

АКУСТИКА В СОВРЕМЕННОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Ю.Г.Безымянный

*Институт проблем материаловедения им. И.Н.Францевича НАН
Украины, ул. Кржижановского, 3, Киев, 03142, Украина, тел. 4569263,
4242055, 4411517, факс 4242131, E-mail: bezimyni@i.com.ua*

На основании опыта многолетней работы отдела акустических методов исследований материалов и материалов печати кратко представлено современное состояние одного из активно развивающихся прикладных направлений акустики – акустического материаловедения: сформулировано понятие акустического материаловедения, определён круг материаловедческих задач, которые решаются с помощью или с привлечением акустических методов; выделены и охарактеризованы активно развивающиеся направления акустического материаловедения, отмечены некоторые тенденции их развития; приведена характеристика основных принципов и описана методология использования акустики в материаловедении.

ВВЕДЕНИЕ

Акустика как наука представляет собой ёмкое понятие, включающее в себя большую область знаний как теоретического, так и прикладного характера. Начиная со середины прошлого века материаловедческие задачи всё более часто решаются с привлечением акустических методов. В настоящее время эти методы позволяют разрабатывать и получать по уникальным технологиям новые материалы с наперёд заданными свойствами, определять свойства и эксплуатационные характеристики материалов и изделий из них, контролировать процессы создания и изготовления материалов, тестировать продукцию, диагностировать состояние материалов в процессе их изготовления и эксплуатации и т. д. Описанный широкий круг практических применений прикладной акустики можно объединить в единое направление – акустическое материаловедение.

За последние годы в этом направлении по многим задачам достигнут значительный прогресс, поэтому представляет интерес рассмотрение акустического материаловедения с современных позиций, обобщение накопленного опыта, анализ достижений и выявлений основных тенденций развития.

В отделе акустических методов исследования материалов Института проблем материаловедения НАН Украины создана база данных, содержащая сведения о современном уровне применения традиционных и новых акустических методов измерения, контроля и формирования свойств существующих и создаваемых перспективных материалов. Результаты анализа публикаций, имеющихся в этой базе данных представлены в настоящей работе.

1 КЛАССИФИКАЦИЯ НАПРАВЛЕНИЙ АКУСТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ: ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ТЕНДЕНЦИИ

Акустическое материаловедение – это, с одной стороны, раздел акустики, а, с другой, - раздел материаловедения, изучающий с помощью упругих колебаний и упругих волн состав, строение и свойства материалов и закономерности изменения этих свойств в результате воздействия акустических полей, а также обеспечивающий практическое применение акустических подходов при решении задач разработки, изготовления и эксплуатации материалов и изделий из них.

Области применения акустического материаловедения достаточно широки. Это металлургия, машиностроение, приборостроение, транспорт, авиастроение, ракетостроение, судостроение, автомобилестроение, электроника, строительство, архитектура, наука, медицина, химическая промышленность и многие другие.

Практически все промышленно развитые и развивающиеся страны активно публикуют материалы по акустическому материаловедению. Их далеко неполный перечень: Австралия, Беларусь, Великобритания, Германия, Голландия, Дания, Италия, Канада, Китай, Корея, Польша, Россия, Сингапур, Словакия, США, Украина, Финляндия, Франция, Швейцария, Япония.

Акустическое материаловедение можно разделить на теоретическое и прикладное.

Теоретическое акустическое материаловедение предназначено для обеспечения научной основы и практических рекомендаций использования акустических методов для создания материалов, их испытаний, исследований, контроля и эксплуатации. Основные его задачи состоят в изучении следующих закономерностей: распространения упругих волн в материалах и колебаний элементов материалов и конструкций из них с учётом особенностей состава и строения материала; процессов, происходящих в материалах и конструкциях из них при воздействии акустических полей; формирования и управления акустическими полями с помощью специальных акустических материалов и конструкций из них.

Теоретическое акустическое материаловедение базируется на таких областях знаний как: теория упругости; теория колебаний и волн; акустика жидкого и твёрдого тела; физика твёрдого тела; физическая акустика; механика сплошных сред; нелинейная акустика; механика деформируемого твёрдого тела; механика гетерогенных сред; механика сыпучих сред; теория излучения и приёма упругих волн; гидродинамика и т.д.

Практическим выходом теоретического акустического материаловедения является построение акустических моделей при решении конкретных материаловедческих задач и установление функциональных зависимостей между параметрами акустических полей и искомыми свойствами материалов. В публикациях за последние годы

представлены, в частности, новые акустические модели и развитие существующих акустических моделей таких как микроструктура спеченной керамики, пористых сред, распространения акустических волн в анизотропных средах, взаимодействия упругих волн с дефектами, в том числе и сложной формы и т.д.

