67; 9 - 78; 10 - 89; 11 - 118; 12 - 146; 13 - 165 секунд. Резонансная частота в начальный момент озвучивания 22.3 кГц

Установлено, что в образцах резонансной длины в процессе воздействия ультразвука максимальный нагрев наблюдается в узлах смещений и минимальный в пучностях смещений, или узлах механических напряжений. За счет теплообмена температура по длине образца со временем вырабатывается. Однако разница температур по длине образца в процессе его нагрева за счет УЗК до $T \approx A_c$ сохраняется и составляет до 20°C (рис.3). В аустенитном состоянии УЗК практически не вызывают дальнейшего разогрева TiNi волновода и его температура стабилизируется. Это обусловлено более низким уровнем внутреннего трения TiNi в аустенитном состоянии по сравнению с мартенситным. Кроме того, при переходе материала из мартенситного в аустенитное состояние наблюдалось увеличение и амплитуды смещения TiNi волновода. Так, при исходной амплитуде смещений торца волновода 2 мкм (мартенситное состояние) переход в аустенитное состояние сопровождался увеличением амплитуды до 8-12 мкм. Изменение резонансной частоты (рис.4) в зависимости от времени действия УЗК и температуры на поверхности образца указывает, что фазовое превращение в материале под действием ультразвука начинается и заканчивается при более низкой температуре по сравнению с нагревом в печи. Эти данные подтверждают ранее сделанные выводы об изменении характеристических температур под действием УЗК, полученные с помощью dilatометрических исследований [1].

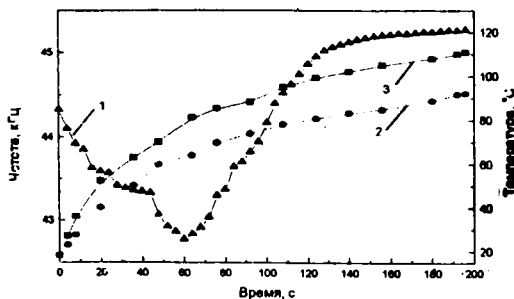


Рис.4. Изменение резонансной частоты УЗК (кривая 1), максимальной (кривая 3) и средней (кривая 2) температуры на поверхности TiNi образца длиной 80мм в процессе его озвучивания

Таким образом установлено, что ультразвуковые колебания могут в полной мере инициировать обратное мартенситное превращение в TiNi, при этом механизм превращения несколько отличен от теплового. В частности, УЗК обуславливают изменение характеристических температур превращения. Фазовое превращение в материале под действием ультразвука начинается и заканчивается при более низкой температуре по сравнению с нагревом в печи, о чем можно судить по изменению резонансной частоты в зависимости от температуры на поверхности образца при ультразвуковом воздействии.

Литература:

1. Generation of Shape Memory Effect in TiNi Alloy by Means of Ultrasound. V.V.Klubovich, V.V.Rubanick, V.G.Dorodeiko, V.A Likhachov, V.V.Rubanick Jr. /Proceedings II Intern. Conf. on Shape Memory and Superelastic Technologies: Engineering and Biomedical Applications. -Asilomar, Pacific Grove, CA (USA), March, 1997 - P.59-64.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского ФФИ (проект Т97М - 167).

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

В. Г. Шипша, Е. Л. Лебедев, ВИККА им. А. Ф. Можайского

И. В. Пегушко (ВНИИТВЧ, РФ).

Явление облегчения деформации и разрушения твёрдых тел в условиях контакта с поверхностно-активными веществами (ПАВ) известно как эффект Ребиндера, представляет одну из важных с точки зрения теории и практики проблем материаловедения.

Несмотря на многолетние исследования, физический механизм данного явления окончательно не ясен, и основные закономерности взаимодействия ПАВ с твёрдыми телами сформулированы на основании экспериментальных данных. Так установлено, что разупрочняющее действие ПАВ возможно при соблюдении трёх необходимых условий:

1. Адсорбция ПАВ на поверхности твёрдого тела,
2. Соответствие температуры взаимодействия температурному диапазону физико-химической активности ПАВ;
3. Наличие механических напряжений.

Кроме этого, установлено, что степень разупрочняющего действия ПАВ будет зависеть от ряда факторов таких, как:

1. Внешние факторы (температура взаимодействия, уровень прилагаемых напряжений, скорость деформирования, время выдержки ПАВ в контакте с твёрдым телом и т.д.);
2. Химический состав ПАВ;
3. Химический состав и структура разрушаемого твёрдого тела.

В зависимости от комбинации данных факторов может наблюдаться пластифицирование твёрдого тела, его охрупчивание и даже самопроизвольное диспергирование.

Несмотря на отсутствие чёткого представления о физическом механизме взаимодействия ПАВ с твёрдыми телами, эффект Ребиндера нашел широкое применение на практике. На его основе разработаны новые технологические процессы протяжки, штамповки и вальцовки, диспергирования твёрдого тела, а также составы технологических жидкостей, используемых при резании и поверхностной обработке твёрдых тел.

Особую привлекательность представляет использование ПАВ при обработке металлов ультразвуком. Это обусловлено тем, что в данном случае происходит непрерывное тонкое поверхностное диспергирование

обрабатываемого металла, что автоматически обеспечивает необходимые условия взаимодействия с ПАВ. Кроме того, при определённом подборе параметров ультразвуковой обработки (частота, амплитуда колебаний, сила поджатия инструмента и т.д.) возможно обеспечение наиболее благоприятного сочетания факторов, влияющих на степень разупрочняющего действия ПАВ. Таким образом, можно ожидать, что применение эффекта Ребиндера позволит значительно увеличить эффективность ультразвуковой обработки твёрдых тел.

Несмотря на очевидную важность данного вопроса, известна только одна работа, посвящённая его изучению. Её авторы исследовали влияние органических ПАВ (растворы олеата натрия в воде, олеиновой и пальмитиновой кислот в бензине) на скорость ультразвуковой обработки ряда чистых металлов и сплавов, обладающих разными механическими свойствами. Было установлено, что в присутствии ПАВ не только улучшается качество обрабатываемой поверхности, но и значительно, в 2...3 раза, увеличивается скорость ультразвуковой обработки.

Особую привлекательность для повышения эффективности обработки металлов ультразвуком имеет применение не органических, а более активных по отношению к металлам – жидкометаллических ПАВ. Данная возможность в работе упоминается, однако какое-либо её изучение не проводилось.

Для практической апробации воздействия жидкометаллических ПАВ на металлы с наложением ультразвуковых колебаний был поставлен эксперимент, где в качестве ПАВ использовался галлий, а объектом воздействия был алюминиевый сплав АМЦ.

В качестве источника ультразвуковых механических колебаний использовался пьезокерамический преобразователь, представляющий собой полуволновую колебательную систему. Рабочий торец излучателя имел округлую форму с радиусом 3 мм. Его амплитуда механических колебаний была равна 20 мкм.

Питание преобразователя осуществлялось от транзисторного генератора типа УЗГ13-0,1/22, имеющего системы автоматической подстройки частоты и автоматической стабилизации амплитуды механических колебаний, что обеспечивало высокую стабильность технологических параметров и повторяемость результатов эксперимента.

На поверхность листа толщиной 3 мм из алюминиевого сплава помещали каплю (диаметром 10 мм) галлия, куда помещали рабочий торец излучателя. После включения генератора излучатель перемещали вдоль поверхности детали, оставляя его торец в капле ПАВ. При скорости перемещения 5 м/мин на детали оставался залуженный галлием след шириной 5 мм. Через 10 минут образцы разрушались в области лужения даже при незначительном усилии.

О ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ЛУЖЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

С.С. Зурилин, И.В. Петушко

Научно-исследовательский институт токов высокой частоты,

г. Санкт-Петербург

Процесс ультразвукового (УЗ) лужения обусловлен разрушением поверхностной окисной пленки кавитацией и смачиванием поверхности изделий расплавленным припоем.

Время лужения ($t_{лж}$) детали в расплаве определяется, как сумма времени прогрева детали $t_{пр}$ и времени, необходимого для разрушения окисной пленки $t_{раз}$.

$$t_{лж} = t_{пр} + t_{раз} \quad (1)$$

Необходимость прогрева детали вызвана тем, что вокруг поверхности холодной, по отношению к расплаву, детали образуется слой припоя повышенной вязкости (происходит локальное охлаждение припоя).

Развитие кавитационного процесса в этом слое затормаживается. Время прогрева зависит от разности температур поверхности детали. С другой стороны, для сохранения прочности и жесткости деталей из алюминия и его сплавов температура расплава при лужении, как правило, не должна превышать $+300^\circ\text{C}$, однако, если удельная мощность источника колебаний велика и позволяет создать мощное кавитационное поле в расплаве припоя у поверхности детали, то необходимость прогрева детали отпадает. Следует только зафиксировать температуру расплава на уровне

$$(t_{\text{плавления}} + 50^\circ\text{C}) \leq +300^\circ\text{C} \quad (2).$$

Время разрушения окисной пленки зависит от мощности источника колебаний, расстояния от поверхности детали до излучателя и затухания кавитации в расплаве.

Тогда приближенно имеем:

$$t_{раз} \approx (S_{лж} \cdot \alpha \cdot \gamma) / (S_{изл} \cdot \beta \cdot \omega \cdot \xi) \quad (3), \text{ где}$$

$S_{лж}$ -- площадь лужения;

α - коэффициент затухания кавитации в расплаве припоя;

β - коэффициент равномерности распределения колебательной скорости излучателя;

$\omega \cdot \xi$ – колебательная скорость на поверхности излучателя ($\omega = 2 \pi \cdot f$, $f = 17 \dots 23$ кГц);

r – расстояние от излучателя до поверхности лужения;

$S_{\text{пл}}$ – площадь излучения колебаний ($S_{\text{пл}} = 0,8 \dots 1,2 S_{\text{пл}}$).

При лужении, например, тонкой алюминиевой ленты толщиной 0,1...0,15 мм и шириной $d=40$ мм со скоростью протяжки $U_{\text{лж}} = 40$ м/мин в ультразвуковой ванне (длина излучающей поверхности шести преобразователей $l=0,6$ м) время и площадь лужения определяется как:

$$t_{\text{лж}} = l / U_{\text{лж}} = 0,9 \text{ с}, S_{\text{лж}} = d \cdot l = 0,024 \text{ м}^2.$$

Пренебрегая временем прогрева, вследствие малой толщины ленты и её полного погружения в расплав, получим:

$$t_{\text{лж}} = t_{\text{прог}} = 0,9 \text{ с (4)}.$$

Коэффициент α зависит от вязкости и плотности расплава припоев и примерно равен 300. Тогда при $\beta = 1$ из (3) получаем:

$$\xi = (300 \cdot r \cdot U_{\text{лж}}) / (\omega \cdot l) \text{ (5)}.$$

Подставив в формулу (5) численные значения параметров, получим, что для лужения ленты со скоростью 40 м/мин на расстоянии 0,01 м от поверхности излучения необходима колебательная скорость $\omega \cdot \xi = 3,33$ м/с. При рабочей частоте излучателя в 22 кГц амплитуда колебаний должна быть не менее 24 мкм.

В случае лужения относительно толстых деталей, например, торца пластины (длина 0,6 м) из сплава АМЦ (размеры торца 0,06 м на 0,005 м) время прогрева (3 мин) определялось экспериментально, по достижении $t=250^\circ\text{C}$ поверхности пластины на расстоянии 0,1 м от торца. Лужение проводилось в ванне с донным преобразователем ($\omega \cdot \xi = 0,55$ м/с, $r = 0,003$ м).

Время разрушения окисной плёнки определим из (3), при условии $S_{\text{пл}} / S_{\text{пл}} = 0,8$, $\beta = 1$, $\alpha = 300$, $t_{\text{прог}} = 1,3$ с.

Таким образом, в данном случае производительность лужения определяется временем прогрева детали.

Выводы:

1. Получено выражение (5) для определения амплитуды механических колебаний излучателя для лужения тонкой алюминиевой ленты в зависимости от технологических параметров.
2. Показано, что для достижения большой производительности лужения алюминия и его сплавов, предпочтительно применение высокоамплитудных излучателей ($\omega \cdot \xi \geq 1$ м/с, при $r < 0,01$ м).

ВЛИЯНИЕ УЗК НА МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТОРФЕ

Н.И. Брезовский, Н.П. Воронова, Л.Л. Голубкова, Е.К. Костюкевич
Белорусская государственная политехническая академия,
Белорусский государственный аграрный технический университет

Ускорение процессов массопереноса при помощи ультразвукового воздействия приобретает в настоящее время большое значение. Известно, что распространение в жидких средах ультразвуковых колебаний конечной амплитуды порождает физические эффекты, использование которых в технологии создает реальные предпосылки интенсификации технологического процесса и коренного улучшения качества конечного продукта. Современная ультразвуковая техника позволяет реализовать в жидкой фазе дисперсной системы режимы развитой кавитации и активных акустических течений, что обеспечивает значительное ускорение кинетики протекания массообменных процессов как в жидкостях, так и на фазовой границе раздела жидкость – газ жидкость-твердое тело, т.е. осуществлять диспергирование и эмульгирование веществ, изменяя скорость их растворения и кристаллизацию, интенсифицировать диффузионные массообменные и другие явления.

Ультразвук, как средство для определения отдельных свойств вещества и как источник интенсификации, изучается и в торфяной области.

При воздействии УЗК на дисперсные системы, как торф, для ускорения процессов массопереноса требуется интенсивность не ниже $0,2 \text{ Вт/см}^2$. Наиболее эффективной для воздействия УЗК на процессы массопереноса является область частот $18-50 \text{ кГц}$ [1].

Торф представляет собой капиллярно-пористое тело, в котором твердая фаза заполнена частично водой и воздухом. В нем различают макро- и микроструктуры. Макроструктуру составляют остатки растений - торфообразователей, а микроструктуру - продукты распада. Поры в торфе изменяются в широких пределах - от 10 до 10^2 см и имеют неправильную форму. Поэтому торф относится к неоднородным пористым материалам. Имеющиеся в нем микропоры могут существенно влиять на кинетику диффузии и значительно изменять коэффициент диффузии. Внутри торфяной частицы находятся функциональные группы, взаимодействующие между собой через водородные связи, и которые могут быть сшиты поливалентными катионами. При тепловом движении и

влиянии парогазовой среды часть функциональных групп может быть свободна и служить центрами сорбции, а другая – замкнута. Поэтому состояние поверхности торфа не является постоянным, а распределение и количество функциональных групп в торфе зависят от его химического состава, степени разложения, переработки и других факторов.

Установлено, что воздействуя УЗК на торф, можно ускорять явления массопереноса и добиваться в некоторых случаях более полного извлечения веществ, а также изменять их свойства. Это осуществляется благодаря кавитации, разрушающему действию УЗК, ускорению растворения некоторых компонентов.

В результате процессы переноса вещества, тепла и количества движения становятся более организованными и интенсивными. При этом уменьшаются потери рассеиваемой энергии, что ведет в целом к снижению энергоемкости процессов.

Практическое подтверждение этому находим при искусственном обезвоживании торфа в ультразвуковом поле, как одного из путей по снижению зависимости торфяного производства от неблагоприятных погодных условий.

На основании решения обратной задачи массопереноса получим «эффективный» коэффициент диффузии, с помощью которого можно полностью описать комплексный процесс обработки торфа, имеющий вид:

$$D(t) = -0,0421t^2 - 0,0987t + 2,0357,$$

где t – время.

Используя математическую модель, предложенную в [2], можно оптимизировать по времени процесс обработки торфа, что даст значительную экономию энергозатрат.

Результаты исследования торфа при обработке УЗК частотой $f = 22-44$ кГц и интенсивностью $I = 0,4-0,7$ кВт/м² в слое 40 мм показали, что воздействие УЗК приводит к уменьшению плотности торфа и градиента влаги верхней и нижней его частей (до 25%), а колебания влажности образца от поверхности раздела до центра уменьшаются до 2%. Таким образом, воздействуя УЗК на торф, можно увеличить более чем в 1,5 раза коэффициент массопроводности за счет равномерного распределения влажности в объеме и тем самым снизить энергозатраты получения торфяных брикетов за счет уменьшения влажности сырья (торфа), поступающего в сушилку.

