

*Тонконогий В.М., доктор технических наук
Голофеева М.А., кандидат технических наук,
Колесник М.Е., студентка,
Одесский национальный политехнический университет,
Институт промышленных технологий, дизайна и менеджмента*

Контроль свойств и структуры материалов с многоуровневой структурой

Аннотация: Рассмотрен подход к разработке методов контроля свойств и структуры композиционных материалов. Показано, что выделение нужной информации о композиционном материале требует нетривиальных решений и индивидуального подхода. На основе описанного подхода разработан акустический метод измерения диссипативных свойств полимерных композиционных материалов, базирующийся на взаимосвязи декремента затухания колебаний и скорости распространения упругих волн в материале, погрешность которого не превышает $\pm 7,4 \%$, что является вполне допустимым в сфере акустических измерений (до 20 %).

Ключевые слова: материалы с многоуровневой структурой; контроль; акустический метод измерения; диссипативные свойства.

Одним из перспективных направлений развития машиностроения является использование новых конструкционных материалов специального назначения с развитой многоуровневой структурой. Такие материалы состоят из двух или более компонентов (армирующего наполнителя и полимерной матрицы) и имеют специфические физико-механические свойства, отличные от суммарных свойств составляющих компонентов. Они отличаются высокими функциональными возможностями и обеспечивают повышение надежности, увеличение ресурса работы, снижение массы изделий,

возможность эксплуатации в экстремальных условиях. Правильный выбор новых материалов для соответствующих деталей оборудования в сочетании с технологическими процессами, целенаправленными на получение требуемой точности и качества, дают возможность существенно повысить технические параметры оборудования, его долговечность со значительным уменьшением материалоемкости [1].

Многообразие армирующего наполнителя, матриц, схем армирования, используемых при создании композиционных материалов, дает возможность направленно регулировать прочность, жесткость, уровень рабочих температур и другие свойства путем подбора состава, изменение соотношения компонентов и макроструктуры композитов. Решение таких задач предполагает прогнозирование свойств материала и диагностики его состояния [2]. Наряду с высокими эксплуатационными характеристиками неметаллических гетерогенных материалов необходимо отметить их некоторые недостатки. В том числе, изменчивость физико-механических свойств, наличие различных дефектов (воздушные раковины, неравномерность распределения фракций объемом отливки, отслойка закладных деталей), неоднородность состава и структуры. Вопрос качества и надежности материалов, изделий и конструкций из них является одной из наиболее актуальных проблем современного научно-технического развития. Особое значение в решении такой проблемы имеют эффективные методы и средства контроля [3].

Гетерогенные материалы являются довольно сложными объектами для контроля, поскольку характеризуются анизотропией свойств, большим разнообразием типов структур, специфическими физическими свойствами (электро-, тепло-, звукоизоляционными) [4]. Поэтому выделение нужной информации о композиционном материале требует нетривиальных решений и индивидуального подхода [5]. Наиболее эффективными методами контроля качества, используемыми как на стадии изготовления, так и на стадии эксплуатации изделий, являются неразрушающие методы контроля. В то же

время они являются опосредованными методами контроля, то есть не позволяют проводить прямой отсчет таких параметров, как плотность, структура [6]. При обнаружении необходимой информации о свойствах материалов с развитой структурой с помощью неразрушающих методов контроля возникает две задачи. Во-первых, определение комплекса параметров используемого излучения, который бы описывал с достаточной детализацией состояние материала. Во-вторых, установление функциональной связи этих параметров с характеристиками исследуемого материала. На рисунке 1 приведен порядок разработки методов контроля свойств и структуры материалов с развитой структурой.



Рисунок 1 – Порядок разработки методов контроля свойств и структуры материалов с развитой структурой

Такой подход охватывает комплекс взаимосвязанных задач и их решений, которые базируются на особенностях конкретного материала. Он был применен для прогнозирования и измерения диссипативных свойств полимерных материалов с многоуровневой структурой.

Рассеяния энергии в конструкциях из полимерных гетерогенных материалов сильно зависит от структуры материала, характера напряженного состояния, наличия и характеристик закладных деталей, амплитуды и частоты колебаний. Выбор экспериментального метода определения диссипативных свойств должен базироваться на модели, предполагающей действие реально существующих механизмов рассеяния энергии, которые характерны для исследуемого материала.

Следует отметить различия справочных данных о характеристиках диссипации для одних и тех же материалов. Это свидетельствует, в первую очередь, о несовершенстве методов исследования рассеяния энергии, которые не учитывают указанных особенностей.

Использование известных экспериментальных методов исследования диссипативных свойств неметаллических гетерогенных материалов, для которых характерны сложные процессы рассеивания энергии, приводит к значительным погрешностям и не дает возможности определить влияние каждого из отдельно действующих механизмов диссипации энергии [7]. Существует возможность использования акустического метода исследования диссипативных свойств неметаллических гетерогенных материалов, основанного на измерении скорости распространения упругих волн, проходящих через образец материала, который исследуется.

В гетерогенных материалах возбуждения одной моды вызывает возникновение целого набора других мод колебаний, распространяющихся различными путями с различной скоростью и, суммируясь на приемнике, существенным образом меняющих форму принимаемого сигнала. Наиболее информативной остается начальная часть импульса, свободная от паразитных мод колебаний. Поэтому в ряде технических задач (исследование свойств

бетона, пластмасс и т.п.) скорость распространения упругой волны измеряют по фронту сигнала [8].

