

05

Наблюдение объемных солитонов деформации в слоистых стержнях из различных материалов

© Г.В. Дрейден, А.М. Самсонов, И.В. Семенова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
E-mail: samsonov@math.ioffe.ru; irina.semenova@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 18 сентября 2014 г.

Показано, что поведение объемного солитона деформации в слоистых волноводах со слоями, изготовленными из разных материалов, зависит от типа контакта между слоями. В деламнированном волноводе солитоны распространяются в каждом слое независимо и имеют заметно разные скорость и амплитуду, зависящие от параметров материала слоя. В волноводе, склеенном стеклоподобным связующим, распространяется единый результирующий солитон. Эти свойства нелинейных объемных волн деформации могут быть применены при неразрушающем контроле в силу ничтожно малого затухания объемных солитонов.

Недавно нами был проведен цикл экспериментальных и теоретических исследований эволюции объемных солитонов деформации в слоистых волноводах, выполненных из стеклоподобных полимеров (ПММА, полистирола и поликарбоната, см. [1–4] и приведенные там ссылки). В частности, была исследована эволюция объемных уединенных волн в полностью склеенных слоистых стержнях при идеальном и неидеальном контакте между слоями и при разных типах клея [1]. Показано, что при почти идеальном контакте (упругие параметры клея близки к параметрам материала) основные характеристики уединенных волн практически не изменяются по сравнению с однородным стержнем из того же материала. При неидеальном контакте (резиноподобный клей) исходная волна преобразуется в излучающую уединенную волну [3], что находится в полном соответствии с построенной нами теорией. Впервые были проведены эксперименты с целью проверки существования и описания свойств объемных уединенных волн деформации в деламнированном стержне с протяженными трещинами [3]. Показано, что переход

Упругие характеристики ПММА и ПС

	Плотность	Модуль Юнга	Коэффициент Пуассона	Модули упругости 3 ^{го} порядка (по Мурнагану)			Скорость звука в стержне	Декремент затухания	
	ρ , g/cm ³	E , N/m ² · 10 ¹⁰	ν	l , N/m ² · 10 ¹⁰	m , N/m ² · 10 ¹⁰	n , N/m ² · 10 ¹⁰	C_1 , m/s	α_0 , (линейно) см ⁻¹	α , (солитон) см ⁻¹
ПС	1.06	0.37	0.34	-1.89	-1.33	-1	1870	0.17	0.005
ПММА	1.16	0.5	0.34	-1.09	0.77	-0.14	2080	0.25	0.009

Письма в ЖТФ, 2014, том 40, вып. 24

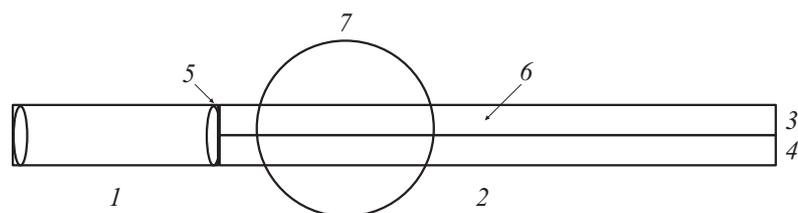


Рис. 1. Схематическое изображение используемых волноводов: 1 — стержень из ПММА диаметром 10 мм, длиной 50 мм; 2 — двухслойный брусок длиной 350 мм, 3 — слой из ПС, 4 — слой из ПММА, 5 — склейка клеем СА, 6 — область контакта слоев в эксперименте с деламированными слоями или склейка СА в эксперименте со склеенными слоями; 7 — область наблюдения.

волны в область деламации приводит к 15–20-процентному росту амплитуды и к генерации цуга из нескольких уединенных волн (была рассчитана зависимость от числа слоев), что в точности совпадает со значениями, предсказанными нашей теорией [4].

Настоящая работа посвящена исследованию процесса эволюции солитонов деформации в двухслойных стержнях, слои которых выполнены из двух разных стеклоподобных полимерных материалов: ПММА и полистирола (ПС), генерация и распространение солитонов в которых были нами всесторонне исследованы ранее. В таблице приведены литературные данные об упругих характеристиках этих материалов.