Экспериментально установлено, что в ультразвуковом поле скорость

экстракции битумов торфа повышается в 1,6-2,4 раза, а также растет на 10-15% полнота его извлечения, что уменьшает расход сырья на экстракцию по сравнению с обычными условиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березовский Н.И., Богатов Б.А., Костюкевич Е.К. Снижение энергоемкости технологических процессов в ультразвуковых полях. /Тезисы НТК «Энергосбережение и ресурсосбережение». – Гродно, 1997. – с.122.
2. Воронова Н.П., Березовский Н.И. Об одном аспекте аналитического решения задач тепломассопереноса //Литье и металлургия. – 1998, № 3. – с.41-45.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ПРИБОРЫ ОТПУГИВАНИЯ ГРЫЗУНОВ

В.П.Иванов, А.М.Цуккерман

ЦНИИ Морфизприбор, г.Санкт-Петербург

Крупные города, каким является Санкт-Петербург, представляют собой очень сложную экологическую систему, где наряду с человеком обитает множество других живых организмов, в т.ч. грызунов, жизнь которых тесно связана со средой.

Наряду с традиционными методами необходимы «безъядовы» методы борьбы. Одним из которых и является предлагаемый метод ультразвукового отпугивания грызунов, реализованный в ряд модифицированных приборов под названием «СОГ».

Для достижения длительного отпугивающего эффекта необходимо применение сложного ультразвукового сигнала, основными характеристиками которого являются: прерывистость, наличие модуляций, короткие импульсы, похожие на щелчки разной длительности. Все эти усложнения связаны с необходимостью избежать адаптации крыс к сигналу. Нами совместно с представителями станции профилактических дезинфекций был проведен ряд опытных работ по определению влияния акустических сигналов с различными параметрами на поведение серых крыс.

Было установлено, что наиболее эффективное воздействие на пищевое поведение и стерилизацию крыс оказывают прерывистые, частотно-модулированные сигналы в диапазоне от 10 до 25 кГц.

Натурные испытания показали, что разработанное устройство СОГ-2, бесспорно, является эффективным средством борьбы с крысами. Буквально через день-два после установки прибора крысы уходили, и их следов обнаружено не было.

Основной концепции данного метода является не борьба с каждой отдельной особью, а перенос упора на борьбу с совокупностью крыс на данном объекте, т.е. крысы уходят с объекта, где находятся продукты питания. Уходят все и сразу. Продукты остаются экологически чистыми. Под воздействием ультразвука большой процент из крыс уже бесплодны, что значительно сократит поголовье. Кроме того, ультразвук и микробы убивает.

При комплексном подходе и совокупностью с химическими методами на открытых территориях (свалках, мусоросборниках) можно добиться хорошего эффекта, обеспечить безопасность людей и соблюдение экологии большого города.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

Л.М.Кожуро, В.И.Гальго, В.И.Ефремов, Д.Н.Хилько
Белорусский государственный аграрный технический университет

Эксплуатационные свойства покрытий, полученных электромагнитной наплавкой (ЭМН), а также производительность процесса зависят от качества и состава рабочей жидкости.

В качестве рабочей жидкости для электромагнитной наплавки применяются водные растворы электролитов и эмульсии. Приготовление эмульсии – сложный и ответственный процесс, определяющий ее долговечность и технологическую эффективность в процессе наплавки. Технология приготовления рабочей жидкости для ЭМН включает водоподготовку и диспергирование компонентов. Водоподготовка в общем случае предусматривает деионизацию, дегазацию и обеззараживание технической воды. Для приготовления рабочей жидкости в основном используются специальные емкости, снабженные механическим перемешивающим устройством. Однако степень диспергирования компонентов в этих устройствах не всегда удовлетворяет требованиям технологического процесса. Для повышения качества рабочей жидкости в проведенных исследованиях использовали акустический способ диспергирования при прохождении через жидкость упругих механических колебаний. Источником акустических колебаний служил магнитострикционный преобразователь ПМС-6М, преобразующий электрические колебания, вырабатываемые генератором УЗГ-2,5. В состав рабочей жидкости входили вода, масло индустриальное ИС-12, кальцинированная сода и едкий натрий. После введения в воду требуемого количества компонентов на жидкость в течение 20 минут накладывали ультразвуковые колебания частотой 19 кГц. Приготовленную рабочую жидкость использовали в технологическом процессе восстановления деталей из стали 45 порошком Fe-V.

В результате исследований установлено, что применение акустического метода диспергирования позволяет в 2 раза сократить время приготовления рабочей жидкости и повысить ее качество. Кроме того ЭМН с использованием вышеописанной рабочей жидкости обеспечивает получение покрытий за один проход толщиной до 1 мм на диаметр и твердостью 60...62 HRC.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ АКТИВАЦИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СБОРОК

В.Л.Ланин

Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники, г.Минск

Современные процессы пайки в электронике и приборостроении активируют концентрированными потоками энергии: ультразвуковой, высокочастотной, инфракрасной, лазерной и др., обеспечивающими локальное и в основном бесконтактное воздействие источника нагрева на паяемые детали, ускорение процессов физико-химического взаимодействия, что создает новые возможности соединения разнородных по химическому составу и свойствам материалов.

Активация пайки энергией ультразвуковых (УЗ) колебаний частотой 18-70 кГц и интенсивностью $(0,1-0,5) \text{ МВт/м}^2$ позволяет за счет явлений кавитации, микропотоков соединять такие труднопаяемые материалы, как керамику, стекло, ферриты, полупроводники и экономить при этом драгоценные металлы: серебро, золото, палладий, платину. Подготовка выводов электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и деталей к монтажу включает одну из наиболее трудных операций – лужение выводов. Проблемы, возникающие при этом, связаны: во – первых, с низкой активностью спиртоканифольных флюсов и ухудшением паяемости покрытий; во-вторых, с нежелательным использованием активных флюсов ввиду трудностей удаления его остатков. УЗ лужение выводов компонентов: резисторов, конденсаторов, интегральных схем, коммутационных элементов восстанавливает их паяемость, утраченную после длительного хранения, позволяет отказаться от применения активированных флюсов и операции их очистки.

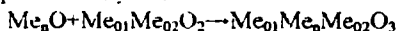
Для УЗ активации возможно использование различных видов механических колебаний, вводимых с помощью излучателей в жидкую фазу и являющихся по своей природе упругими волнами: продольных, сдвиговых, крутильных, комбинированных.

При использовании продольных колебаний, распространяемых параллельно обрабатываемой поверхности, их энергия тратится на кавитационные явления вблизи зоны взаимодействия, улучшая процесс смачивания материала припоем. Кавитационное давление в припое возрастает в среднем на 25%, увеличивая прочность сцепления припоя с ней не менее чем в 1,5 раза /1/.

Ультразвуковая металлизация расплавами припоев керамических и стеклокерамических материалов, обеспечивая высокую прочность спаев с указанными материалами, создает условия для замены драгоценных металлов. Однако недостаток сведений о физической и химической сущности происходящих при этом процессов затрудняет оптимизацию параметров процессов и их практическое использование.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что физико-химическая модель формирования спаев со стеклокерамическими материалами при УЗ металлизации включает следующие процессы [2]:

- генерацию в зоне обработки мощных силовых импульсов давления (до 10^7 Па) за счет захлопывания кавитационных полостей в расплаве припоя;
- разрушение мономолекулярных газовых пленок на поверхности материала и обеспечение непосредственного контакта расплава с поверхностью на атомарном уровне;
- смачивание поверхности расплавом при воздействии интенсивных кавитационных процессов в припое, когда величина кавитационного давления в припое превышает 1,5 кПа;
- возникновение локальных тепловых микрополей с температурой до 1300°C и инициирование химического взаимодействия компонентов припоя со стеклокерамикой;
- протекание окислительных реакций между двойными оксидами аморфной фазы стеклокерамики, отличающимися меньшей устойчивостью, и оксидами диффузионно-подвижного компонента расплава припоя следующего типа:



- ускорение физико-химического взаимодействия на границе расплав-поверхность за счет акустических микро- и макропотоков в расплаве, обеспечивающих массоперенос микрообъемов припоя к поверхности.

Модель имеет термохимический характер, активирующим фактором являются УЗ колебания, воздействие которых на расплав позволяет резко интенсифицировать процессы смачивания стеклокерамического материала, а за счет вторичных эффектов инициировать процессы химического взаимодействия между компонентами припоя и аморфной фазой стеклокерамики.

Процессы УЗ металлизации используются при изготовлении стеклокерамических конденсаторов с электродами из алюминиевой фольги, что позволяет экономить при этом драгоценный металл – серебро /3/.

Пропускание тока через зону взаимодействия при металлизации труднопаяемых металлов повышает прочность сцепления с основой в 1,5-1,8 раза за счет усиления диффузионного взаимодействия соединяемых материалов вследствие перемещения диффузионно-подвижного элемента в соединении. Ширина диффузионной зоны в этом случае увеличивается до 2 раз /4/.

Использование ультразвука при лужении выводов ЭРЭ позволяет избежать применение флюсов, устранить операцию отмычки его остатков, однако создает определенные трудности. Ультразвуковые ванны лужения типа УЗВЛ-0,4 имеют такие недостатки, как неравномерность интенсивности УЗ колебаний по объему припоя в ванне, малую поверхность зеркала припоя, повышенное шлакообразование припоя, отсутствие температурной стабилизации расплава.

Для повышения качества ультразвукового лужения выводов ИМС и уменьшения безвозвратных потерь припоя рационально использовать различные способы введения ультразвуковых колебаний в локальный объем припоя, реализуемые с помощью излучателей, встраиваемых в ванны с припоем. Одновременно с этим происходит концентрация ультразвуковой энергии в зоне погружения /5/.

В качестве излучателей используют концентраторы различного типа и акустические развязки с ванной лужения.

Для локального ввода колебаний использовался поршневый излучатель, удовлетворяющий соотношению: $L_{\text{изл}}/D=1,5-1,8$ где $L_{\text{изл}}$ – длина излучающей поверхности, D – диаметр волновода, что обеспечивает режим излучения плоской волны. Излучатель представлял собой пластину в форме скругленного сверху прямоугольника, жестко связанного с торцом конического волновода. Толщина излучателя выбиралась из соотношения $h/1=0,1-0,15$, где 1 – длина ультразвуковой волны, что позволяет рассматривать излучатель как сосредоточенную массу /6/.

Поскольку по краям излучателя, а также в центре места присоединения концентратора амплитуда ультразвуковых колебаний выше, чем в остальных точках, то это приводит к неравномерности кавитационных процессов в приповерхностном слое припоя, и как следствие – ведет к неравномерности лужения выводов радиоэлементов и

деталей электронной техники. Для устранения этого осуществлена девиация частоты с помощью блока управления частотой ультразвукового генератора. При этом происходит частичное уменьшение амплитуды в точках максимума (порядка 3-5 мкм) и значительное увеличение амплитуды (порядка 10 мкм) в точках минимума. Как следствие, происходит выравнивание распределения амплитуды ультразвуковых вибраций по поверхности излучателя.

Для повышения качества лужения изделий за счет равномерного распределения амплитуды ультразвуковых колебаний в рабочей зоне лужения, соответствующей размерам облуживаемого изделия, устройство УЗ лужения снабжено излучающей пластиной, жестко закрепленной одним концом на волноводе в месте пучности ультразвуковых колебаний и погруженной в ванну с расплавленным припоем на глубину, равную длине облуживаемых выводов изделия и имеющей длину, не превышающую $\lambda/8$, где λ -длина ультразвуковой волны в материале пластины [7].

Пластина излучает колебания в расплавленный припой, создавая локальную зону лужения на глубине, равной длине облуживаемых выводов изделий. Для равномерности распределения амплитуд колебаний пластина имеет длину, не превышающую $\lambda/8$.

Устройства локального УЗ лужения отличаются малыми габаритами и потребляемой мощностью, обеспечивают равномерность интенсивности УЗ воздействия в зоне лужения, что позволяет встраивать их в автоматы лужения и повышать качество процесса.

Перспективы научных исследований и практических разработок в этой области связаны с использованием комбинированных способов активации, например, сочетания УЗ с газовой, токовой, инфракрасной активацией, что позволит обеспечить высокую прецизионность и регулируемость концентрируемых потоков энергии при создании электрических и механических соединений в условиях дефицита материалов и энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланин В.Л., Бондарик В.М. Ультразвуковая металлизация композиционных материалов. /Материалы, технологии, инструменты. Т.3, №2, 1998, с.47.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПАЙКИ

В.М.Бондарик, В.Л.Ланин

Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники, г.Минск

Активация энергией, ультразвуковых (УЗ) колебаний - один из эффективных процессов пайки, поскольку механические упругие колебания частотой 18-70 кГц и интенсивностью 0,1-1 МВт/м² резко интенсифицируют большинство физико-химических процессов: смачивание, растекание, капиллярное течение припоя, диффузию припоя в паяемые материалы [1].

Появление новой элементарной базы предъявляет дополнительные требования к качеству паяных соединений, которым традиционная ультразвуковая пайка не удовлетворяет. Для дополнительной активации ультразвуковой пайки применяют лазерное, инфракрасное и высокочастотное излучение, импульсы электрического тока, газовую активацию и другие.

Исследовалась комбинированная ультразвуковая пайка с дополнительной активацией процесса пропусканием электрического тока через зону взаимодействия.

Влияние комбинированной активации процесса пайки с применением УЗ колебаний и электрического тока сводится главным образом к следующим двум эффектам: тепловому воздействию в результате поглощения энергии электрического тока и УЗ энергии, участвующих в образовании паяного соединения и ускорению процессов диффузии.

Если на диффундирующие частицы действует внешняя сила F , то под ее влиянием частицы вещества будут двигаться со средней скоростью:

$$v = B \cdot F, \quad (1)$$

где B - подвижность частиц.

В этих условиях к потоку диффузии добавится поток частиц, движущихся под действием силы F , и тогда полный поток будет равен [2]

$$J = -D' \frac{\partial C}{\partial x} \pm v \cdot C, \quad (2)$$

где C - концентрация вещества, D' - коэффициент диффузии с учетом воздействия УЗ энергии на расплав [3]:

$$D' = D_0 \cdot e^{\frac{E - \Delta E}{k \cdot T}}, \quad (3)$$

где D_0 - предэкспоненциальный множитель, E - энергия активации диффузии, ΔE - изменение энергии активации диффузии за счет действия УЗ энергии, k - универсальная газовая постоянная, T - температура в зоне взаимодействия.

При воздействии на зону взаимодействия УЗ энергии мощность, выделяемая в зоне взаимодействия, равна

$$p = 2\pi \rho \cdot f \cdot A \cdot c, \quad (4)$$

где ρ - плотность материала, c - скорость звука в материале, f и A - частота и амплитуда УЗ колебаний соответственно.

Подставляя выражения (1) и (4) в (2), получим:

$$J = -D' \cdot \frac{\delta C}{\delta x} \pm \frac{2 \cdot \pi \cdot B \cdot \rho \cdot f \cdot A \cdot c}{S} \cdot C. \quad (5)$$

Обусловленный электропереносом суммарный поток ионов реакционно-активного компонента равен [4]

$$J_{\text{эл}} = B_i \cdot p \cdot \frac{I_a}{\tau} \cdot C, \quad (6)$$

где I_a - амплитуда импульсов тока, p - удельное электрическое сопротивление компонента, B_i - подвижность иона, τ - скважность импульсов тока, C - концентрация ионов реакционно-активного компонента в расплаве.

Суммарный поток частиц под действием УЗ энергии и электропереноса:

$$J = -D' \cdot \frac{\delta C}{\delta x} \pm B_i \cdot p \cdot \frac{I_a}{\tau} \cdot C \pm \frac{2 \cdot \pi \cdot B \cdot \rho \cdot f \cdot A \cdot c}{S} \cdot C. \quad (7)$$

С учетом теплового эффекта при воздействии энергии активации на систему припой - паяемая деталь суммарный поток частиц равен

$$J = -D_0 \cdot e^{-\frac{E - \Delta E}{R \cdot T}} \cdot C \cdot T \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x - (h/2)}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t}} \right) \right] \pm B_i \cdot p \cdot \frac{I_a}{\tau} \cdot C \pm \frac{2 \cdot \pi \cdot B \cdot \rho \cdot f \cdot A \cdot c}{S} \cdot C \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что применение УЗ энергии, ведущее к росту коэффициента диффузии, и токовой активации ведет к росту суммарного потока ионов реакционно-активных компонентов в зоне взаимодействия, а следовательно, и к увеличению скорости и глубины диффузии.