Учитывая особенности структуры и формирования акустических полей в материалах такого класса, была разработана модель преобразования акустической волны при прохождении через образец материала, учитывающая его физико-механические свойства:

$$u_2(t, E, \rho, \nu, \lambda) = u(t) \cdot \sum_{i=1}^n e^{-\lambda_i f_i S} \sin \left[2\pi f_i \left(t - S / \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \right) \right], \quad (1)$$

где $u(t)$ – сигнал возбуждаемых упругих колебаний;

$u_2(t, E, \rho, \nu, \lambda)$ – отклик;

t – время, с;

S – база прозвучивания, м;

f – частота колебаний, Гц.

λ – декремент затухания колебаний;

E – модуль упругости материала, ГПа;

ρ – плотность материала, кг/м³;

ν – коэффициент Пуассона;

i – количество мод колебаний в сигнале.

Разработанный метод измерения диссипативных свойств полимерных материалов с многоуровневой структурой основан на взаимосвязи декремента затухания колебаний и скорости распространения упругой волны в материале и описан в работе [7].

Зависимость коэффициента затухания колебаний от скорости упругих волн в полимерном композиционном материале описывается формулой:

$$\lambda = 8,304 \cdot 10^{-5} \cdot \rho^2 \cdot (1+\nu)^2 \cdot C^4 - 4,218 \cdot 10^{-3} \cdot \rho \cdot (1+\nu) \cdot C^2 + 0.073 . \quad (2)$$

На основе описанных в работе [7] принципов была предложена общая система, предназначенная для определения диссипативных свойств неметаллических гетерогенных материалов и базирующаяся на акустическом ударном методе измерения.

Предложенный метод измерения характеристик рассеяния энергии в неметаллических гетерогенных материалах является косвенным с большим количеством преобразований измеряемой величины от объекта исследования его результатам (рис. 2). Это, как известно [9, 10] приводит к накоплению погрешности измерения на каждом этапе преобразований. Рассчитана суммарная систематическая погрешность измерения, которая составляет $\pm 7,4\%$, что является вполне допустимым в сфере акустических измерений (до 20%).



Рисунок 2 - Блок-схема преобразований измеряемой величины в акустическом методе измерения диссипативных свойств неметаллических гетерогенных материалов



Рисунок 3 - Структурная схема измерительной системы для определения декремента затухания колебаний в неметаллических гетерогенных материалах

На рисунке 3 приведена структурная схема измерительной системы, которая предназначена для измерения декремента затухания колебаний в неметаллических гетерогенных материалах.

Система состоит из следующих подсистем:

- объект исследования;
- первичные преобразователи - пьезоэлектрические ультразвуковые датчики;
- электронный блок диагностического стенда «Дельфин-1М»;
- персональный компьютер;
- математическая модель для расчетов характеристик рассеяния энергии в неметаллических гетерогенных материалах, отражающая связь скорости распространения упругих волн и декремента затухания колебаний.

Выводы

Показано, что особенности формирования полей используемого излучения в полимерных композиционных материалах вызваны многоуровневой структурой и имеют индивидуальный характер для каждого вида материалов. Описан подход к разработке методов контроля материалов с развитой структурой, на базе которого разработан акустический метод измерения диссипативных свойств таких материалов, основанный на взаимосвязи декремента затухания колебаний и скорости распространения упругих волн. Погрешность такого метода измерения не превышает $\pm 7,4\%$, что является вполне допустимым в сфере акустических измерений (до 20%).

Ссылки

1. Мельничук П.П. Сучасні матеріали у верстатобудуванні / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, В.Г. Сніцар, С.А. Клименко // Вісник ЖДТУ, 2010, №1 (52). – С. 38-50

2. Безимьянний Ю.Г. Акустичний контроль матеріалів з розвинутою мезоструктурою / Ю.Г. Безимьянний // Фізико-хімічна механіка матеріалів – 2007. - №4. – С. 53-65
3. Тонконогий, В.М. Применение синтеграна в машиностроении / В.М. Тонконогий, М.А. Голофеева, И.А. Усатая // Резание и инструмент в технологических системах: Международный науч.-техн. Сборник, - Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – Вып. 77. – с. 167-172
4. Потапов А.И. Контроль качества и прогнозирование надежности конструкций из композиционных материалов / А.И. Потапов – Л.: Машиностроение, 1980. – 261 с., ил. – (Межиздательская серия «Надежность и качество»).
5. Безимьянний Ю.Г. Акустическое отображение материалов с развитой мезоструктурой / Ю.Г. Безимьянний // Акустичний вістник. – 2006. – 9, №2. – С. 3-16
6. Забашта В.Ф. Полимерные композиционные материалы конструкционного назначения / В.Ф. Забашта, Г.О. Кривов, В.Г. Бондар. – К.; Техника, 1993.
7. Тонконогий В.М. Акустический метод измерения динамических свойств композиционных материалов / В.М. Тонконогий, М.А. Голофеева // Развитие науки и образования в современном мире: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 сентября 2014 г. В 7 частях. Часть III. М.: «АР-Консалт», 2014 г. - С. 96-97
8. Гитис М.Б. Особенности акустических измерений в сильно поглощающих средах / М.Б. Гитис, А.А. Шенкер // Дефектоскопия. – 1982. – №10. – С. 86-94.
9. Гугнін, В.П. Метрологічне забезпечення та перевірка засобів вимірювальної техніки фізичних величин / В.П. Гугнін, Г.О. Оборський. – К.: Наука і техніка, 2011. – 220 с.
10. Оборський, Г.О. Вимірювання неелектричних величин / Г.О.

Оборський, П.Т. Слободяник. – К.: Наука и техника, 2005. – 200 с.