

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНО ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

© 2011 г.

Т.И. Белянкова, В.А. Лыжов

Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону

belyankova@ssc-ras.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Приводится обзор результатов исследования широкого класса предварительно напряженных структурно неоднородных тел со сложными физико-механическими свойствами. Применяется подход, позволяющий использовать не только экспоненциальные, но и произвольные монотонные и немонотонные зависимости, что позволяет рассматривать сильно градиентные среды с непрерывно изменяющимися по глубине свойствами и моделировать среды с «высокоскоростным» или «низкоскоростным» включением. Детально исследовано распространение сдвиговых горизонтально поляризованных волн по поверхности слоистых пьезоактивных сред, изучено влияние слабой неоднородности, связанной с изменением диэлектрических параметров пьезоактивной среды и ее свойств, на характеристики поверхностных волн и структуру поверхностного волнового поля.

Ключевые слова: функционально градиентные материалы, покрытия, включения, локализация неоднородности, пьезоактивная среда, распространение поверхностных волн, волны Гуляева – Блюштейна, распределение напряжений в среде.

Проблема создания материалов с заданными свойствами обуславливает необходимость первоначального определения их структуры. Это связано с математическим моделированием неоднородных материалов, которое базируется на разработке эффективных методов численного восстановления функции Грина. В общем случае среда имеет произвольно изменяющиеся по глубине свойства. Исследования показывают, что посредством изменения градиентности свойств среды можно управлять структурой поверхностного волнового поля, добиваться либо локализации его в приповерхностной зоне, либо его подавления. Аналогично можно управлять динамической жесткостью среды, добиваясь появления резонансных эффектов, их усиления либо подавления. Проблема динамического поведения и контактного взаимодействия полуограниченных тел с плавно изменяющимися по глубине свойствами неоднократно рассматривалась в литературе. При исследовании динамики неоднородного по глубине слоя была предложена и реализована двухточечная схема численного построения функции Грина среды. Впоследствии этот подход был использован в ряде работ при исследовании неоднородных полуограниченных сред различных типов [1–3]. Использование подобной схемы в случае полупространства накладывает определенные ограничения на закон изменения механических

параметров неоднородной среды, в частности, обязательным условием является стабилизация их значений на бесконечности. Позднее была предложена другая модель неоднородного полупространства, представляющая собой слой с плавно изменяющимися по глубине механическими параметрами, лежащий на поверхности однородного полупространства. В рамках этого подхода исследовались особенности динамики неоднородной среды, в частности дисперсионные свойства и динамическая жесткость.

Традиционно рассматривались среды, упругие модули которых монотонно изменяются по глубине, либо увеличиваясь («нормальный тип неоднородной среды»), либо уменьшаясь («аномальный» тип). Позднее использовался иной подход, позволяющий существенно расширить класс функций, описывающих закон изменения механических параметров неоднородной среды, и рассматривать высокоградиентные среды, упругие модули которых произвольно изменяются по глубине, моделируя среды с «жестким» или «мягким» включением. Так появилась возможность моделирования структурно неоднородных сред с целью прогнозирования их динамического поведения. Детально исследованы свойства акустически однородных тел, упругие параметры которых и плотность изменяются по одному и тому же закону. Исследования показали, что, несмотря на акус-

тическую однородность среды, наличие включений качественно меняет характер поведения динамической жесткости. При этом эпюра динамической жесткости среды с включением становится похожей на эпюру динамической жесткости слоя с защемленным основанием, т.е. становится осциллирующей функцией, появляются диапазоны частот с отрицательной активной (вещественной) составляющей динамической жесткости и диапазоны частот, на которых активная составляющая резко возрастает. Появляются частотные диапазоны, в которых отток энергии из зоны контакта существенно превышает обычный поток энергии в полупространство. Имеются диапазоны частот, в которых отток энергии минимален. Возникают условия появления ограниченных резонансов. Выбирая тип включения, резонансные частоты можно сдвигать или в высокочастотный, или в низкочастотный диапазоны. Численный анализ показал, что среду с «высокоскоростным» включением с достаточной степенью точности можно аппроксимировать слоисто-неоднородной средой. Как показал вычислительный эксперимент, среду с «низкоскоростным» включением ап-

проксимировать с достаточной степенью точности слоисто-неоднородной средой невозможно. На примере решения задач о распространении сдвиговых горизонтально поляризованных волн по поверхности слоистых пьезоактивных сред изучено влияние слабой неоднородности, связанной с изменением геометрических параметров пьезоактивной среды и ее свойств, на характеристики поверхностных волн и структуру поверхностного волнового поля. Анализ показал, что появление слабой неоднородности в виде изменения поляризации при всех других равных параметрах пьезоэлектрической среды приводит к значительным изменениям в структуре поверхностного волнового поля. Целенаправленно меняя поляризацию во внешнем или внутреннем слое (покрытии или включении), можно добиться либо значительного изменения фазовой скорости в определенном частотном диапазоне, либо появления новых скоростных поверхностных волн. На рисунках представлено распределение поля напряжений, рассчитанное для неоднородной среды с «высокоскоростным» (рис. 1, 2) и «низкоскоростным» (рис. 3, 4) включением.