Стимулирование процессов диффузии реакционно-активных компонентов в паяном соединении приводит к увеличению переходной зоны на границе припой - паяемая деталь и к образованию химических соединений между компонентами припоя и материалом паяемой детали, что увеличивает механическую прочность спая, повышает качество паяных соединений и эксплуатационную надежность изделий.

Экспериментальная установка включала генератор ультразвуковых колебаний, акустическую систему, нагревательное устройство, электронный

частотомер и вольтметр для контроля частоты и амплитуды на выходе генератора, измеритель вибраций [5].

Для практического исследования влияния комбинированной активации процесса пайки с применением УЗ колебаний и электрического тока на ширину диффузионной зоны через зону взаимодействия пропускали электрический ток в различных направлениях. Источником электрического тока являлся выпрямитель ВСА-5К с максимальной силой тока 20 А. Величина постоянного тока, пропускаемого через расплав, регулировалась в пределах 0-20 А и контролировалась прибором М2020, включенным в электрическую цепь с дополнительным шунтом.

Зоны взаимодействия припой - алюминиевый образец исследовались на растровом электронном микроскопе Stereoscan -360 (Cambridge Instruments, Англия), локальный рентгеноспектральный анализ элементного состава - на энергетическом спектрометре AN10000 (Link, Англия).

Пропускание тока через зону взаимодействия при пайке в направлении из припоя в материал основания увеличивает ширину переходной зоны до 8 мкм за счет роста диффузионного взаимодействия соединяемых материалов из-за электромиграции алюминия в припой (рис.1,а). Ширина диффузионной зоны в случае стимуляции процесса пайки УЗ колебаниями без токовой активации (рис.1,б) составляла около 1,5 мкм. При пропускании тока через зону металлизации в обратном направлении

ширина диффузионной зоны составляет 2 мкм, то есть практически не увеличивается (рис.1,в), так как олово и свинец, составляющие припой, не обладают такой электроподвижностью, как атомы алюминия.

Одновременная активация системы припой - паяемая деталь УЗ колебаниями и пропусканием электрического тока ускоряет диффузионное взаимодействие паяемых материалов за счет процесса взаимной электродиффузии материалов припоя и паяемого образца.

Комбинированная активация процесса пайки УЗ колебаниями и мощными импульсами тока также резко увеличивает тепловую энергию системы, что позволяет ускорить достижение температуры пайки, увеличить смачиваемость припоем поверхности детали и повысить тем самым производительность процесса пайки металлов и их сплавов.

Таким образом, установлено, что применение комбинированной активации процесса пайки УЗ колебаниями и пропусканием электрического тока через зону взаимодействия предпочтительнее с точки зрения повышения производительности и обеспечения высокой стабильности процессов.

Для обеспечения необходимого качества паяных соединений в современной электронной аппаратуре необходимо применение комбинированных методов активации процесса пайки, которые

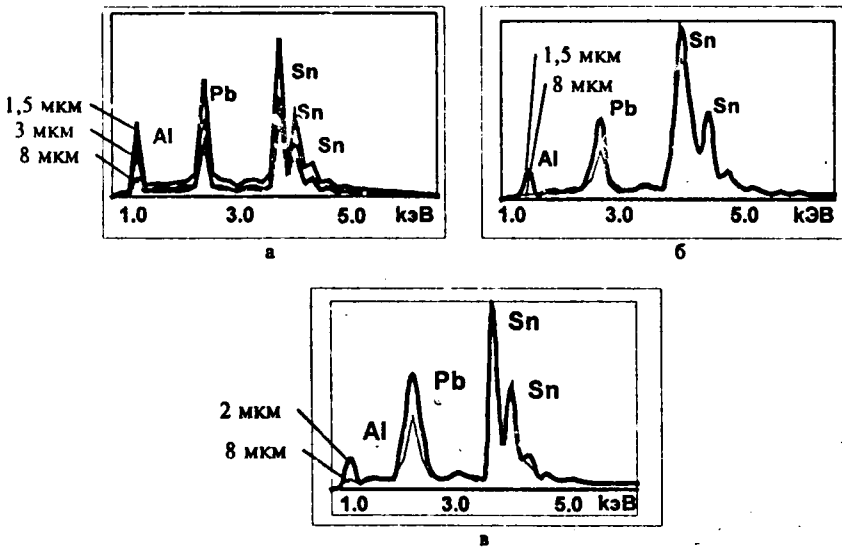


Рис. 1 Результаты локального рентгеноспектрального анализа образцов:
 а - с прямой токовой активации, б - без токовой активации,
 в - с обратной токовой активации

обеспечивают высокую прецизионность и регулируемость потоков энергии и позволяют получать высокое качество монтажности соединений при экономном использовании материалов, энергии и высокой экологической чистоте процессов сборки электронной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланин В.Л., Хмыль А.А. Современные процессы пайки в производстве радиоэлектронной аппаратуры. - Мн.:БелНИИНТИ, 1988. - 60 с.
2. Колешко В.М. Ультразвуковая микросварка. - Мн.: Наука и техника, 1977. - 328 с.
3. Шилиев А.С. Ультразвуковая обработка расплавов при производстве и восстановлении деталей машин. - Мн.: Наука и техника, 1992. - 176 с.
4. Прохоренко П.П., Путаев С.И., Семенова Н.Г. Ультразвуковая металлизация металлов. - Мн.: Наука и техника, 1987. - 270 с.
5. Бондарик В.М., Ланин В.Л. Комбинированная активация металлизации алюминиевых выводов ИЭТ. //Известия Белорусской инженерной академии. - 1998.-N2(6)/2.-С.9-12.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЧИСТКА ИЗДЕЛИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО И МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С.Е.Губарь, В.П.Прокопович, И.И.Саленик
СКТБ с ОП БГУИР, г.Минск

Очистка поверхности разнообразных металлических, стеклянных, пластмассовых изделий, отдельных деталей или механизмов представляет собой совокупность ряда сложных физико-химических процессов. Решающее значение при этом имеют конструктивные параметры ультразвукового оборудования. Качество очистки поверхности изделий также очень сильно зависит от режимов технологической обработки, выбора растворителя, моющих средств.

К решению комплекса перечисленных проблем мы подошли, прежде всего, со стороны создания подходящего ультразвукового оборудования.

С этой целью нами совместно с научно-производственным предприятием «Астрон» была разработана, а ныне серийно выпускается, установка ультразвуковой очистки УУЗО-1 ТУ ГБ 14496223.001-94.

Установка состоит из устройства управления и промывочного блока. Промывочный блок соединен с устройством управления кабелями. Устройство управления включает в себя два блока, помещенных в общий корпус: блока управления (БУ) и блока ультразвукового генератора (БУЗГ). На лицевой панели БУЗГ размещены: тумблеры, кнопки, световые индикаторы и таймер управления режимами работы установки. На задней панели расположены соединители для подключения сети 220 В 50 Гц, ТЭНа, термодатчика и пьезокерамических преобразователей промывочного блока. Частота выходного напряжения — 44 кГц.

Промывочный блок состоит из ванны емкостью 10-28 л, помещенной в корпус, оббитый обивками. Ванна оснащена сливной трубой с вентилем. В ванне установлен ТЭН и датчик температуры.

Ванна изготовлена из нержавеющей стали. В нижней части ванны установлены пьезокерамические преобразователи. Для обеспечения безопасности обслуживания предусмотрено заземление промывочного блока и электрическая блокировка крышки ванны.

Физической основой для ультразвуковых методов очистки поверхностей является сложный по своей физической природе эффект — акустическая кавитация, возникающая при возбуждении в жидкости интенсивных ультразвуковых колебаний [1,2]. Под действием ультразвуковых колебаний в жидкости создаются участки очень высоких

давлений. Центрами кавитации являются постоянно присутствующие в жидкости растворенные газы и частицы, вокруг которых образуются пузырьки. Давление в жидкости увеличивается и уменьшается по мере прохождения ультразвуковых волн. Когда пузырьки лопаются, давление в них может достигать очень больших величин. В момент исчезновения пузырьков наблюдаются очень мощные гидравлические удары. Одновременно в жидкости возникают гидродинамические потоки, увлекающие за собой имеющиеся в ней газовые пузырьки. Кавитационный процесс идет во всем объеме ванны с образованием в отдельно взятом микрообъеме огромного количества возникающих и исчезающих пузырьков, а во всем объеме происходит образование и движение гидродинамических потоков жидкости.

Потоки жидкости, несущие кавитационные пузырьки, сталкиваются с поверхностью твердого тела, пузырьки лопаются, разрушают пленку загрязнителя и срывают частицы загрязнений. Одновременно происходит ряд акустохимических реакций, зависящих от химической природы растворителя и моющего средства, степени диспергирования моющего средства и загрязнителей [3,4].

Большую роль при ультразвуковой чистке имеет выбор растворителя. Применение перхлорированных и углеводородных растворителей позволяет быстро удалять жировые загрязнители и мелкие твердые частицы.

Вместе с тем, водные растворы моющих средств более безопасны в работе и достаточно эффективны. Для очистки поверхностей наиболее пригодны растворы стандартных моющих средств концентрацией около 15 г/л. Повышение концентрации моющих средств не приводит к улучшению качества отмывки.

На эффективность ультразвуковой очистки поверхностей достаточно сильно влияет температура моющей среды. Для органической моющей среды наиболее приемлемы температуры в пределах 35-45°C. Для водных сред наиболее благоприятные температуры отмывки находятся в пределах 40-75°C. Отмывка изделий медицинского назначения проводилась при температурах 40-45°C, изделий технического назначения – при 45-75°C.

Выбор температурного режима обработки поверхности обусловлен физико-химической природой материала изделия, растворителя загрязнителя и моющего средства.

Повышение температуры моющей среды выше рекомендуемых в ряде случаев приводило к увеличению времени очистки изделий за счет ухудшения кавитации рабочих жидкостей. Увеличение температуры ведет

к повышению давления паров жидкости, в результате чего уменьшается интенсивность ударной волны, образующейся при захлопывании кавитационных пузырьков. Вместе с тем с повышением температуры рабочих моющих жидкостей уменьшается вязкость жировых пленок, пленок загрязнителей, повышается растворимость загрязнений, следовательно, облегчается их удаление.

Поэтому, для сохранения эффективности кавитационного разрушения загрязнителей и поддержания достаточно высокой химической активности рабочей моющей среды желательно выбирать средние температурные режимы.

Встроенный нагреватель установки УУЗО-1 позволяет выбирать любые температурные режимы.

На установке УУЗО-1 нами разработаны технологии очистки изделий машиностроения от жировых загрязнителей, абразива и полировальных паст, мелкой стружки.

Хорошее применение нашли наши технологии для очистки авиационных пятимикронных топливных фильтров, топливной аппаратуры карбюраторных и дизельных двигателей, деталей поршневой группы двигателей внутреннего сгорания.

Разработаны технологии очистки деталей и узлов изделий точной механики, оптики, электроники [5].

Установка УУЗО-1 прошла испытания в Республиканском лабораторно-диагностическом центре и нашла применение для очистки различной медицинской посуды, хирургических инструментов, принадлежностей для зубоврачебной практики.

В заключение заметим, что очистка изделий для ряда производств требует до 10% времени и затрат от общего времени на их изготовление. Поэтому внедрение ультразвуковых технологий очистки является технически и экономически обоснованным

Литература

1. Розенберг Л.Д. Применение ультразвука.-М., 1957, - 105 с.
2. Пирсол И. Кавагашия /Пер. с англ.-М.:Мир, 1975, - 95 с.
3. Применение ультразвука в промышленности (Болгаро-Советское изд.) /Под ред. д-ра техн. наук, проф. Маркова А.И. -М.: Машиностроение, 1975, - 240 с.
4. Миллер Э., Хилл К., Бэмбер-Дж. и др.
Применение ультразвука в медицине: Физические основы /Пер. с англ.
-М.: Мир, 1989, - 567 с.
5. Ливенцева И.Ф., Прилуцкий В.С., Радченко Л.А.
Методы химической очистки деталей ЭВП и ее интенсификация ультразвуковыми колебаниями. Обзоры по электронной технике.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

С.П.Кундас, М.Д.Тявловский, В.А.Колторич, Л.В.Фастовец, А.В.Костюк
Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники, г.Минск

Проблема повышения надежности и долговечности изделий электронной техники и приборостроения решается в настоящее время путем создания новых высокоэффективных технологических процессов, характеризующихся высокой производительностью, низкой энергоемкостью, безотходностью, экологической чистотой, обеспечивающих высокое качество изготавливаемых изделий. Эта задача особенно актуальна для процессов формирования конструктивных элементов электронных приборов из тугоплавких материалов, которые наряду с комплексом требуемых эксплуатационных свойств, характеризующихся низкой технологичностью при их обработке традиционными способами и высокой стоимостью. Одним из путей решения этой проблемы является применение интенсифицирующих воздействий и, в частности, методов ультразвуковой обработки, которые позволяют создать термодинамические воздействия, обеспечивающие формирование необходимых физико-механических и технологических свойств изготавливаемых изделий.

Исходя из особенностей механических свойств и структуры тугоплавких металлов и сплавов, предложен новый метод их обработки - горячее ультразвуковое микропластическое деформирование в условиях вакуума (УМД), при котором обеспечивается высокое качество изготавливаемых изделий за счет снижения их хрупкости, склонности к образованию трещин, повышения качества обработанных поверхностей и точности в процессе обработки. Установлен физический механизм формирования структуры и свойств изготавливаемых изделий, который определяется динамикой протекания рекристаллизационных процессов, созданием условий для формирования разориентированной ячеистой структуры, особенностями формоизменения металла, его напряженно-деформированным состоянием, условиями трения и адгезионного взаимодействия.

Ускорение и повышение эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в этом направлении может быть достигнуто применением методов математического и компьютерного моделирования технологических процессов, позволяющих осуществлять всестороннее их

исследования при минимальных затратах времени и материальных средств, и на их основе проводить совершенствование существующих и разработку новых высокоэффективных технологических процессов и оборудования.

Установлены общие закономерности, предложена концепция и схема комплексного сквозного моделирования методов формирования конструктивных элементов электронных приборов, основанных на применении ультразвука. Концепция базируется на использовании принципов сквозной передачи данных, общей базы данных свойств веществ, участвующих в исследуемых процессах, конвейерных методов их обработки, учете температурной зависимости свойств материалов. Исходя из предложенной концепции, разработаны взаимосвязанные математические модели всех стадий процессов УМД.

Для математического описания нагрева металла перед деформированием и теплопередачи в системе металл-инструмент разработана модель, базирующаяся на применении теории метода конечных элементов, которая описывает динамику изменения температуры деформируемого металла в процессе его нагрева инфракрасным излучением и прямым пропусканием тока, а также при взаимодействии с обрабатывающими инструментами.

Температурное поле в рассматриваемой задаче описывается уравнением теплопроводности, являющимся частным случаем уравнения Навье-Стокса.

На основе анализа особенностей взаимодействия обрабатываемого металла с инструментами установлены и математически описаны возможные варианты работы ультразвуковой колебательной системы (синфазный, противофазный, с различными амплитудами, частотами, наличием сдвига фаз между колебаниями) и режимы формоизменения металла (установочный и рабочий). Показано, что наиболее оптимальным является деформирование металла при синфазных колебаниях ультразвуковых инструментов с минимизацией длительности установочного режима обработки, при котором на контактных поверхностях возникают высокие напряжения, что может приводить с учетом наличия трения скольжения к интенсивному абразивному износу деформирующих поверхностей инструментов.

Для анализа кинематики и динамики процесса УМД разработана модель, учитывающая упругие свойства очага деформации и распространение продольной упругой волны в обрабатываемой заготовке. Такой подход позволил выделить два основных режима взаимодействия металла с инструментами (с разрывом контакта – режим ультразвуковой

ковки и без разры. а контакта - режим ультразвукового волочения) и шесть различных фаз элементарного цикла УМД.

В результате анализа упругих характеристик процесса деформации установлено, что основной вклад в общую величину упругой деформации вносит упругая деформация инструментов. Она в свою очередь складывается из прогиба поверхностей и объемной деформации инструментов. Показано, что величина прогиба поверхностей определяется распределением контактных напряжений. Объемная деформация инструментов не зависит от закона распределения контактных напряжений по поверхности и определяется только силой давления заготовки, поэтому для ее расчета применена модель на основе объемной жесткости инструмента, величина которой определена экспериментально.

При разработке физической и математической модели процесса ультразвуковой наливки ленточных спиралей ЛБВ учтены особенности взаимодействия инструментов с заготовкой на вращающемся керне.