Прикладное акустическое материаловедение предназначено для практического использования акустических полей при создании материалов, исследовании их физико-механических свойств и контроле, а так же для использования специальных акустических материалов и конструкций при обеспечении производственных, эксплуатационных и социально-бытовых потребностей человека. Задачи, которые оно позволяет решать, зависят от этапа жизни материала. Так, на этапе создания материала - это разработка оптимальной технологии изготовления материала, обеспечивающей формирование заданных свойств; обработка свойств создаваемых материалов; исследование свойств вновь созданных материалов, их аттестация и паспортизация. На стадии производства - использование определённой технологии создания материала с конкретными свойствами; использование материалов со специальными акустическими свойствами для создания изделий; автоматизированное управление производством; контроль продукции на соответствие паспортным данным. На стадии эксплуатации - обеспечение социально-бытовых потребностей человека; контроль материала на сохранение его эксплуатационных характеристик. Здесь можно выделить такие основные направления: акустические материалы; ультразвуковые технологии; акустические испытания; акустические измерения, контроль и управление; социально-бытовая акустика.

Акустические методы позволяют работать со всеми акустически прозрачными материалами, а к таковым относятся практически все известные в настоящее время материалы, в частности это: металлы и стали современных марок, их сплавы, неметаллы, пластмассы, строительные материалы, различные композиты, к которым относятся, в частности такие перспективные материалы как керамики, полимеры, пористые и высокопористые, в том числе пенометаллы, ячеистые материалы, волокнистые, сетчатые, материалы с покрытиями, и др. При этом состояние материала может быть самое различное: кристаллическое, квазикристаллическое, аморфное, порошкообразное, жидкое (расплав); структура может формироваться на любом уровне: молекулярном, нано-, микро-, мезо-, макро-(материалы-конструкции) - и в любом виде: из кластеров, моно- или поликристаллов, порошинок, волокон, сеток, иметь матричный или каркасный характер, быть однородной или неоднородной (слоистые, градиентные материалы) и т. д. Интересно использование акустических методов для синтеза и исследования фуллеритов – новых материалов, получаемых на основе недавно открытой третьей формы существования чистого углерода в виде фуллеренов и нанотрубок.

Акустические материалы – это материалы, обладающие акустической активностью и предназначенные для создания и съёма акустических полей с использованием того или иного физического

ефекта. К современным акустическим материалам относятся: пьезоэлектрические, магнитострикционные, полупроводниковые, пьезополупроводниковые и др. Представляет интерес синтез на основе нанотехнологий перспективных акустических материалов с кластерной структурой, обладающих уникальными характеристиками.

Ультразвуковые технологии предназначены для создания новых или усовершенствования существующих технологий получения материалов с заданными уникальными свойствами и изделий из них с использованием акустических полей. Они используются для воздействия на материалы в различном состоянии и позволяют решать следующие задачи: разработка оптимальной технологии изготовления материала, обеспечивающей формирование заданных свойств; промышленное использование оптимальной технологии изготовления материала, обеспечивающей формирование заданных свойств. Современные ультразвуковые технологии позволяют проводить следующие операции: дегазация, диспергирование, очистка, кристаллизация, прессование, спекание, повышение гомогенности структуры, шлифовка, термообработка, упрочнение, снятие остаточных напряжений, сварка, пайка, склеивание, сверление, резание, фрезеровка, снятие заусенцев, шлифовка, распыление, нанесение покрытий, старение материалов, получение порошков материалов, аэрозолей и т. д. Одним из перспективных направлений является интенсивное развитие ультразвуковых нанотехнологий, в том числе получение фуллеренов и нанотрубок в акустических полях.

Акустические испытания – предназначены для получения информации о поведении материалов и конструкций из них в условиях, близких к эксплуатационным, и о предельных возможностях материалов. С их помощью решаются следующие задачи: изучение свойств вновь созданных материалов; паспортизация материалов; контроль готовой продукции на соответствие паспортным данным; оценка остаточного ресурса материалов. Они позволяют получать информацию об усталости, прочности, надёжности материалов и пр.

