

УДК 539.3

НЕЛИНЕЙНАЯ ВОЛНОВАЯ ДИНАМИКА ОБОБЩЕННЫХ КОНТИНУУМОВ

© 2011 г.

В.И. Ерофеев

Нижегородский филиал Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

erf04@sinn.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Обсуждаются особенности распространения нелинейных волн в обобщенных континуумах, таких как градиентно-упругая среда, среды с дислокациями и точечными дефектами, твердые двухкомпонентные смеси, твердые проводящие среды, взаимодействующие с внешним магнитным полем.

Ключевые слова: обобщенный континуум, нелинейная волна.

Градиентно-упругая среда

Описаны различные типы волн в градиентно-упругом пространстве, неограниченном и ограниченном поверхностями. В рамках градиентной теории упругости с поверхностной энергией показано существование SH-поверхностной волны, которую в классической теории упругости описать невозможно. Проанализировано влияние микроструктуры на волновые процессы, а также исследовано влияние геометрической нелинейности на продольные, сдвиговые и SH-поверхностные волны.

**Среды с дислокациями
и точечными дефектами**

Изучается распространение продольной акустической волны в твердом теле с дислокациями. Проанализировано влияние плотности дислокаций на дисперсию фазовой скорости волны, величину и характер затухания. Произведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными по изучению характеристик распространения упругих волн в образцах с изменяющейся плотностью дислокаций (деформируемых и циклически нагружаемых образцах). Предложена нелинейная математическая модель динамики твердой среды с дислокациями. Рассматривается распространение ультразвуковых квазигармонических волн. Показано, что наличие дислокаций приводит к модуляционной неустойчивости квазигармоник и формированию стационарных волн огибающих (волновых пакетов), при этом их амплитуда и ширина определяются эффективной массой дислокаций и коэффициентом акустодислокационного взаимодействия. Кроме того, в твердом теле с дислокациями может формироваться

нелинейная стационарная акустическая волна. Такая волна является периодической и движется быстрее, чем акустические сигналы в линейной среде. Волна имеет пилообразную форму, длина волны увеличивается с ростом ее амплитуды.

При воздействии на материал лазерного излучения или потока частиц (например, при ионной имплантации) в нем создаются точечные дефекты (вакансии, межузлия). Прохождение интенсивной продольной акустической волны способствует изменению, в областях растяжения и сжатия, энергии активации образования точечных дефектов, приводя к их пространственному перераспределению. Дефекты, мигрирующие по материалу, рекомбинируют на различного рода центрах. Роль таких центров могут играть дислокации, примеси внедрения и др.

Задача о распространении акустической волны в материале с дефектами рассматривается как самосогласованная, включающая в себя, наряду с динамическим уравнением теории упругости, кинетическое уравнение для плотности дефектов. Показано, что такая модель может быть сведена к нелинейному эволюционному уравнению, объединяющему в себе известные уравнения волновой динамики: Кортевега – де Вриза – Бюргера и Клейна – Гордона.

Твердые двухкомпонентные смеси

Изложены основы теории распространения упругих волн в твердых смесях. Смесь представляет собой два взаимопроникающих континуума. Каждая точка области, заполненной смесью, одновременно занята обеими компонентами, между которыми происходит взаимное относительное движение. Деформированное состояние каждого континуума определяется парциальными тензо-

рами деформаций и вращений. Однако при движении смеси происходит не только деформирование отдельных континуумов, но и их взаимное смещение. Кинематически такое смещение может однозначно определяться компонентами вектора относительных перемещений (сдвиговая модель смеси). Основное внимание уделяется обсуждению следующих вопросов: математические модели сдвиговых и инерционных смесей деформируемых твердых тел, учитывающие геометрическую и физическую нелинейности; дисперсионные свойства упругих продольных и сдвиговых волн, распространяющихся в указанных смесях; нелинейные эффекты при распространении упругих волн.

Магнитоупругие среды

Система динамических уравнений магнитоупругости для стержня, пластины и упругой трехмерной среды приведены к эволюционным уравнениям относительно продольной деформации, в частных случаях представляющих собой известные модельные уравнения нелинейной волновой динамики. В случае стержня система уравнений магнитоупругости сводится к одному из уравнений: Кортевега – де Вриза – Бюргерса, Кортевега – де Вриза, Бюргерса и уравнению Римана в зависимости от учета проводимости материала и модели, описывающей упругие колебания стержня. Если рассматриваемым объектом является пластина, то система уравнений магнитоупругости сводится к уравнению, соединяющему в себе известные двумерные модельные уравнения Хохлова – Заболотской – Кузнецова и Кадомцева – Петвиашвили. Для трехмерной упругой среды эволюционное уравнение представляет собой трехмерное уравнение Хохлова – Заболотской – Кузнецова.

Исследована эволюция магнитоупругой волны Римана в стержне. Показано, что внешнее магнитное поле стабилизирует простую волну, увеличивая время формирования резкого фронта.

В результате аналитических исследований и численного моделирования продемонстрирована возможность формирования интенсивных пространственно-локализованных магнитоупругих волн: уединенные волны деформации в стержне; двумерные квазиплоские волновые пучки в пластине; трехмерные квазиплоские волновые пучки в упругой проводящей среде.

Установлены зависимости волновых параметров (амплитуда, скорость, ширина) от величины и пространственной ориентации внешнего магнитного поля, показывающие, что с помощью магнитного поля можно управлять характеристиками локализованных волн.

Основное содержание настоящего исследования отражено в публикациях [1–7].

Список литературы

1. Багдоев А.Г., Ерофеев В.И., Шекоян А.В. Линеинные и нелинейные волны в диспергирующих сплошных средах. М.: Физматлит, 2009. 320 с.
2. Altenbach H., Erofeev V., Maugin G. (eds.). *Mechanics of Generalized Continua – from Micromechanical Basics to Engineering Applications*. NY: Springer, 2011. 330 p.
3. Ерофеев В.И., Мальханов А.О. Влияние магнитного поля на локализацию волны деформации // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. №1. С. 95–100.
4. Мальханов А.О., Ерофеев В.И. Магнитоупругая волна Римана в стержне // Нелинейный мир. 2009. Т. 7, №12. С. 933–936.
5. Ерофеев В.И., Землянухин А.И., Катсон В.М., Мальханов А.О. Нелинейные продольные локализованные волны в пластине, взаимодействующей с магнитным полем // Вычислительная механика сплошных сред. 2010. Т. 3, №4. С. 5–15.
6. Ерофеев В.И., Мальханов А.О., Морозов А.Н. Локализация волны деформации в нелинейно-упругой среде // Электронный журнал «Труды МАИ», 2010. Вып. 40.
7. Erofeev V.I., Malkhanov A.O. Localized magnetoelastic waves formation // *International Review of Mechanical Engineering*. 2010. Vol. 4, No 5. P. 581–585.

NONLINEAR WAVE DYNAMICS OF THE GENERALIZED CONTINUA

V.I. Erofeev

The features of nonlinear wave propagation in generalized continua, such as the gradient-elastic medium, medium with dislocations and point defects, solid two-component mixtures, the solid conductive medium interacting with an external magnetic field are discussed.

Keywords: generalized continuum, nonlinear wave.