Математическая модель формоизменения металла при УМД разработана, исходя из особенностей осадки металла ультразвуковыми инструментами. Установлено, что для исследуемого процесса (в сравнении с традиционными методами ОМД) характерна более высокая вытяжка металла, что объясняется наличием растягивающих напряжений в процессе деформирования и более сложной формой деформирующей части инструментов. Соотношение между деформациями уширения и вытяжки ленты, в первую очередь, определяется соотношением длины и ширины контактной площадки инструментов. Исходя из гипотезы равенства абсолютных приращений длины и ширины заготовки в элементарном акте осадки с учетом результатов экспериментальных исследований, получены аналитические выражения для расчета ширины ленты и размеров контактной площадки при ультразвуковом плоскостном волочении в виде круглой проволоки и прямоугольной ленты инструментами с произвольным углом захода и шириной калибрующей площадки.

Анализ разработанных математических моделей показал, что определяющий параметр процессов УМД - это соотношение амплитуды ультразвуковых колебаний и величины упругой деформации. Если размах колебаний оказывается меньше величины суммарной упругой деформации, то процесс УМД переходит из режима ультразвуковой ковки в режим волочения, что вызывает резкое увеличение силовых характеристик обработки и ухудшает качество изготавливаемых лент. Исходя из этого, видно, что наиболее важную роль при практической реализации процессов УМД играет величина амплитуды ультразвуковых колебаний и ее стабильность в процессе обработки. Поэтому в работе

проведен обстоятельный физический и математический анализ работы ультразвуковых колебательных систем, применяемых при УМД, в результате которого на основе метода гармонической линеаризации разработана обобщенная численная модель нагруженной колебательной системы и установлена связь между амплитудой колебаний в установившемся режиме, динамической жесткостью колебательной системы и внешним силовым воздействием.

Разработанная математическая модель позволяет осуществлять анализ и расчет резонансных характеристик колебательных систем произвольного сечения в зависимости от технологических параметров процесса УМД. По результатам проведенных исследований сформулированы рекомендации по проектированию конкретных стержневых колебательных систем, применяемых при УМД.

Разработанные математические модели обобщены алгоритмом комплексного сквозного моделирования процессов УМД тугоплавких металлов и сплавов, с применением которого возможно проведение в едином цикле компьютерных исследований нагрева деформируемого металла, кинематических и силовых параметров обработки, режимов работы ультразвуковой колебательной системы, геометрических характеристик изготавливаемых лент, их напряженно-деформированного состояния в процессе обработки, что позволяет осуществлять оптимизацию конструктивных решений и технологических параметров процессов изготовления конструктивных элементов электронных приборов с применением метода УМД (рис.1).

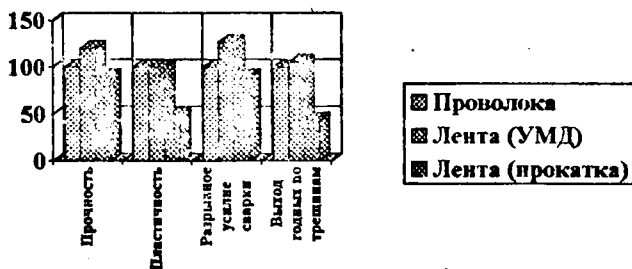


Рис. 1. Сравнительные характеристики лент для МГП, полученных по разработанной и традиционной технологии в процентном отношении к исходной проволоке

С использованием результатов проведенных исследований разработаны и внедрены в производство установка для изготовления лент средних типоразмеров из тугоплавких металлов и сплавов (ГУПВ-2) для сеток МПП, установки для изготовления микролент из вольфрама и других тугоплавких металлов для конструктивных элементов приборов СВЧ диапазона (ГУПВ-1, "Мустанг"), установка для ультразвуковой навивки ленточных спиралей из проволоки, применяемых в качестве замедляющих систем из ЛБВ и ЛОВ, установка для изготовления лент для старгетопных муфт телеграфных аппаратов (УУП-2), установка для изготовления лент для нагревательных элементов и антенных решеток (УП-7).

Применение разработанных технологических процессов и оборудования позволило в сравнении с промышленными технологиями в 2-3 раза повысить выход годной продукции, изготавливаемой из дорогостоящих и дефицитных тугоплавких металлов и повысить производительность процессов, улучшить условия труда и экологическую безопасность и решить для электронной промышленности проблему изготовления высокоточных изделий ленточного профиля из тугоплавких металлов и сплавов.

ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА МИКРООРГАНИЗМЫ

А.И.Ерошов

Белорусский государственный аграрный технический
университет, г.Минск

В работе приводятся результаты воздействия на микроорганизмы в жидкой среде электрической энергии разной характеристики.

В качестве тест микробов были использованы возбудители некоторых инфекционных заболеваний животных (пастереллеза, паратифа, рожистой инфекции, туберкулеза, болезни Ауески и др.).

Суспензии микроорганизмов разной концентрации (микробные клетки на 1 мл среды, м.кл./мл) обрабатывали на лабораторных установках ультразвуком (УТЗ), ультрафиолетовым излучением (УФ), переменным электрическим магнитным полем (ПЭМП), электроимпульсным разрядом (ЭИР) и комбинированными способами.

При обработке суспензии возбудителя пастереллеза в концентрации $1,0 \times 10^6$ м.кл./мл ПЭМП напряженностью 4,0 кВ/см при экспозиции 150 и 90 мин было инактивировано только 36,0 и 30% микроорганизмов соответственно (64,0 и 70,0% выживаемости).

При облучении суспензии сальмонеллы в концентрации 42,5 млн.м.кл./мл УФ в дозе 0,5 Вт/м² (длина волны – 254 нм) было инактивировано 100% микробов, а в концентрации 175,0 млн м.кл./мл – только 13% (0,0% и 87,0% выживаемости соответственно).

При обработке суспензии микробактерий туберкулеза в концентрации 110 млн.м.кл./мл в дозе 2000,0 кДж/л инактивировано 48,0% микроорганизмов (52,0% выживаемости).

При обработке суспензии пастереллы (штамп 656) в концентрации 0,26 млн.м.кл./мл ЭИР с расходом энергии 2168 кДж/л было инактивировано 100% микроорганизмов (0,0% выживаемость).

Из приведенных данных видно, что инаktivация микроорганизмов зависит от их концентрации в жидкой среде и количества расходуемой энергии.

Эффективным способом инаktivации микроорганизмов является обработка их в жидкой среде электроимпульсным разрядом (ЭИР)

Электроимпульсный разряд в жидкости сопровождается возникновением механических возмущений высокой интенсивности, импульсного давления в канале разряда и вызванных им упругих колебаний среды до 10^3 Гц, охватывая диапазон от инфразвука до ультразвука. В искровом канале температура достигает 10^4 °C и импульсное ультрафиолетовое излучение.

Таким образом, электроимпульсный разряд воздействует на микроорганизмы сочетанием нескольких физических факторов (ультразвук, давление, ультрафиолетовое излучение, температура).

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.С.Шилев

Белорусский государственный аграрный технический
университет, г.Минск

Анализ существующих технологических процессов, нерешенных проблем, возникающих в практике нефтегазодобычи, с одной стороны, с другой – многолетняя работа автора в области исследования физических процессов и явлений в многофазных системах в мощных ультразвуковых полях, дают основание сделать предложения в направлении совершенствования и разработке принципиально новой прогрессивной технологии нефтегазодобычи.

Ниже рассматривается физическая и технологическая сущность предлагаемых нами способов:

- способы предотвращения солеотложения и очистки нефти от солей;
- способ хранения газа;
- способ разделения реальной нефтегазоводяной смеси на нефть, газ и воду.

В практике нефтедобычи установлено, что при эксплуатации скважинных насосов, трубопроводов и другого технологического оборудования на отдельных поверхностях, находящихся в контакте с нефтью, происходит отложение солей. Особенно интенсивно процесс отложения происходит на элементах насоса.

Процесс отложения солей выводит насосы из строя. Этим самым наносится большой материальный ущерб народному хозяйству.

Суть способа предотвращения солеотложения и очистки нефти от солей состоит в том, что в нефтяную твердогазожидкостную систему подается дополнительно газ. Путем воздействия мощного ультразвукового поля газ в нефтяной системе диспергируют таким образом, что размеры газовых пузырьков соответствуют размерам зародышей кристаллизации. Происходит процесс принудительного зародышеобразования на газовых пузырьках. За счет радиационного давления, макро- и микропотоков, возникающих в ультразвуковом поле, газовые пузырьки равномерно распределяются в области, в которой необходимо интенсифицировать процесс кристаллизации, и таким образом способствуют объемной локальной кристаллизации. Кроме того, в ультразвуковом поле происходит диспергирование и активация твердых нерастворимых частиц.

Таким образом, за счет действия ультразвукового поля происходит интенсификация процесса объемной локальной кристаллизации на газовых

твердых частичках, образуется большое количество маленьких взвешенных в системе кристалликов.

В твердогазожидкостной системе кроме пузырьков, на которых происходит интенсификация процессов кристаллизации, присутствуют в большом количестве свободные газовые пузырьки более крупных размеров. Эти пузырьки, двигаясь с потоком системы, адсорбируют зародившиеся кристаллики и таким образом выполняют роль транспортных средств. Кроме того, для интенсификации процесса удаления возникших кристалликов путем ультразвукового диспергирования газа создаются дополнительные оптимальных размеров газовые пузырьки для транспортировки кристалликов. Пройдя насос, систему трубопроводов и т.д. твердогазожидкостная система сообщается с атмосферой. При этом за счет архимедовых сил пузырьки всплывают на поверхность. В поверхностном слое системы возможна концентрация кристалликов соли и их коагуляция. Превращаясь в более крупные агрегаты, они оседают на дно. В зависимости от условий задачи их можно удалять с поверхности или со дна.

Суть способа хранения газа состоит в том, что природный газ в нефтегазодобывающей и газовой промышленности подается в воду под избыточным гидростатическим давлением (например, 10-15 ат). Путем ультразвукового диспергатора он превращается в мельчайшие пузырьки. При этих условиях газ быстро растворяется в воде до насыщения, соответствующего гидростатическому давлению, под которым находится вода. Затем перенасыщенная газом вода закачивается в емкости, например, в подземные емкости, и в них хранится.

Процесс газонасыщения может быть непрерывным в потоке и дискретно в определенном стационарном объеме воды.

Для использования запаса газа из хранилища газожидкостную систему транспортируют в нужное место и производят дегазацию. Процесс дегазации осуществляется например, термическим, ультразвуковым или комбинированным термоультразвуковыми способами. Термический способ состоит в том, что газожидкостная система нагревается и при этом происходит обильное выделение газа из воды. Ультразвуковой способ дегазации состоит в том, что под действием ультразвукового поля происходит коалесценция газовых пузырьков и процесс односторонней диффузии растворенного газа в пузырек. Кроме того, за счет макропотоков и радиационного давления интенсифицируется процесс всплытия газовых пузырьков.

Термоультразвуковой способ состоит в одновременном действии на р-ва и ультразвукового поля.

Процесс разгазирования газожидкостной системы осуществляется непрерывно в потоке или дискретно в стационарном объеме.

Суть способа разделения реальной нефтегазовой смеси заключается в следующем.

Реальная нефть представляет собой нефтегазоводную систему. Капельки нефти образуют в воде стойкую эмульсию. Вследствие большой разницы в свободных энергиях на границе раздела между нефтью и водой, большого краевого угла, поверхность нефтяной капли не смачивается водой. Но к ней легко прилипает газовый пузырек. При благоприятных условиях газовый пузырек (при большом или равном давлении внутри пузырька атмосферному) всплывает на поверхность и транспортирует капельку нефти. Мелкие и микроскопические пузырьки газа могут находиться в системе весьма продолжительное время. Они не принимают участия в транспортировке капелек нефти, и этот газ может оставаться неиспользованным.

Процесс разделения нефти, газа и воды можно осуществить более эффективно и повысить качество разделения путем воздействия на систему мощного ультразвукового поля.

Суть предлагаемого способа состоит в том, что в нефтегазовую систему (и нефть) в скважине или вне ее под высоким статистическим давлением система пересыщается газом путем ультразвукового диспергирования газа в систему. Физика явления перенасыщения жидкости газом с помощью ультразвукового поля нами уже была рассмотрена в «Способе хранения газа». Перенасыщенная газом система подается в резервуары и некоторое время выдерживается под давлением выше атмосферного. Затем давление снижается до атмосферного, и растворенный газ весьма обильно выделяется в виде множества пузырьков.

Таким образом, такой подход к процессу разделения нефти и воды позволяет существенно увеличить количество транспортных средств (газовых пузырьков) для капелек нефти.

Кроме того, следует иметь в виду, что бездеятельные мелкие и микроскопические пузырьки газа в этом способе объединяются с более крупными пузырьками и всплывают на поверхность. Качество разделения повышается, а сам процесс интенсифицируется.

Процесс разделения нефти, газа и воды может быть осуществлен как в стационарных условиях, так и в непрерывном потоке.

Описанный способ разделения нефти, газа и воды можно еще интенсифицировать и сделать более качественным путем вторичного воздействия на систему ультразвукового поля.

Воздействие ультразвукового поля на газожидкостную систему в стационарном объеме или в непрерывном потоке интенсифицирует процессы диффузии растворенного газа в пузырьки, коалесценцию газовых пузырьков, а за счет акустических потоков и радиационного давления ускоряет всплытие газовых пузырьков с капельками нефти.

В настоящих предложениях мы остановились на принципиальных вопросах, касающихся возможности использования результатов, проведенных работ нефтегазодобывающей промышленности, а также в разработке принципиально новых технологических процессов нефтегазодобычи. Устройства, аппаратуру и оборудование для реализации технологических процессов мы не рассматривали. Хотя в этом плане есть уже готовые решения для осуществления технологических процессов. Однако, учитывая специфику производства, необходимо провести комплекс работ, связанных с возможностью этих решений к нефтегазодобывающей промышленности.

Нам представляется, что должная организация работ в области исследования возможности применения предложенных ультразвуковых способов интенсификации процессов в нефтегазодобывающей промышленности даст возможность существенно повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции.

ГИПОТЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О АКУСТИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗЕМЛИ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.С.Шилиев

Белорусский государственный аграрный технический
университет, г.Минск

В результате анализа современных представлений о строении Земли, физических и физико-химических процессах, происходящих внутри Земли, о постоянном и переменном потоках заряженных и незаряженных частиц высоких энергий, о постоянном и переменном магнитных полях Земли и в околоземном пространстве, о радиационных поясах Земли в околоземном пространстве автором впервые установлена связь между физическими явлениями в околоземном пространстве, активностью Солнца и процессами, происходящими в Земле.

Установленная связь позволяет объяснить неизвестную ранее акустическую природу вертикальных и горизонтальных колебаний Земли, тектонических и вулканических землетрясений.

Причиной вертикальных колебательных движений Земли, приводящих к формированию рельефа, наступлениям и отступлениям моря, разрыву, переносу и переотложению горных пород, а также горизонтальным перемещениям больших участков коры, являются физические и физико-химические процессы, происходящие в земной коре и в ядре Земли. В составе земной коры содержится значительный процент ферромагнитных составляющих. Ядро Земли состоит из железа и железо-никелевых сплавов. Основная масса ферромагнетиков в земной коре находится при температуре ниже точки Кюри. Очень возможно, что при тех физических условиях, при которых находится железо и железо-никелевые сплавы в ядре Земли, восприимчивы к намагничению.

Постоянное магнитное поле вокруг Земли, создаваемое постоянным потоком заряженных частиц в околоземном пространстве, намагничивает ферромагнетики внутри Земли. Намагниченные ферромагнетики плюс постоянное магнитное поле, образованное постоянным потоком заряженных частиц, создает постоянное магнитное поле Земли. Вокруг Земли кроме постоянного магнитного поля еще существует суперпозиция переменных магнитных полей. Таким образом, намагниченные ферромагнетики находятся в переменном магнитном поле. В этом случае при одном

направлении поля, вследствие явления магнитострикции, происходит увеличение линейных размеров ферромагнетиков. При изменении линейных размеров ферромагнетиков шар может превратиться в эллипсоид вращения, вытянутый по полярной оси. При противоположном направлении поля Земной шар сплющивается. По мере изменения магнитного поля по величине и по направлению возникают вертикальные колебательные движения и горизонтальные перемещения Земли.

