

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 539.3:534.1

А.Н. СОЛОВЬЕВ, А.О. ВАТУЛЯН, А.С. СПОЖАКИН, С.Н. ШЕВЦОВ**РЕКОНСТРУКЦИЯ ДЕФЕКТОВ В СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТАХ**

Предлагаются методы реконструкции двух типов дефектов в слоистых композитах: расслоений (интерфейсные трещины) и разрывов слоев (поперечные трещины). Обратные геометрические задачи реконструкции трещин сводятся к решению последовательности систем граничных интегральных уравнений (ГИУ), полученных на основе принципа взаимности работ при установившихся колебаниях исследуемых образцов. Решение ГИУ проводится на основе сочетания метода конечных элементов (МКЭ), метода граничных элементов (МГЭ) и метода регуляризации А.Н. Тихонова. Дополнительной информацией для решения обратных задач служит поле смещений, измеренное на части внешней границы тела, свободной от механических напряжений. Рассмотрены численные примеры идентификации расслоений и разрывов в рамках плоской задачи теории упругости.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, реконструкция трещин, композиты, граничные интегральные уравнения, метод граничных элементов.

Введение. Одной из математических моделей деформированного твердого тела с дефектами в виде трещин при пренебрежении взаимодействием внутренних поверхностей является линейно-упругое тело с разрезами. На берегах этих разрезов задаются граничные условия в напряжениях (в частности, условия их отсутствия). В рамках такой линейной модели правомочно ставить задачи об установившихся колебаниях тела. Измерение амплитуд граничных волновых полей позволяет гораздо эффективнее, чем в статике, проводить восстановление напряженно-деформированного состояния (НДС) внутри тела и на его границах (в том числе внутренних), а по структуре этих полей идентифицировать дефекты. Среди задач реконструкции трещин внутри упругого тела наиболее простыми представляются задачи, в которых известно сечение тела (в общем случае криволинейная поверхность), содержащее дефекты. В случае плоского сечения его определение для уравнения Лапласа проводится в [1], для гармонических колебаний изотропного упругого тела в [2]. Методы, разработанные в этих работах, опираются на возможность измерить на всей границе тела, как вектор напряжений, так и вектор смещений. К задачам такого же типа относятся задачи определения интерфейсных трещин на внутренних границах составного упругого тела. Некоторые методы решения таких обратных задач теории упругости представлены в литературе. Так, в работе [3] предлагается метод неклассических ГИУ [4], в [5] применяется итерационный метод, основанный на алгоритме, предложенном в [6]. В работе [1] для уравнения Лапласа разработана полувывная схема реконструкции системы трещин. Одним из существенных требований к постановке этих обратных задач, приближающих их к практическому применению, является условие, при котором возможно измерение граничных сопряженных полей не на всей