Контрольно-измерительное направление акустики в прикладном акустическом материаловедении предназначено для получения информации о материалах без изменения их свойств. Оно позволяет решать следующие задачи: отработка свойств разрабатываемых и исследование свойств вновь созданных материалов; аттестация и паспортизация материалов; контроль продукции в процессе ее создания; автоматизированное управление производством материалов; контроль материала на сохранение его эксплуатационных характеристик. При этом можно проводить исследования внутренней структуры материала и её эволюции, в том числе анализировать её состав (концентрация фаз, включений, пористость), однородность, дефектность, консолидацию элементов, оценивать размеры элементов структуры и изделий; определять свойства материала такие как упругость (модули упругости, в том числе и нелинейные, упругие константы), неупругость, механические

характеристики (твёрдость, предел упругости, прочности, пластичности, ползучесть и т. д.), плотность и анизотропию этих свойств.

Существенное внимание в литературе уделено улучшению качества акустической диагностики материалов, в частности, таким важным вопросам как повышение отношения сигнал/шум, обработка сигналов при контроле материалов с высоким уровнем структурных шумов, подавление шумов, методы идентификации и классификации дефектов, определение вероятности их обнаружения, улучшение разрешающей способности ультразвукового контроля, улучшение оценки степени опасности дефектов и т.д. Продолжается развитие, анализ возможностей и сопоставление достоинств и недостатков традиционных методов исследования. Особое внимание уделяется новым методам исследования материалов, в частности, таким методам как ультразвуковой дифракции (позволяет выявлять микротрещины, неметаллические включения в металлическом материале, исследовать анизотропию материалов, рассчитывать коэффициент затухания), нелинейной акустики (для определения положения трещин и их идентификации), определения размеров и характеристик элементов структуры и т. д.

Социально-бытовое акустическое материаловедение предназначено для удовлетворения производственных и социально-бытовых потребностей общества путём использования специальных акустических материалов и изделий в качестве элементов машин, конструкций, приборов, механизмов, а также для обеспечения нужд человека и общества. Оно позволяет решать следующие задачи: создание конструкций, приборов, механизмов с уникальными свойствами и возможностями; обеспечение комфортных условий в жизнедеятельности человека; защита человека от вредных воздействий. Оно находит применение в акустической технике, на транспорте, в электронике, архитектуре и т.д. для виброизоляции, шумоподавления и т.п.

2 МЕТОДОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Большое разнообразие задач, которые решаются с помощью акустических методов в материаловедении, большое разнообразие материалов, используемых в настоящее время на практике и большое количество самих акустических методов предопределяет, что оптимальное решение определённой материаловедческой задачи с помощью акустического метода предполагает осознанный выбор наилучшего пути достижения поставленной цели. Такой осознанный подход требует, во-первых, наличия классификации материалов по акустическому признаку, во-вторых, классификации материаловедческих задач решаемых с помощью акустических методов и, в третьих, классификации самих методов.

Классификация материалов по акустическому признаку должна учитывать как свойства самих материалов, важные с точки зрения применения акустических методов, так и волновые особенности объекта.

Классификации материаловедческих задач при их решении с помощью акустических методов предназначена для формализации результата, требуемого от акустического метода.

Классификация акустических методов предполагает их систематизацию относительно возможности применения к материаловедческим задачам.

Применение в материаловедении акустических методов, как и любых других косвенных, предполагает выполнение ряда последовательных шагов. Так, анализ поставленной задачи позволяет перейти к её моделированию: физическому, структурному, механическому, акустическому.

Физическое моделирование на основании классификации задач позволяет выявить наиболее существенные физические моменты формирования искомого свойства материала.

Структурное моделирование на основании физической модели и классификации материалов позволяет абстрагироваться от малосущественных структурных элементов материала, не связанных с формированием искомого свойства материала.

Механическое моделирование на основании структурной модели материала и известных механических подходов позволяет установить функциональные зависимости между характеристиками упругих колебаний и (или) упругих волн, с одной стороны, и характеристиками искомого свойства материала, с другой. Если построение механической модели затруднительно в силу объективных причин, например, сложности задачи, то функциональная зависимость может быть заменена корреляционной эмпирической.

Акустическое моделирование на основании механической или эмпирической модели материала и классификации акустических методов позволяет установить закономерности формирования акустического поля в материале с учетом особенностей его состава и структуры, выбрать метод формирования этого поля и его требуемые параметры, позволяющие решить поставленную задачу.

Следующие шаги достижения цели связаны с аппаратурной и методической реализацией выбранных методов, получением экспериментальных результатов, их анализом, осмыслением и практическим использованием.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе была сделана попытка обобщить и систематизировать найденные в литературных источниках материалы по использованию акустических методов в материаловедении. Ограниченный объём работы не позволил обсудить многие важные проблемы, связанные с этим направлением, и более детально остановиться на рассматриваемых вопросах. Автор будет рад любым контактам, позволяющим расширить представления по современному состоянию рассматриваемого направления.