Причиной тектонических и вулканических землетрясений являются физико-химические процессы, происходящие внутри Земли, порождаемые за счет акустических колебаний широкого спектра частот вплоть до ультразвуковых.

Акустические колебания возникают за счет магнитострикционного эффекта, имеющего место в ферромагнитных составляющих Земли и переменных магнитных полей.

Низкочастотные акустические колебания конечных амплитуд создают локальные деформации.

Высокочастотные акустические колебания конечных амплитуд ультразвукового диапазона за счет эффектов второго порядка, имеющих место в многофазных системах, приводят к необратимым физико-химическим процессам, оказывающим разрушительное действие на горные породы.

Особое место среди эффектов второго порядка при распространении ультразвука в многофазной твердогазожидкостной системе занимает явление кавитации. В каждом месте среды, куда приходит звуковая волна, периодически происходят сгущения и разрежения. При распространении колебаний в момент сжатия возникают большие давления. В следующий за сжатием момент разрежения из-за больших скоростей движения частиц в жидкости возникают разрывы. В образующиеся пустоты устремляются растворенные в жидкости под большим давлением газы. Когда вновь наступит сжатие, внутри жидкости развиваются колоссальные давления. Этот процесс и называется кавитацией. Кавитация порождает процесс перехода растворенных газов в свободное состояние. Этот процесс называется ультразвуковой дегазацией.

Звукосжиляющий эффект состоит в том, что под действием высокочастотных колебаний конечных амплитуд увеличивается скорость и высота подъема жидкости в капиллярных и капиллярно-пористых системах. В результате воздействия возникающих в толще Земли ультразвуковых колебаний на подземных жидкостных резервуарах (водные, металлические и неметаллические), находящиеся под высоким давлением, идет интенсивный процесс перехода растворенных газов в свободное состояние. Образуются колоссальные давления подземных газов. Давления подземных газов

достигают таких значений, что породы, образующие земную кору, не выдерживают, и происходит их разрушение. Так возникают тектонические и вулканические землетрясения. В образовавшиеся щели, каналы, пустоты за счет высоких давлений и звукокапиллярного эффекта устремится содержимое подземных резервуаров (вода, жидкий металл, лава, камни, газы, пепел и т.д.).

Автор считает, что изложенные в работе предположения требуют глубокого теоретического осмысливания, оценочных энергетических расчетов, воспроизведения опытов на моделях в лабораторных условиях и проведения систематических экспериментальных исследований по имитации физических и физико-химических процессов. Только комплексные теоретические и экспериментальные исследования могут дать исчерпывающий ответ о влиянии околоземного потока заряженных и незаряженных частиц, радиационных зон, деятельности Солнца на физические и физико-химические процессы и явления внутри Земли.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СЕГНЕТО-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКАХ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

В.М.Добрянский, В.А.Козик, И.Д.Кулик

Белорусский государственный аграрный технический университет,
г.Минск

В.А.Занкевич

Международная ассоциация разработчиков и пользователей
ультразвуковой техники и технологии, г.Минск

Скачкообразное изменение объема при фазовом переходе I-го рода в некоторых веществах сопровождается акустическим излучением. Электромеханический преобразователь, помещенный рядом с таким веществом, регистрирует данное излучение. Возникающий электросигнал на пьезоэлектрическом преобразователе фиксируется с помощью измерительных приборов.

Используя данный метод, исследовались фазовые переходы I-го рода, индуцированные давлением, в модельных сегнетоэлектриках группы триглицинсульфата (TGS). В качестве объектов исследования были выбраны кристаллы триглицинселената (TGSe) и твердые растворы $TGSe_{1-x}TGF_x$ (триглицинфторбериллат)-(TGF)). При 0,1 МПа кристаллы данной группы претерпевают фазовый переход: сегнетоэлектрическая фаза I-параэлектрическая фаза II 2-го рода типа порядок-беспорядок соответственно при температурах: TGSe-295,3K, TGS-322,8K, TGF-344,4K. Выбор объектов исследования обусловлен тем, что фазовые рТ-диаграммы (р-давление, Т-температура) данных кристаллов подробно исследовались ранее другими методами [1]. Исследования проводились на аппаратуре высокого давления с использованием в качестве среды, передающей давление: инертный газ до 0,9 ГПа, жидкость до 1,5 ГПа. Среда, передающая давление, обладали высокими диэлектрическими свойствами. Выбор различных сред обусловлен исключением побочных звуковых сигналов при создании давления. Измерения проводились в интервале температур 280 – 340 К.

Установлено наличие сигналов и их особенности при фазовых переходах: I-го рода сегнетоэлектрическая фаза I-фаза III, индуцированная давлением и II-III в исследуемых объектах.

Следует отметить, что при данных фазовых переходах происходит расщепление образцов. На линии фазового равновесия I-II кристалла TGSe при давлении $p > 0,6$ ГПа также появляются сигналы вплоть до

тройной точки: $T=322,6\text{K}$, $p=0,75\text{ГПа}$. Это указывает на изменение характера фазового перехода I-II. Для кристалла ТГСел значение $dT_c/dp=3,6 \times 10^{-4}\text{K/Па}$ для фазового перехода I-II и $dT_c/dp=3 \times 10^{-7}\text{K/Па}$ для фазового перехода I-III, где T_c – температура Кюри. Установлено, что в твердых растворах $\text{TГСел}_{1-x}\text{ТГФБ}_x$ с увеличением концентрации ТГФБ до $x=0,4$, давление фазового перехода I-III p_c при температуре 300 К возрастает линейно. Определены координаты тройной точки исследуемых твердых растворов.

Ультразвуковые методы широко используются для исследования упругих свойств твердотельных веществ под воздействием гидростатического давления. При этом пьезоэлектрические преобразователи обычно находятся в контакте с исследуемым веществом. В связи с этим важно знать границы их пьезоэлектрической активности по давлению. При изменении гидростатического давления на Δp происходит изменение заряда на Δq исследуемого образца сегнето-пьезоэлектрика. По значению $\Delta q/\Delta p$ можно оценить пьезоэлектрический модуль. В паразлектрической фазе при изменении гидростатического давления на Δp изменение $\Delta q=0$.

Измерения проводились на твердофазных аппаратах высокого давления типа «наковальня с лункой» до 5,0 ГПа при температуре 300К. В качестве объектов исследования выбрана пьезокерамика ЦТС. Образцы имели форму цилиндров диаметром 3 мм и высотой 2 мм, а на торцевые поверхности нанесены электроды. Для контроля проводились измерения диэлектрической проницаемости.

На основании полученных результатов определена граница пьезоэлектрической активности исследуемой пьезокерамики по давлению при 300К.

Таким образом, данные методы, несмотря на их преимущества, могут только дополнять другие методы исследования фазовых переходов веществ при высоких давлениях.

Литература

1. Занкевич В.А., Говор Г.А., Варикаш В.М., Хачатрян Ю.М. Исследование диэлектрических и электромеханических свойств кристаллов ТГСел и ТГФБ при высоких гидростатических давлениях. Изв. АН СССР, серия физич. Т.47 № 1, 1983, с.776-779.

АППАРАТУРА ДЛЯ СИНТЕЗА ВЕЩЕСТВ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

В.А. Зайкевич, М.Д. ПУТТ, г. Минск

А.Н. Дашкевич, ГТУ, г. Львов

В.А. Козик, И.Д. Кулик, БАТУ, г. Минск

Э.Б. Радичкин, Л.И. Раницкая, ИФ ГТТ АН РБ, г. Минск

Проблема увеличения объема синтезируемого материала под давлением, уменьшения режимов синтеза по температуре и давлению является актуальной в технологии высоких давлений. Она решается различными методами: усовершенствованием аппаратов высокого давления и прессового оборудования, высокими требованиями к качеству исходного сырья, введением модификаторов и т.д. Это относится не только к получению сверхтвердых материалов (алмаз, кубический нитрид бора), но и к получению высокоплотной керамики. Представляет интерес выяснения влияния ультразвука (диапазон частот 0,4-10 МГц) высокой интенсивности на процессы синтеза веществ при высоких давлениях.

При разработке аппаратуры использован принцип фокусировки ультразвуковых фронтов сферической формы. В [1] описана конструкция активного ультразвукового концентратора, имеющего на частотах 1,0-2,0 МГц в фокальной плоскости, интенсивность порядка 1,0 МВт/см².

Изготовлены макеты ультразвуковых концентраторов, по форме напоминающие матрицу твердофазного аппарата высокого давления (АВД) типа наковальня с лункой [2] и матрицу АВД типа «белт» [3]. Верхняя часть матриц изготовлена в форме полусферы, на которую в строгом порядке крепились пьезоэлектрические излучатели. Две матрицы располагались на одной оси вращения с расстоянием между ними равным толщине контейнера с синтезируемым веществом. Частоты пьезоэлектрических излучателей подбирались таким образом, чтобы в центре контейнера создать максимальную интенсивность ультразвука. Установлено: а) интенсивность ультразвука на макете, изготовленного в форме матрицы АВД типа «белт», выше, чем на макете, изготовленного в форме матрицы типа наковальня с лункой; б) на макете, запрессованном и поддержку из двух стальных колец (АВД типа наковальня с лункой) интенсивность в фокусе несколько ниже, чем без поддержки; в) на составном макете (нижняя часть вблизи контейнера представляет вставку из вольфрама-кобальтового сплава ВК-15) интенсивность ультразвука в фокусе, особенно на частотах выше 1,0 МГц резко падает, что связано с

поглощением ультразвука. При уменьшении толщины вставки из сплава ВК-15 интенсивность ультразвука возрастает, что позволило выбрать оптимальную толщину вставки. Рассмотрены возможности одновременного ввода ультразвука на частотах 700 кГц и 5,0 МГц с помощью составного пьезоэлектрического излучателя.

На основе полученных результатов разработан и изготовлен аппарат высокого давления типа наковальня с лункой. Центральная матрица (сталь Р6М5, термообработка HRC-60-63 ед.) представляла концентратор ультразвука и запрессовывалась в двухслойную обойму из стальных колец (сталь 35ХГСА, термообработка HRC-40-50 ед.). В нижнюю часть матрицы запрессовывалась вставка из ВК-15. Контейнер изготовлен из литографического камня, в центральном осевом отверстии которого расположен трубчатый графитовый нагреватель. Внутри нагревателя находится синтезируемое вещество в форме цилиндра диаметром 6 мм. Для исключения процессов диффузии графита синтезируемое вещество помещали в металлический экран. Калибровка аппарата высокого давления по давлению проводилась по фазовым переходам некоторых элементов (реперы давления) [4]. Аппарат высокого давления рассчитан на работу до 5,0 ГПа.

После испытания аппарата проводили спекание «черной керамики» на основе Al_2O_3 и TiN. Спекание проводилось при давлении 2,5 ГПа и температуре 2073K составов: Al_2O_3 , $(Al_2O_3)_{0,4}(TiN)_{0,6}$, $(Al_2O_3)_{0,6}(TiN)_{0,4}$, TiN в ультразвуковом поле. Значения плотности ρ , микровердosti H_μ исследуемых составов при данных параметрах спекания близки к значениям ρ , H_μ , полученным при давлении 5,2 ГПа и температуре 2173K без ультразвука [5].

Выводы: в исследуемой керамике ультразвук способствует снижению параметров горячего прессования по температуре, давлению и времени.

Литература

1. Ультразвук. - М. Советская энциклопедия, 1979.
2. Д.С. Циклис. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях. - М. Химия, 1976.
3. H. T. Hall Rev. Sci. Instrum. - 1960. - V31 - №2 - P 125-151.
4. Е. Ю. Тонков. Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении. - М. Наука, 1979 - 192 с.
5. В. М. Добрянский, В. А. Запкевич и др. Сб. Техника и технология высоких давлений. - Минск: Ураджай, 1990 - с. 337-344.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОВ ОТВЕРЖДЕНИЯ ВЕЩЕСТВ

Д.А.Костюк, Ю.А.Кузавко
Политехнический институт, г.Брест

В различных технологических процессах приготовления веществ и продуктов имеет место отверждение последних. При этом степень отверждения вещества однозначно говорит о качестве его приготовления. Здесь нами предлагается высокочувствительный метод ультразвуковой диагностики процессов отверждения веществ, заключающийся в измерении спектральных характеристик акустического импульсного сигнала, отраженного от границы твердого тела с исследуемым веществом при его отверждении. Примерами реальных технологических процессов при такой ультразвуковой диагностике могут быть сцепление асфальтового покрытия с дорожным грунтом, бетона с железной арматурой, брожение пищевых продуктов в различных емкостях и т.д., при этом рассматриваемые материалы являются сильно диссипативными средами (СДС), т.е. поглощение ультразвука в них весьма велико.

Прежде чем перейти к экспериментальным исследованиям, рассмотрим следующую теоретическую модель. Пусть из твердого тела (1) в исследуемый объект (2) нормально к плоской границе раздела этих сред $x=0$ распространяется импульсный акустический сигнал, имеющий на границе следующий вид:

$$u_1(x=0, t) = u_0 e^{-\frac{t-t_0}{T}} \sin 2\pi \frac{t}{T} \sin 2\pi \frac{t}{T} \left\{ \theta(t - \frac{\tau}{2}) - \theta(t + \frac{\tau}{2}) \right\}, \quad (1)$$

где u_0 — амплитуда сигнала, α характеризует огибающую импульса и однозначно $\alpha = \pi/Q$ связана с добротностью Q пьезоизлучателя, ω_0 — частота основной гармоники импульса, $\tau = nT$ — длительность импульса, $T = 2\pi/\omega_0$, n — количество периодов импульсов. Данный сигнал максимально близок к реальным акустическим импульсам, получаемым с помощью ультразвуковых пьезокерамических преобразователей (УЗП).

Если учитывать только затухание звука в СДС, то из решения волновых уравнений для упругих колебаний с учетом граничных условий для коэффициента отражения R_{ω} продольной акустической волны справедливо соотношение:

$$R_{\omega} = \frac{R_0[1 + (1 + x^2)^{1/2}] + \frac{T_0}{2}x^2 + i\frac{T_0}{2}x(1 + x^2)}{1 + (1 + x^2)^{1/2} + \frac{T_0}{2}x^2 + i\frac{T_0}{2}x(1 + x^2)}, \quad (2)$$

где $R_0 = (Z_2 - Z_1)/(Z_2 + Z_1)$ и $T_0 = 2Z_2/(Z_2 + Z_1)$ - соответственно коэффициенты отражения и прохождения звуковой волны (при $x \rightarrow 0$), $Z_1 = \rho_1 S_{10}$ и $Z_2 = \rho_2 S_{20}$ - акустические импедансы твердого тела и СДС, $x = \omega/\omega_c$, $\omega_c = \rho_2 S_{20}^2/b$, ρ_2 - плотность, b - параметр диссипативных потерь, S_{20} - скорость звука (при $\omega \rightarrow 0$). Таким образом, согласно (2), при отражении непрерывной акустической волны от СДС меняется ее амплитуда и фаза. В окрестности $\omega = \omega_c$ наблюдается минимум коэффициента отражения волны при дальнейшем возрастании фазы отраженного сигнала относительно падающего на границу сигнала.

Форма отраженного акустического импульса находится согласно выражению:

$$u^r(x, t) = F^{-1}\{F[R_{\omega} u^i(x, t)]\}, \quad (3)$$

где F и F^{-1} - соответственно прямое и обратное преобразование Фурье. Исходя из приведенной зависимости R_{ω} (2), для реального сигнала (1) с помощью компьютера рассчитывалась форма отраженного сигнала от границы раздела некоторых сред. Была найдена существенная зависимость амплитуды и фазы отраженного сигнала от частоты основной гармоники импульсного сигнала.

Для подтверждения теоретически предсказанного выше явления - зависимости коэффициента отражения от диссипации ультразвуковой энергии в отражающей среде - проводился следующий эксперимент. Ультразвуковой пьезокерамический преобразователь (УЗП) с резонансной частотой 3,5 МГц возбуждался импульсным генератором. УЗП излучал близкий к теоретически рассмотренной форме акустический импульс в структуру оргстекло-эпоксидная смола (ЭС). Излученные и отраженные с выхода УЗП сигналы регистрировались осциллографом с цифровой индикацией амплитудных и временных интервалов сигнала.