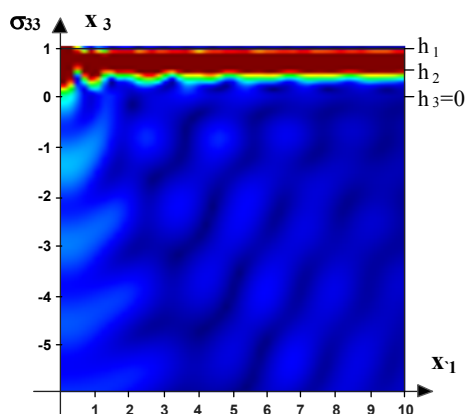


Рис. 1

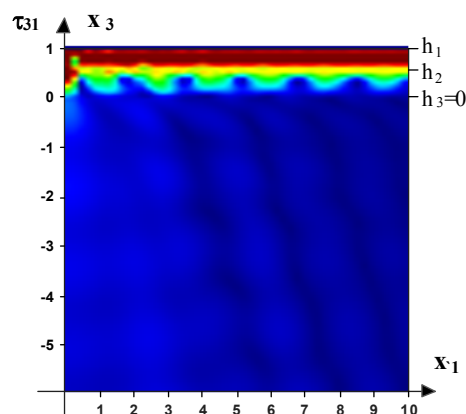


Рис. 2

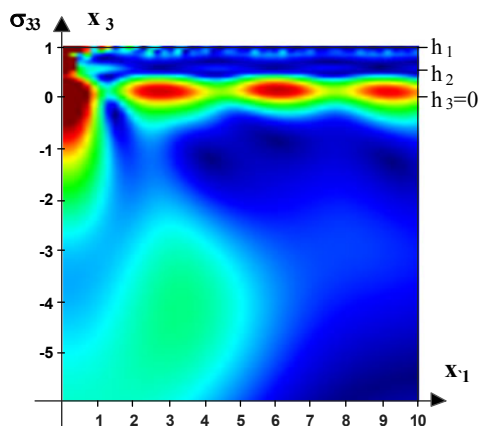


Рис. 3

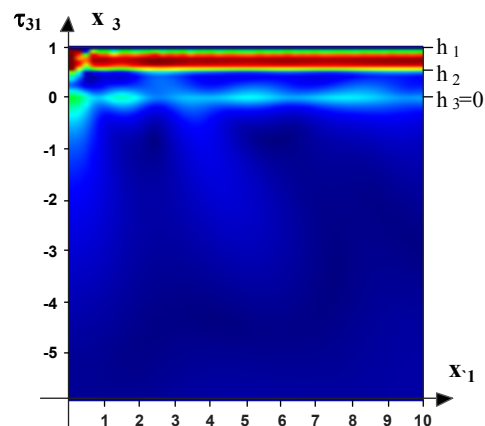


Рис. 4

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №09-01-00695, 09-08-01065, 09-08-96527-юг), а также программы №11П РАН.

Список литературы

1. Калинчук В.В., Белянкова Т.И. Динамика по-

верхности неоднородных тел. М.: Физматлит, 2009.

2. Белянкова Т.И., Лыжов В.А. // Вестник ЮНЦ РАН. 2010. Т. 6, №2. С. 3–11.

3. Белянкова Т.И., Каламбет В.Б., Калинчук В.В. // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2009. №3. С. 11–18.

MODELLING PRESTRESSED FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS AND SURFACES

T.I. Belyankova, V.A.Lyzhov

The results of researching a wide class of prestressed structurally inhomogeneous bodies with complex physical and mechanical properties were considered. An approach is applied that allows using not only exponential relations, but also monotonous and nonmonotonic ones. The latter allows considering strongly graded media with properties continuously changing through the depth and modeling media with «high-speed» or «low-speed» inclusions. Distribution of SH-waves on the surface of layered piezoeactive media is investigated; the effect of the weak inhomogeneity associated with the change of dielectric parameters of piezoeactive media and its properties on the characteristics of surface waves and structure of the surface wave field are studied.

Keywords: functionally graded materials, surfaces, inclusions, inhomogeneity localization, piezoeactive media, surface wave propagation, Gulyaev–Bleustein waves, stress distribution in media.