Экспериментальная установка была детально описана в наших предыдущих работах [1–3] и представляет собой голографический интерферометр и модуль для генерации объемного солитона деформации. Солитон формируется в твердотельном волноводе из первичной ударной волны, образующейся в окружающей волновод воде при лазерном испарении погруженной в нее металлизированной пленки. Волновод представляет собой брусок, состоящий из двух горизонтальных слоев сечением 5×10 мм. Один слой выполнен из ПММА, второй из ПС. К входному торцу бруска приклеен круглый стержень из ПММА диаметром 10 мм и длиной 50 мм (рис. 1), что необходимо для формирования из исходной ударной волны объемной уединенной волны (солитона деформации), которая затем входит в слоистую часть волновода. В экспериментах использовались два волновода: в одном из них слои были полностью деламированы, в другом слои были склеены

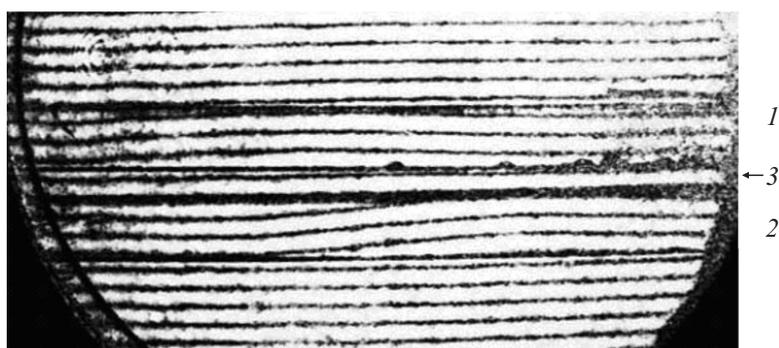


Рис. 2. Солитоны деформации в деламнированном слоистом бруске: 1 — слой из ПС, 2 — слой из ПММА, 3 — область контакта слоев.



Рис. 3. Солитон деформации в слоистом бруске, склеенном клеем СА: 1 — слой из ПС, 2 — слой из ПММА, 3 — склейка СА.

стеклоподобным этилцианоакрилатным клеем СуперМомент (СА). Наблюдения волн проводились в бруске в области 20–70 мм от выхода из круглого стержня (рис. 1).

На рис. 2 приведена волновая картина в деламнированном бруске. В этом случае сформированный в стержне солитон одновременно входит в два разделенных слоя из ПММА и ПС, делится на две объемные волны, которые распространяются в слоях независимо. Вследствие разницы в скоростях (см. таблицу) солитон в верхнем

слое (ПС) отстает от солитона в нижнем слое (ПММА). Амплитуда солитона в слое из ПС также заметно меньше, чем в слое из ПММА. В экспериментах с солитонами в склеенном волноводе выяснилось, что волновая картина в таком бруске (рис. 3) существенно отличается: по волноводу распространяется единая уединенная волна, имеющая одинаковые амплитуду, форму и скорость по сечению волновода, которые отличаются от этих же волновых характеристик в разделенных слоях из первого эксперимента. Однако уже было показано (см. таблицу), что объемные солитоны деформации обладают ничтожно малым затуханием в твердотельных волноводах по сравнению с любыми линейными (ультразвуковыми) волнами. Таким образом, можно утверждать, что обнаруженные экспериментально различия в поведении солитонов в деляминированных и склеенных слоистых волноводах, выполненных из различных материалов, существенны и могут найти применение в задачах неразрушающего контроля протяженных слоистых конструкций.

Эта работа поддержана Российским научным фондом в рамках гранта № 14-12-00342.

Список литературы

- [1] Dreiden G.V., Khusnutdinova K.R., Samsonov A.M., Semenova I.V. // J. Appl. Phys. 2008. V. 104. P. 086 108.
- [2] Dreiden G.V., Khusnutdinova K.R., Samsonov A.M., Semenova I.V. // J. Appl. Phys. 2010. V. 107. P. 034 909.
- [3] Dreiden G.V., Khusnutdinova K.R., Samsonov A.M., Semenova I.V. // J. Appl. Phys. 2012. V. 112. P. 063 516.
- [4] Khusnutdinova K.R., Samsonov A.M. // Physical Review. E. 2008. V. 77. P. 066 603.