В процессе отверждения ЭС, приготовленной соответственно ГОСТ на 1 г ЭС 1,2 г отвердителя, наблюдалось уменьшение коэффициента отражения в 2,5 раза при изменении длительности сигнала с $\tau = 3$ мкс до $\tau = 2$ мкс. Поразительный результат получился при отверждении ЭС, приготовленной согласно объемному соотношению 1:2, когда коэффициент отражения уменьшился в 14 раз при изменении длительности в 2 раза.

Отметим, что показания коэффициента отражения ультразвука от ЭС менялись в течение трех и более суток, в то время как ЭС застывала за несколько часов. На наш взгляд, это говорит о продолжающихся в ЭС физико-химических превращениях на микроуровне. В эксперименте измерялся коэффициент отражения как временная функция при отвердении ЭС, в то время как частота ω_0 основной гармоники излученного сигнала оставалась неизменной. Очевидно, что вязкость СДС, как и затухание ультразвука в ней, достигали своего максимума в точке фазового перехода для ЭС.

Следует сделать вывод, что состояние отражающей СДС существенно влияет на коэффициент отражения и фазу как непрерывных, так и импульсных акустических сигналов. Так как фазовые измерения являются более точными по сравнению с амплитудными, то по ним мы можем судить о поглощении звука в СДС и проводить непосредственные измерения вязкости жидкостей. По таким измерениям при соответствующей доработке можно судить о готовности к употреблению того или иного технологического продукта. Так можно контролировать качество сцепления асфальта с грунтом, бетона с железной арматурой, соответствие нормам при изготовлении композиционных и иных материалов, а также степень готовности пищевых продуктов при их приготовлении.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД СЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ

Н. И. Бохан

Белорусский государственный аграрный технический университет

Эффективное использование сельскохозяйственной техники зависит не только от организации его эксплуатации, но и его технического состояния, которое находится в прямой зависимости от её технического обслуживания и ремонта. На специализированных ремонтных предприятиях в настоящее время используются прогрессивные технологические процессы упрочнения, восстановления деталей и агрегатов машин. Однако не все эти процессы обеспечены контрольно-измерительным оборудованием, приборами и средствами автоматизации. Это относится, в первую очередь, к процессу очистки и мойки как деталей, агрегатов, так и машин в целом. Известно, что до 40% общего количества дефектов приходится на необеспеченность контрольно-измерительных операций, отсутствие средств автоматизации и приборов.

К важному фактору повышения качества обслуживания и ремонта техники относится автоматизация процессов очистки и мойки машин и их составных частей, в частности автоматизация контроля и регулирования концентрации моющих растворов, поскольку первостепенное влияние на эффективность процесса очистки оказывают их состав. В настоящее время основной объём моющих операций выполняется с применением водных растворов синтетических моющих средств (СМС), состав которых характеризуется двумя основными показателями: концентрацией СМС (допустимая величина не менее 15 г/л) и концентрацией отмытых стабилизированных загрязнений (критическая их концентрация не должна превышать 7-9 г/л). В основном контроль концентрации СМС в растворах в настоящее время осуществляется путём химического анализа их проб. Причём, сами СМС содержат до восьми компонентов различной химической природы, в том числе щелочные и поверхностно-активные вещества. Химический анализ весьма трудоёмкий, требует дорогостоящих реактивов и, самое главное, его результаты из-за продолжительности анализа теряют оперативную информационную ценность.

На протяжении ряда лет в БАТУ проводились исследования и разработки по оперативному приборному контролю СМС. Был разработан ряд устройств и приборов, основанных на трёх информационных параметрах. Одним из таких комплексных информационных параметров является скорость распространения ультразвука в реальных растворах. Были разработаны на основе этого параметра первичные преобразователи и регистрирующие приборы. Контролируемый параметр в данном случае является переменной величиной. При обосновании ультразвукового метода контроля концентрации СМС и загрязнений результаты контроля представлялись в виде дискретных значений выходной величины первичного преобразователя (датчика), дискретность которой определяется разрешающей способностью вторичного прибора, т.е. обозначив через $U_{\text{вых}}$ все

возможные значения выходного сигнала преобразователя от 0 до n , получим, что $Y_{i(вых)} = f(x_{i(вх)})$, где $x_{i(вх)}$ - некоторые значения входного сигнала датчика, которому соответствуют выходные сигналы $Y_{i(вых)}$. На основании этих предложений для целей оптимизации процесса мойки, изготовления экспериментального оборудования и устройств контроля был предложен критерий (К) качества очистки оборудования [Л1] с наложением на растворы ультразвуковых колебаний:

$$K = (M_0 - M) / S_0 = M_k / S_0,$$

где K - остаточная загрязнённость (критерий качества очистки), г/см²;

M_0 - начальная загрязнённость, г;

M - масса отмытых загрязнений, г;

S - площадь очистки, см.

В полном аналитическом выражении критерия K учитываются такие факторы и составляющие, как толщина слоя загрязнений, плотность загрязнений, время очистки, гидростатическое давление раствора, частота ультразвуковых колебаний, амплитуда и скорость ультразвуковых волн, вязкость раствора, температура раствора и концентрация СМС в растворе.

На основе этого критерия разработана аналитическая модель ультразвукового контроля концентрации чистых и загрязнённых растворов СМС по скорости распространения ультразвука, соответственно, в чистом Смс и загрязнённом Смс растворе:

$$C_{смр} = \frac{C_{смс}}{\sqrt{1 + 0,01 K_3 \left[\frac{W_{зм} \rho_{зм} + 1,1 \delta (1 - W_{зм})}{\rho_{см}} \right] \left[1 - 0,01 K_3 \left[1 - \rho_{см} C_{см}^2 \left[\frac{W_{зм}}{\rho_{зм} C_{зм}} + 2,7 \cdot 10^{-4} (1 - W_{зм}) \right] \right] \right]}}},$$

где $C_{смр}$ и $C_{смс}$ в м/с;

t - температура раствора;

K_3 - критическая концентрация загрязнений в растворе, кг/м³;

$W_{зм}$ - массовая доля масляной фазы загрязнений;

$\rho_{зм}$, $\rho_{см}$ - плотность соответственно масляной фазы загрязнений и моющей среды (чистого раствора СМС), г/см³;

$C_{зм}$ - скорость ультразвука в масляной фазе загрязнений, м/с;

A_{ci} - концентрационный коэффициент скорости ультразвука в растворе i -го компонента МСС, м с⁻¹/г·л⁻¹;

W_i - массовая доля i -го компонента в растворе СМС.

$$C_{смс} = 1555 \{1 - 1,52 \cdot 10^{-5} \cdot (t - 74)^2 [1 + 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot (t - 74)]\} + \sum W_i A_{ci} K_{мс};$$

Зависимости скорости ультразвука в чистых растворах от концентрации СМС и температуры приведены на рис.1. а,б, а зависимости скорости ультразвука в загрязнённых растворах в зависимости от концентрации загрязнений на рис.1 в,г.

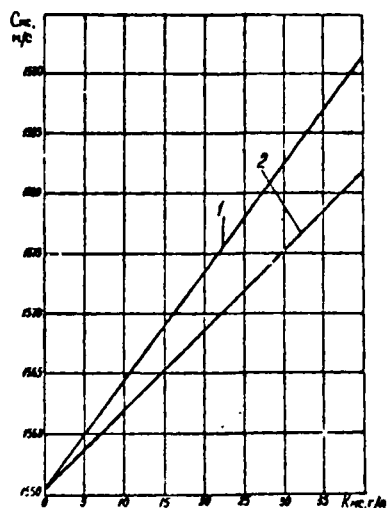


Рис. 1а. Зависимость скорости ультразвука $C_{ум}$ в чистых моющих растворах от концентрации СМС $K_{см}$ при $t=75^{\circ}\text{C}$; 1 - Лабомид-102, 2 - МС-8

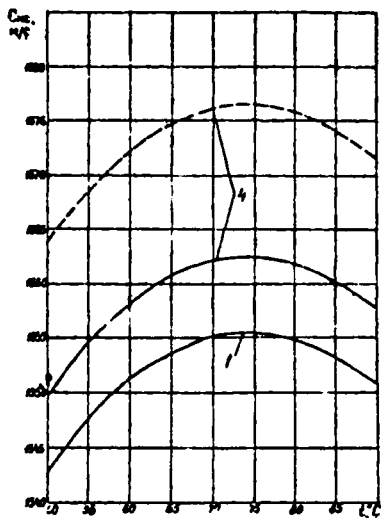


Рис. 1б. Зависимость скорости ультразвука $C_{ум}$ в чистых растворах от температуры t при постоянных значениях концентрации $K_{см}=10$ г/л (—), $K_{см}=30$ г/л (---) 1 - вода, 2 - МС-15

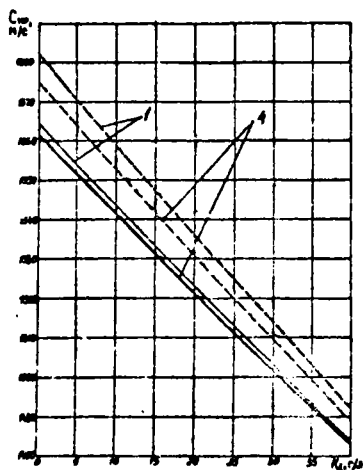


Рис. 1в. Зависимость скорости ультразвука в моющих растворах от концентрации загрязнений; $K_{см}=10$ г/л (—), $K_{см}=30$ г/л (---) 1 - Лабомид-102, 2 - МС-8

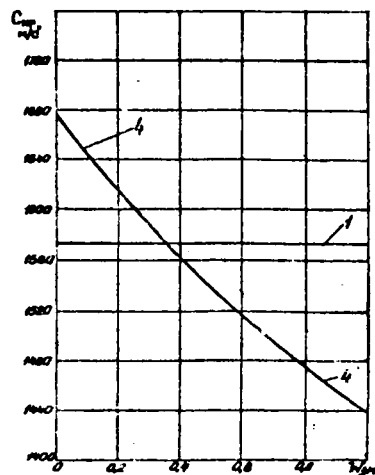


Рис. 1г. Зависимость скорости ультразвука в растворах Лабомид-102 от массовой доли $W_{зм}$ масляных загрязнений; 1 - 0 г/л, 2 - 15 г/л

С учётом полученных экспериментальных данных разработаны теоретические и подтвердившие их экспериментально-статистические методы контроля концентрации растворов СМС по скорости распространения ультразвука. Полученные эмпирические зависимости концентрационных характеристик моющих растворов за время их использования и корреляционные зависимости между основными составляющими этих характеристик показывают, что скорость ультразвука в чистых растворах сильно и сложным образом зависит от концентрации СМС и температуры, а в загрязнённых растворах - также и от концентрации загрязнений. При этом скорость ультразвука сильно зависит от соотношения масляных и твёрдых компонентов загрязнений. Поэтому скорость ультразвука может быть использована как информационный параметр для интегрального контроля концентрации моющих растворов. Очевидно, что для контроля концентрации растворов необходим двухпараметрический способ.

Предпосылкой для двухпараметрического способа контроля или избирательного способа является использование оптической плотности и скорости ультразвука для определения концентрации СМС и загрязнений. Двухпараметрический способ может быть основан также на использовании оптической плотности и электропроводности растворов.

С целью определения области изменения контролируемых параметров в реальных условиях проведены исследования на производственных моющих растворах МС-8, МС-15, Лабомид -102 и других установлено, что при накоплениях загрязнений до 20...22 г/л за цикл использования растворов, равный 80 ч, а СМС в зависимости от этой концентрации загрязнений истощаются с 20 до 5... 8 г/л. Получены корреляционные зависимости между общими концентрациями и их отдельными компонентами, что даёт возможность их раздельного определения. Установлено также, что в диапазоне частот от 2,5 до 25 МГц скорость ультразвука сложным образом зависит от концентрации СМС и загрязнений, и избирательного частотного диапазона не обнаружено.

Литература

Автоматизация процессов очистки молочного оборудования. - Горки : БСХА, 1998.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УСТАНОВОК

С. А. Хохряков (ООО «САМАВИТ ПЛЮС»)

Несмотря на широкое использование ультразвука в различных процессах, до сих пор отсутствует комплексный подход к оптимальному решению данной задачи. Существующая теория и практика ультразвука до сих пор отражает лишь отдельные моменты, не обеспечивая полного комплекса объективных критериев к оценке ультразвуковых установок, а следовательно и возможности оптимального выбора. К этому следует добавить, что ультразвуковые установки настолько критичны к огромному ряду факторов, что их реализация требует строго индивидуального подхода, затрудняя серийное внедрение. Даже, например, две одинаково изготовленные ультразвуковые ванны не всегда можно подключить поочередно к одному ультразвуковому генератору без специального согласования, при этом, если в лучшем случае система будет работать, КПД неизбежно снизится. Имея дело с маломощными системами (около 100 Вт), снижением КПД можно иногда и пренебречь, но при повышении мощности до 1 кВт и выше потеря каждого процента оборачивается довольно неэкономично.

Критичность режимов работы ультразвуковых установок аддит в огромной мере и на их надежность, что более чем на порядок повышает опасность выхода из строя, например, по сравнению с импульсными высокочастотными источниками тока и т.п. На основании вышесказанного пришла пора объединить затронутую тему в комплексный подход к созданию ультразвуковых установок, который должен обогатить планирование, внедрение, сравнение как комплексных решений, так и частных. Например, сравнение двух ультразвуковых генераторов, имеющих одинаковые входные и выходные характеристики.

В указанной системе можно выделить четыре основных направления разработок:

1. Электромеханический источник ультразвуковых колебаний, которым может быть ванна для промывки или обработки жидких сред, инструмент для размерной обработки и пр.
2. Генератор ультразвуковых колебаний.
3. Узел согласования источника электромеханических ультразвуковых колебаний с генератором.
4. Технология применения ультразвуковых установок в конкретном технологическом процессе.

В данной работе рассматриваются только те вопросы, которые касаются применения электроники. Узел согласования впервые рассматривается отдельно от генератора для удобства изложения дальнейших материалов.

Все указанные направления тесно взаимосвязаны между собой. Можно привести пример. Используется ультразвуковая установка для промывки деталей. От качества ванны, ее геометрических и электромеханических характеристик зависит мощность полезной энергии, необходимой для задуманного технологического процесса и мощность потеря, которая выделяется в виде тепла, нагревает дополнительно пьезопластины и места крепления элементов преобразователей, что приводит к снижению надежности и полезной энергии. Генератор, который возбуждает ванну, вынужден вырабатывать лишнюю энергию. При этом дополнительно греется узел согласования. Если промываемые детали положить на дно ванны, а не подвесить на определенном расстоянии от него, эффективность снизится еще больше. С другой стороны, если узел согласования при плохой настройке пропустит на ванну лишние гармоники, то генератор будет вырабатывать лишнюю энергию, а ванна будет ее рассеивать в виде тепла, снижая свой ресурс работы. И так до бесконечности. Нет отдельно плохого оборудования, есть в первую очередь неудовлетворительное сочетание между собой указанных направлений; и только во вторую очередь недостаточный учет и реализация позиций, указанных ниже.

Каждое вышеуказанное направление комплексного подхода к созданию ультразвуковых установок можно рассмотреть с помощью следующих характеристик:

1. Универсальность - уровень спектра технологических задач, которые можно решить.
2. Технологичность - уровень возможности решить поставленную задачу.
3. Надежность - обеспечение рабочего режима при отрицательном воздействии опасных факторов.
4. Ремонтопригодность - уровень возможности обеспечения ремонта.
- Стойкость и другие экономические факторы.

Рассмотрим кратко каждую характеристику применительно к ультразвуковым генераторам. Более подробное рассмотрение - результат будущих работ.

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ

Широкие возможности применения ультразвуковой механической энергии практически в любой области деятельности человека приводят к созданию огромного количества моделей ультразвуковых генераторов. По техническим возможностям они могут быть универсальные и специализированные.

Первые рассчитаны на работу с различными технологическими установками, допускают широкую вариацию выходных параметров, условий согласования с нагрузками. Они предназначены для использования в исследовательских лабораториях, на опытных производствах, где нужна широкая регулировка параметров технологического воздействия.

Вторые - рассчитаны на питание одной определенной нагрузки. Они более простые, чем первые, а следовательно более надежные и дешевые. Характеристики ультразвуковой нагрузки настолько индивидуальны и критичны, что и в одной серии часто не всегда допускается полная взаимозаменяемость оборудования без индивидуальной настройки и согласования. Даже наличие универсального генератора не всегда позволяет произвести полное согласование без дополнительного оборудования, например осциллографа. Сложность согласования и наладки ультразвукового генератора более чем на порядок выше, чем у похожего оборудования, например, закалки металла токами высокой частоты. Все это говорит о том, что использование универсального генератора в ультразвуке очень проблематично и накладно. Специализированное оборудование наиболее выгодно, но при требовании обеспечения большого числа технологических процессов приходится выпускать соответствующий ряд модификаций, что усложняет выпуск и обслуживание при работе, а значит ведет к удорожанию.

Компромиссным решением данной проблемы можно привести пример широкого внедрения ультразвуковой очистки деталей подшипников на АП «Минский подшипниковый завод» по системе, предложенной автором.

При большом количестве разнообразных процессов ультразвуковой очистки деталей подшипников требуется соответствующее количество генераторов, что значительно усложняет организацию обеспечения и обслуживания. Кроме того, изъятие генератора из производства для его обслуживания проблематично, так как специализированный запасной генератор мощностью около 1 кВт и выше иметь накладно, а согласовать другой сложно без специалиста с определенной квалификацией. Внедряемая система позволяет обеспечить производство генераторами, которые для конкретной технологической нагрузки по оптимальности соответствуют специализированным, а для обеспечения всего спектра технологических процессов - универсальным. Такая система позволяет обеспечить почти полную взаимозаменяемость генераторов независимо от специфики технологического процесса, а это значит, что относительно небольшой комплект ЗИП (единицы шток) может помочь обслужить десятки установок, что в условиях большого производства имеет соответствующий экономический эффект. Кроме того, легче подготовить обслуживающий персонал.

Для решения указанной задачи система делится на три части:

1. Специализированный корпус, оснащенный элементами управления, индикации и источником питания.
2. Модуль возбуждения, генерирующий напряжение с характеристиками, едиными для всей серии модулей.
3. Модуль согласования генератора с нагрузкой, который может размещаться вне корпуса генератора. Обеспечение полной взаимозаменяемости модуля возбуждения, как наиболее подверженного выходу из строя узла генератора вполне решает поставленную задачу.

Не следует путать указанную систему с модульной системой питания мощных нагрузок, когда общая нагрузка делится на отдельные секции и каждая из них получает питание от отдельного малоомощного генератора.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

Выше было указано, что режимы ультразвуковой обработки являются очень критичными к определенным факторам, а малейшие изменения параметров работы вызывают ухудшение эффективности обработки. Поэтому требуется визуальный контроль выходной мощности с помощью индикаторного устройства, имеющего возможность отражать весь диапазон, например, по стрелочному индикатору. Причем, индикаторы компараторного типа, показывающие какое-то одно значение и не отражающие промежуточных (выполнены, как правило, с индикацией среднего значения), малоэффективны. Определение мощности по звуку кавитации в ванне или по шуму тоже весьма относительно. Генератор должен иметь возможность удобной коррекции частоты, если он не работает в режиме АПЧ, а также по необходимости и других параметров.

НАДЕЖНОСТЬ

С самого начала работает, как правило, все. Но с течением времени по ряду факторов работа может нарушаться. Их учет позволяет выработать требования, выполнение которых позволяет увеличить ресурс работы генератора. Это контроль и максимальное уменьшение воздействия таких факторов, как

1. Сквазные токи
2. Одностороннее насыщение сердечника
3. Амплитудно значение коммутируемого максимального тока
4. Среднее значение коммутируемого максимального тока
5. Понижение напряжения питания сети переменного тока
6. Повышение напряжения питания сети переменного тока
7. Кратковременные перемены напряжения питания сети переменного тока
8. Изменение угла сдвига фаз между коммутируемым током и напряжением
9. Гармонический состав выходного напряжения
10. Перегрев элементов.

Учет и выполнение указанных требований позволяет оценить надежность любого генератора, позволяя производить его оценку при сравнении между собой различных моделей.

Решающее значение обеспечения надежности имеет идеология организации системы защиты. Многим известна трудность работы с оборудованием, которое часто отключается при возникновении опасных режимов, и нужно тратить время на повторное включение. Именно в ультразвуке таких режимов предостаточно. Для того, чтобы можно было работать более менее устойчиво, защиту заглубляют, увеличивают инерционность ее срабатывания и пр., снижая ее до минимума. Следует учесть, что основное число опасных режимов характеризуется относительно кратким воздействием и только небольшое число может воздействовать длительное время. Поэтому оптимальной является

мгновенная защита с самовосстановлением настолько быстро, чтобы ее работа не мешала техпроцессу. В этом случае при единичных опасных режимах техпроцесс нарушаться не будет, а при повторяющихся более длительное время срабатывает дополнительно инерционная защита с длительным отключением.

Такой защитой обеспечены все генераторы серии «ВНТ», внедренные автором.

РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ

Организация ремонта ультразвуковых генераторов на любом производстве очень сложна в первую очередь за счет трудности пуско-наладочных работ после ремонта. Внедряемая конструкция позволяет значительно упростить эту задачу за счет использования универсального комплекта ЗИП и подготовки специалистов завода для ремонта в основном единого, упрощенного модуля, максимально подверженного выходу из строя, а не всего генератора в целом.

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ПОЛУЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКЕ

С. А. Хохряков (ООО «САМАВИТ ПЛЮС»)

Использование ультразвуковых колебаний для равномерной очистки деталей и узлов от технологических загрязнений приводит к созданию значительного числа способов и средств для обеспечения этой задачи. Это достигается в первую очередь получением равномерных колебаний на плоскости, снабженной определенным количеством ультразвуковых преобразователей (мозаичная система) и помещенной в жидкий раствор. Примерами практического использования таких систем могут быть также диспергаторы, аэраторы, стерилизаторы и пр.

Получение равномерных колебаний в мозаичной системе представляло всегда определенные трудности за счет неоднородности излучения ультразвуковых преобразователей.

Первый, наиболее простой способ, осуществляет принцип питания преобразователей в параллель от одного генератора. Он, по утверждению автора работы [1], не обеспечивает достаточной равномерности излучения, так как подбор преобразователей очень труден и практически невозможен в условиях серийного производства. Это было справедливо в свое время, когда еще не было достаточно хороших пьезоматериалов, технологии подготовки акустических излучающих поверхностей и крепления преобразователей.

В литературе, указанной выше, утверждается, что равномерность загрузки по мощности преобразователей в мозаичной системе ввиду различных резонансных частот и сопротивлений отдельных преобразователей может быть достигнута только в модульных системах, когда каждый преобразователь питается от отдельного модульного генератора. На основе этого была разработана целая теория и под нее создано специальное оборудование. Назовем это вторым способом реализации рассматриваемого процесса. Этот способ относительно неплох, однако он довольно громоздок при монтаже мощных систем, когда каждый преобразователь мозаичной системы должен иметь отдельную линию для питания, часто на значительные расстояния и отдельный генератор. Здесь добавляется громоздкость настройки системы, разные частоты излучения каждого преобразователя, что приводит к интерференции и наличию значительного числа гармоник, что снижает кавитационный эффект, надежность и пр.

Третий способ, предлагаемый в литературе [2], указывает на применение широкополосного генератора, который создает возможность работы мозаичной системы в многочастотном режиме, соответствующем максимуму выходной мощности каждого

элемента структуры в любой момент времени, что повышает эффективность установки в целом. Этот способ требует значительной мощности генератора, работающего в широкополосном, а значит энергетически неудобном режиме. Кроме того, любой преобразователь имеет ряд побочных гармоник, которые снижают эффективность работы ультразвукового преобразователя, а коррекция АЧХ каждого из них при помощи отдельного фильтра довольно громоздка и сопровождается потерями энергии. Причем, если такую коррекцию не провести, то наличие в работающем преобразователе других гармоник, кроме основной, приводит к снижению механической надежности преобразователя.

Четвертый способ, предлагаемый в литературе [3], обеспечивает равномерную загрузку всех элементов мозаики частотной модуляцией выходного сигнала сетевым напряжением путем изменения параметров резонансного контура автогенератора. При этом элементы мозаики возбуждаются последовательно во времени, однако возбуждение акустической мощности, отдаваемой каждым элементарным преобразователем, выполняется лишь в течение малого интервала времени (по отношению к периоду изменения частоты). Этот способ имеет те же недостатки, что и третий, только еще требует значительных величин пик-факторов мощности, подаваемой на каждый ультразвуковой преобразователь, резко снижая их надежность.

В настоящее время разработаны и изготавливаются эффективные мозаичные системы, способные излучать равномерные колебания на приемлемом уровне. Это достигается путем изготовления оптимальных излучающих поверхностей методом взрыва или специальной обработкой, реализацией новых способов крепления и механической подгонки АЧХ преобразователей, что позволяет довольно эффективно использовать параллельное соединение преобразователей, возбуждаемых узкополосным генератором. Дополнительно к этому, автором разработана методика электронной подгонки АЧХ преобразователей, что дало возможность создания эффективного оборудования. На основе вышесказанного и базируется пятый способ, внедренный автором, представляющий собой комплексное решение, в основе которого лежит основной принцип, оговоренный в работе [7] и откорректированный для решения рассматриваемой задачи. Он включает оптимальную реализацию взаимодействующих между собой:

1. Мозаичных систем, созданных в последнее время и имеющих довольно равномерные АЧХ преобразователей, входящих в них. Отличным примером могут служить системы, указанные в работах [4,5]
2. Генераторов ультразвуковых колебаний, позволяющих создать оптимальный режим
3. Узлов согласования, позволяющих выровнять АЧХ преобразователей электронным способом дополнительно к механическому.
4. Технологических режимов использования оборудования, как, например, указано в работе [6]

Примером практического применения указанного способа могут быть системы очистки деталей подшипников, внедренные на АП «МПЗ», достоинство которых в следующем:

1. Все преобразователи мозаичной системы включены в параллель, делая систему коммутации, согласования и настройки максимально простой
2. Специализированный генератор большой мощности излучает сигнал с пониженным содержанием гармоник и имеет удобную настройку на требуемый технологический режим
3. Узел согласования позволяет дополнительно выравнивать АЧХ отдельных преобразователей в полосе частот около 2 кГц
4. Система механического сканирования выравнивает воздействие кавитационных зон

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабников О.Н. Ультразвуковые установки в исполнительном исполнении с пьезоэлектрическими преобразователями для очистки прецизионных деталей. - ДДНТИ, 1986, С.3.
2. Донской А.В., Келлер О.К., Кратыш Г.С. Ультразвуковые электрические установки. - Д: Энергия, 1986.
3. Басинский А.Е., Асиновский А.И. Методы построения высокоэффективных звуковых генераторов - В сб. Новые разработки в ультразвуковой технике и их применение. - Д: ДДНТИ, 1982, с.12.
4. Смирнов Г.В., Самарин И.А., Шуганов А.Д. Использование методов ударной термомеханической обработки и сварки взрывом при изготовлении электроакустических панелей большой мощности. - В сб.: Ультразвуковая техника и технология. Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. - Минск: репринт БАТУ, 1995, с.42.
5. Слизень В.В., Кривеносов С.С. Комбинированный подход к созданию унифицированного оборудования ультразвуковой очистки поверхности деталей. - Там же. - с.63.
6. Самарин И.А. Пути повышения равномерности воздействия УЗ колебаний при ультразвуковой очистке. - Там же. - с.28.
7. Хохряков С.А. Комплексный подход к созданию ультразвуковых установок. - В наст. сборнике

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КАВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

С.А. Хохряков («САМАВИТ ПЛЮС»)

Ультразвуковой кавитационный технологический процесс (УКТП) - технологический процесс, связанный с применением ультразвуковой энергии в жидкой среде. Например, диспергирование, очистка поверхностей, интенсификация различных техпроцессов и пр.

Ультразвуковая кавитационная установка (УКУ) - электромеханическая установка, осуществляющая УКТП.

Ультразвуковой генератор (УГ) - электронное устройство, создающее энергию для питания УКУ.

Необходимость в рассматриваемой работе возникает каждый раз, когда приходится согласовывать вопросы применения конкретной УКУ в конкретном техпроцессе и оснащении его УГ.

Среди большого числа технологий по применению ультразвука и даже изготовителей УКУ и УГ часто присутствуют недостаточно четкие понятия об ультразвуке вообще и использовании ультразвукового оборудования в частности.

Многие полагают, что достаточно взять любую ванну, оснастить ее ультразвуковыми преобразователями, и ванна будет работать на их частоте с заданной мощностью и эффектом.

Другие считают, что эффективность работы УКУ можно оценить уровнем возникающего при этом шума. А уровень шума зависит от состояния рабочей среды - жидкости, находящейся в УКУ. Чем больше шум, тем больше мощность, выделяемая УГ и лучше степень осуществления технологического процесса.

Существует также распространенное мнение, что достаточно взять обычную нормально работающую ванну определенного объема и мощности и совместно с УГ использовать их в любых процессах и режимах, где требуется применение ультразвуковой акустической энергии. При этом необходимо особенно обратить внимание на такое понятие, как допустимая удельная мощность оборудования, которая зависит от таких факторов, как:

- температура рабочей жидкости;
- плотность рабочей жидкости;
- скорость движения рабочей жидкости при наличии такого режима;
- толщина слоя рабочей жидкости;
- степень заполнения рабочего объема ванны обрабатываемыми деталями;
- толщина слоя жидкости между рабочей поверхностью ванны и обрабатываемой поверхностью;
- время непрерывной работы оборудования.

Пример 1. На АО «СИНТА» г. Минск производилась очистка алмазных порошков путем загрузки их в ультразвуковую ванну, заполненную рабочей жидкостью. Вначале рабочая жидкость была практически неподвижной. Затем, после ее дегазирования (удаления пузырьков воздуха) и постепенного отрыва частиц порошка от рабочей поверхности ванны (дна) устанавливалась устойчивая кавитация, осуществляя необходимый процесс очистки. При взбалтывании рабочей жидкости эффект кавитации резко снижался на некоторое время и затем восстанавливался. При небольшом изменении температуры рабочей жидкости требуется подстройка частоты генератора, при большом – требуется дополнительно корректировать его из-за изменения внутреннего сопротивления ванны. При подключении генератора к другой такой же ванне система не дала мощности (УГ мог выйти из строя).

Когда ванну вместо воды заполнили нагретым маслом, то генератор сгорел сразу. Процесс удалось осуществить только после подключения ванны к генератору с мощностью в несколько раз выше, чем у базового.

Пример 2. В процессе внедрения ультразвукового комплекса очистки поверхностей шариков на МПЗ назрела необходимость максимального рассмотрения проблемы, затронутой автором данной работы. Суть проблемы резко очертилась в том, что при внедрении абсолютно новой системы очистки был создан действующий макет, достаточно обкатан и на его базе спроектирован и изготовлен рабочий образец, который показал абсолютно неожиданные параметры. Подробности – материалы другой работы.

Приведенные примеры показывают уникальность и трудность внедрения ультразвуковой очистки и вообще ультразвуковой кавитационной энергии в различные технологические процессы. Пожалуй, это самое непредсказуемое оборудование, так как при малейшем отклонении от отработанных параметров возможны неожиданные эффекты его работы даже для его разработчиков.

Для удобства анализа темы рассмотрим вопрос с трех сторон. Это:

- технолог по использованию ультразвука в техпроцессах;
- изготовитель УКУ;
- изготовитель УГ.

Первой стороне важен вопрос организации техпроцесса с точки зрения химических реакций, интенсифицированных ультразвуком, который создается в УКУ с помощью УГ.

Причем, ультразвуковые колебания могут требоваться любой необычной формы, даже отрицательно действующие на само оборудование. Это понятно, но почему – то технолог часто забывает, что технические возможности УКУ и УГ не всегда это позволяют. Он часто считает, что если они рассчитаны на требуемую мощность, то этого достаточно для решения всех его задач. Такой односторонний подход часто приводит на практике к тому, что оборудование используется неправильно, неэффективно и в лучшем случае не дает требуемого эффекта, а в худшем выходит из строя, что особенно отражается на надежности работы УГ, которые наиболее подвержены выходу из строя за счет огромного количества опасных факторов, возникающих при их работе.

Второй стороне важен вопрос создания УКУ, обеспечивающих требуемые параметры при достаточной их надежности. Общеизвестна практика использования УКУ как относительно ненадежных систем. Это выражается в периодическом выходе их из строя за счет:

- разрушения пьезокерамических пластин,

- отклонения излучателей (если имеется клеевое соединение) от возбуждаемой поверхности;
- изменение в течение эксплуатации резонансной частоты УКУ;
- изменение в течение эксплуатации внутреннего сопротивления УКУ;
- ультразвуковая эрозия рабочей поверхности УКУ

Греющей стороне требуется обеспечить УКУ необходимой энергией и создать для технолога требуемые эффекты. Только после обкатки рабочего образца изготовитель УГ может сказать что-то конкретное о варианте решения поставленной задачи. Но, к сожалению, на практике это оказывается всегда слишком поздно, так как по неполному знанию тематики изготовителю генераторов в основном заказывают только требуемую мощность, что недостаточно. Принципы построения УГ и некоторые их особенности рассмотрены в работах [1] и [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Хохлаков С.А. Комплексный подход к созданию ультразвуковых установок. - В наст. сборнике
2. Хохлаков С.А. Способы и средства получения равномерности воздействия ультразвуковых колебаний при ультразвуковой очистке - В наст. сборнике.

ВЛИЯНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА ОРГАНИЗАЦИЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КАВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

С.А.Хохлаков («САМАВИТ ПЛЮС»)

В данной работе рассматривается вопрос о влиянии гармонического состава напряжения, возбуждающего ультразвуковую кавитационную установку (УКУ) на:

- работу ультразвукового генератора (УГ);
- работу УКУ;
- технологический процесс в целом.

Известно, что гармонические составляющие проявляются на практике в виде шума, возникновения дополнительных колебаний рабочей жидкости, которые могут нарушать стабильность кавитации. Эти составляющие отнимают часть полезной мощности у УГ, дополнительно разогревают пьезопластины УКУ, снижая их ресурс работы, уменьшая в результате общий КПД.

Однако для технолога наличие этих составляющих иногда необходимо для получения дополнительных эффектов, например, перемешивания рабочей жидкости.

Кроме того, гармонические составляющие могут возникать в результате обратного стрикционного эффекта и взаимодействия двух встречных рабочих поверхностей, когда возникает интерференция.

Отмечено значительное влияние гармонических составляющих на все стороны ультразвукового кавитационного технологического процесса как положительное, так и отрицательное и компромиссные решения при осуществлении этих процессов на практике.

Дополнительно рассматривается вопрос о возникновении гармонических составляющих за счет механических и геометрических особенностей УКУ, их влияния на весь ультразвуковой процесс и на меры нейтрализации их отрицательного воздействия на примере внедрения комплекса очистки на МПЗ г. Минск.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ПОТОКА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭНЕРГИИ НА РАСПЛАВЫ ПРИПОЕВ

М.П. Батура, В.М. Бондарик (БГУИР)

Современные тенденции развития технологии создания монтажных соединений предполагают эффективное создание надежных соединений с минимальными энергозатратами и максимальной экологической безопасностью. Пайка изделий электронной техники (ИЭТ) составляет на данный период около 50 % от общей трудоемкости изготовления изделий, и, по статистическим данным, до 80 % всех отказов в электронной аппаратуре происходит вследствие дефектов электрических соединений. Появление новой элементной базы, усложнение и удорожание ИЭТ предъявляют дополнительные требования к качеству паяных соединений [1].

Активация энергией ультразвуковых (УЗ) колебаний - один из перспективных процессов пайки, поскольку позволяет резко интенсифицировать большинство физико-химических процессов: смачивание, капиллярное течение, диффузию материалов, химическую активность элементов, материалов и т.д. Применение УЗ активации при создании монтажных соединений позволяет также избежать применения флюсов, устранить операцию отмычки его остатков [2].

Основные усилия при разработке процесса УЗ пайки направлены на снижение себестоимости продукции, повышение ее надежности, экономии энергетических ресурсов и обеспечение экологической чистоты технологических процессов. Оптимальное решение этих задач возможно лишь при автоматизированном управлении технологическим процессом, основанным на знании физических моделей воздействия концентрированных потоков УЗ энергии на расплавы припоев [3].

Высоту микроволны (рис. 1) при стимуляции концентрированными потоками УЗ энергии можно определить из условия равенства энергий: колебаний E_k потенциальной E_n микроволны, поверхностного натяжения припоя E_n на поверхности раздела.

$$E_k = E_n + E_m \quad (1)$$

Потенциальная энергия E_n складывается из энергии массы припоя в ванночке и микроволны.

$$E_n = \pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot g \cdot h_1 / 4 + \pi \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot h / 6 = \pi \cdot \rho \cdot g \left(\frac{D^2 h_1}{4} + \frac{h^2}{6} \right) \quad (2)$$

где m - масса, h - высота микроволны припоя, h_1 - уровень припоя, D - диаметр столба припоя в ванночке.

Поверхностное натяжение действует по границе поверхности ванны диаметром D .

$$E_n = \sigma \cdot S = \sigma \cdot \pi \cdot D^2 / 4 \quad (3)$$

где σ - поверхностное натяжение припоя.

Подставляя (2) и (3) в уравнение (1) и преобразуя его, получаем

$$h = \frac{\sqrt{3}}{2} D \cdot \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot f^2 \cdot A^2}{g} - \frac{\sigma}{g \cdot \rho}} - h_1 \quad (4)$$

где σ и ρ - поверхностное натяжение и плотность припоя, f и A - частота и амплитуда УЗ колебаний.

Для припоя ПОС 61 с учетом известных его физических параметров выражение (4) примет вид.

$$h = 10^{-2} \sqrt{6 \cdot f^2 A^2 - 7.8 \cdot 10^{-2}} \quad (5)$$

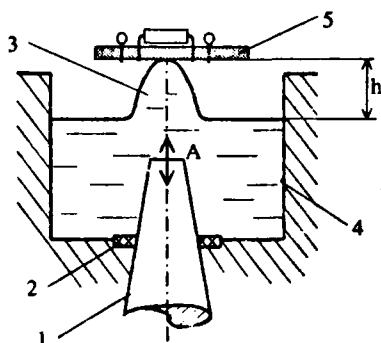


Рис. 1 Образование микроволны припоя в УЗ ванне:

1 - концентратор, 2 - акустическая развязка,
3 - микроволна, 4 - ванна,
5 - электронное устройство

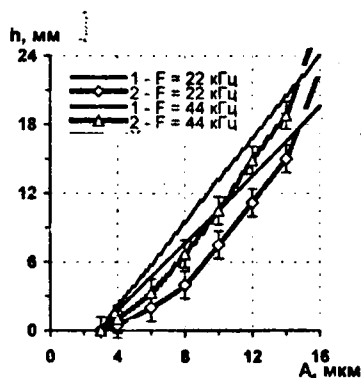


Рис. 2 Зависимости высоты подъема припоя от амплитуды УЗ колебаний:

1 - теоретические,
2 - экспериментальные

Для проверки разработанной физической модели была создана установка УЗ пайки, которая обеспечивала автоматическое поддержание температуры с точностью 5 градусов, непрерывный контроль амплитуды с точностью ± 1 мкм, контроль частоты колебаний с точностью 0.1 кГц при рабочем диапазоне частот 20-27 кГц [4].

Исследование зависимости высоты подъема припоя от частоты и амплитуды колебаний (рис. 2) показало, что теоретически рассчитанная высота подъема припоя несколько больше экспериментально определенной. Это можно объяснить тем, что в разработанной физической модели учитывается лишь поверхностное натяжение припоя, а не окисной пленки на его поверхности. Окисная пленка практически всегда присутствует на границе раздела припой-воздух и ее поверхностное натяжение значительно отличается от поверхностного натяжения зеркала припоя. Кроме того, не учитываются кавитационные явления, которые искажают картину поля колебаний [5].

Использование микроволн припоя создает предпосылки разработки автоматического оборудования монтажа ИЭТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланин В.Л. Пайка электронных сборок. - Мн.: НИЭИ Мин. Эконом., 1999. - 116с.
2. Клубович В.В., Тявловский М.Д., Ланин В.Л. Ультразвуковая пайка в радио- и приборостроении. - Мн.: Наука и техника, 1985.-263с.
3. Ланин В.Л., Бондарик В.М., Чернышев И.Н. Управление процессом ультразвукового лужения деталей // Научно-техническая конференция "Пайка в создании изделий современной техники": Тез. докл. конф. - Тольяти, 1997. - с.201-204.
4. Ланин В.Л., Бондарик В.М., Говалешко Р.В. Лужение выводов ИМС на медном ленточном носителе // Известия Белорусской инженерной академии. - 1997. - N1(3)/3. - с. 181-185.
5. Chivate M.M. Quantification of cavitation intensity in fluid bulk// Ultrasonic Sonochemistry. - 1995, vol. 2. - N 1. - p. 19-25.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Л.С. Герасимович СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ В АПК.....	4
И.Э.Алзерихо. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТРОМБОРАЗРУШЕНИЯ IN VIVO.....	8
Н.М. Чашкевич, Ю.М. Чеснов, Н.Н. Мороз. ВОЗМОЖНОСТИ ЧРЕСПИЩЕВОДНОЙ ЭХОКАРДИОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ АНЕВРИЗМ АОРТЫ	10
Л.Е. Шейнман, А.А. Родионов НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ПУТИ СОЗДАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ.....	11
А.М. Дмитриев, Н.И. Бохан. А.С. Стукин, А.С. Шилиев. ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА.....	14
Л.И. Беляцкая, А.В. Чигарев. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ.....	16
А.Н. Осипов, В.М. Бондарик. БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТР УЗ СИГНАЛОВ	20
В.И. Петров, С.Ф. Подборонников, В.Е. Громов. НАКОПЛЕНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ МЕТАЛЛА ПАРОПРОВОДОВ	23
И.С. Лобова, В.Д. Сарычев, В.И. Петров. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ.....	25

Д.Д. Добротин, С.К. Паврос, А.С. Паврос. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕВЕРБЕРАЦИОННЫХ ПОМЕХ ПРИ КОНТРОЛЕ ЭХОСКОЗНЫМ МЕТОДОМ	45
И.И. Егоров, Р.И. Золотуха, В.В. Ковалев, А.А. Ряднов, С.В. Титов, К.Э. Тоом СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ МНОГОКАНАЛЬНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТΟΣКОПА.....	48
В.М. Добрянский, Е.Л. Магер, В.Ф. Малишевский, З.В. Межевич. ТЕПЛОЕМКОСТЬ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ У-ВА-СУ-О КЕРАМИКИ, ИЗМЕРЕННАЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПОД ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ	52
В.М. Добрянский, Е.Л. Магер, В.В. Паньков. УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ У-ВА-СУ-О КЕРАМИКИ, ПОЛУЧЕННОЙ ДИФУЗИОННЫМ СПОСОБОМ	54
Л.А. Чернобай АКУСТИЧЕСКАЯ ШУМОМЕТРИЯ В ПРОЦЕССАХ ДОБЫЧИ НЕФТИ	56
А.С. Рубанов. ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА С ДВУМЯ ИЗЛУЧАЮЩИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ.....	58
В.И. Крытович, А.С. Рубанов, О.П. Приходько, П.Н. Логвинович, В.В. Михальков, Е.П. Чернуха. УСЛОВИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕРФЕРОМЕТРА ПЛОСКИХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН	63
А.С. Рубанов. ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ	65
В.И. Крылович, А.С. Рубанов, О.П. Приходько, П.Н. Логвинович, В.В. Михальков, Е.П. Чернуха. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА С ДВУМЯ ИЗЛУЧАЮЩИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ	67

ВАТЕЛЯМИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН	66
А.С. Рубанов. О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В АКУСТИЧЕСКОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ	67
А.С. Шиялев, А.С. Рубанов, В.А. Козик, С.Л. Быкова. К ВОПРОСУ ТАРИРОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ, В КОТОРЫХ ИСПОЛЗУЮТСЯ ФАЗОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ	68
Н.Ф. Лугаков, А.С. Шиялев, В.Р. Соболев, Е.Л. Магер. О ВЛИЯНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ НА ДЕФЕКТНОСТЬ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ	69
С.А. Стукин, Н.Ф. Лугаков, М.М. Севернев, А.С. Шиялев, А.М. Гришанович. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ РАСХОДУЕМОГО ВОЛНОВОДА-ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПРОЦЕССОВ	70
Н.Ф. Лугаков, А.С. Шиялев, М.М. Севернев, С.А. Стукин. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НЕРАСХОДУЕМОГО ВОЛНОВОДА	72
С.А. Стукин, Н.Ф. Лугаков, А.С. Шиялев, М.М. Севернев. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ РЕЖИМА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА НЕРАСХОДУЕМЫМ ВОЛНОВОДОМ-ИЗЛУЧАТЕЛЕМ	74
А.С. Шиялев, С.А. Стукин, Н.Ф. Лугаков, М.М. Севернев, А.М. Гришанович. ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ УЛЬТРАЗВУКОВОГО УСТРОЙСТВА К ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ НАПЛАВОЧНЫМ СТАНКАМ	77
Н.Ф. Лугаков, А.С. Стукин, А.С. Шиялев. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ГЕТЕРОГЕННОЙ ТВЕРДОЖИДКОСТНОЙ	

СИСТЕМЕ В МОЩНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	79
Н.Ф.Луगाков, А.С.Стукин, А.С.Шиялев. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ГЕТЕРОГЕННОЙ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЕ В МОЩНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	81
Н.Ф.Лугаков, А.С.Стукин, А.С.Шиялев. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ТВЕРДОЕ ТЕЛО-ЖИДКОСТЬ В МОЩНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	83
А.С. Шиялев, Н.Ф. Лугаков, В.И. Семенов, А.С. Стукин, А.М. Гришанович, В.П. Иванов. НАПЛАВКА МЕТАЛЛА В ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ КАК СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ, ВОССТАНОВЛЕНИЯ, УПРОЧНЕНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ	85
Л.А. Чернобай. АППАРАТУРА АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИСКВАЖИННУЮ ЗОНУ ПЛАСТА.....	87
Л.А.Чернобай. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕФТЕНАСЫЩЕННЫЕ КОЛЛЕКТОРА	90
В.В. Клубович, В.В. Рубаник, Ю.В. Царенко. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЗАСЫПКИ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОРОШКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАБЕЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК	94
В.В. Рубаник, В.В. Клубович, В.В. Рубаник (мл.) ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАТНОГО МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В TiNi	97
В.Г. Шипша, Е.Л. Лебедев, И.В. Петушко. К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ	102

С.С. Зурилин, И.В. Петушко. О ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ЛУЖЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ	104
Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Л.Л. Голубкова, Е.К. Костюкевич. ВЛИЯНИЕ УЗК НА МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТОРФЕ	106
В.П. Иванов, А.М. Цуккерман. УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ПРИБОРЫ ОТПУГИВАНИЯ ГРЫЗУНОВ	109
Л.М. Кожура, В.И. Гальго, В.И. Ефремов, Д.Н. Хилько. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ	110
В.Л. Ланин. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ АКТИВАЦИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СБОРОК	111
В.М.Бондарик, В.Л.Ланин. ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПАЙКИ	115
С.Е. Губарь, В.П. Прокопович, И.И. Саленик. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЧИСТКА ИЗДЕЛИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО И МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	120
С.П. Кундас, М.Д. Тявловский, В.А. Колтович, Л.В. Фастовец, А.В. Костюк. УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ.....	123
А.И. Еропов. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА МИКРООРГАНИЗМЫ	128
А.С. Шилиев. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	129
А.С. Шилиев. ГИПОТЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О	

АКУСТИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗЕМЛИ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕГРЯСЕНИЙ	133
В.М. Добрянский, В.А. Занкевич, В.А. Козик, И.Д. Кулик. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СЕГНЕТО-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКАХ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ ..	136
В.А. Занкевич, А.Н. Дашкевич, В.А. Козик, И.Д. Кулик, Э.Б. Рапицкий, Л.И. Рапицкая. АППАРАТУРА ДЛЯ СИНТЕЗА ВЕЩЕСТВ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	138
Д.А. Костюк, Ю.А. Кузавко. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОВ ОТВЕРЖДЕНИЯ ВЕЩЕСТВ	140
И.И. Бохан. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ.....	143
С.А. Хохряков. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УСТАНОВОК.....	147
С.А. Хохряков. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ПОЛУЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКЕ.....	150
С.А. Хохряков. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КАВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	152
С.А. Хохряков. ВЛИЯНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА ОРГАНИЗАЦИЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КАВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	154
М.П. Батура, В.М. Бондарик. ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ПОТОКА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭНЕРГИИ НА РАСПЛАВЫ ПРИПОЕВ.....	155