

УДК 620.179.1

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ТЕПЛОВЫХ ВОЛН
В ТЕПЛОВОМ КОНТРОЛЕ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ КОМПОЗИТОВ**

Ю.В. Фоминцева, Д.А. Нестерук

Томский политехнический университет

E-mail: nden@sibmail.com**Фоминцева Юлия Владимировна**, студентка Института неразрушающего контроля ТПУ.E-mail: yulchikfom@mail.ru

Область научных интересов: приложения активного теплового контроля, неразрушающий контроль.

Нестерук Денис Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества Института неразрушающего контроля ТПУ.E-mail: nden@sibmail.com

Область научных интересов: тепловой неразрушающий контроль, компьютерная обработка данных.

Приведен краткий теоретический материал по тепловому контролю, описаны результаты экспериментального исследования на образце композиционного материала, подвергнутого оптической стимуляции. В экспериментах использовался метод тепловой стимуляции объекта контроля с помощью тепловых волн и импульсного источника теплового нагружения. При обработке данных использовался метод Фурье-анализа последовательностей активного теплового контроля.

Ключевые слова:

Композиционные материалы, тепловой контроль, метод тепловых волн.

Материалы, которые человек использовал в своей деятельности, всегда играли важную роль в прогрессе цивилизации. Более того, они даже дали название целым этапам развития человечества, например каменный, бронзовый, железный века... Современный этап развития цивилизации можно в определенном смысле назвать эрой композиционных материалов.

Композиционными называются материалы, обладающие следующей совокупностью признаков:

- в большинстве своем не встречаются в природе (являются искусственными);
- состоят из двух или более компонентов, различающихся по своему химическому составу и разделенных выраженной границей;
- имеют свойства, отличающиеся от свойств составляющих их компонентов;
- неоднородны в микромасштабе и однородны в макромасштабе;
- состав, форма и распределение компонентов «запроектированы» заранее;
- свойства определяются каждым из компонентов, содержание которого в материале должно быть вполне определенным.

Одним из компонентов композиционного материала, обладающим непрерывностью по всему объему, является матрица, в то время как компонент, разделенный в объеме композиции, считается усиливающим, или армирующим [1]. Матричными материалами могут быть металлы, их сплавы, органические и неорганические полимеры, керамика и другие вещества. Усиливающими, или армирующими, компонентами чаще всего являются тонкодисперсные порошкообразные частицы или волокнистые материалы различной природы.

Основными дефектами композитов являются следующие технологические и эксплуатационные нарушения в структуре и конструкциях материалов [2]:

- возникновение коррозии под краской и между слоями;
- расслоения и непроклеи;
- ослабление сцепления между слоями;
- наличие воды или масла в композиционных сотовых структурах;
- пористость;
- ударные повреждения (например, смятие сот и агломерат микротрещин) и т. д.

Для обнаружения вышеперечисленных дефектов применяют несколько видов контроля, включая ультразвуковой, радиографический, тепловой и так называемую ширографию. Применение первых двух методов для испытаний композитов весьма ограничено из-за их низкой производительности, поэтому чаще всего используют ширографию и тепловой контроль.

Ширография – метод испытаний, использующий феномен интерферометрии для выявления дефектов и повреждений в деталях под нагрузкой. Напомним, что интерферометрия есть метод визуализации процессов и явлений, а также измерения физических и других величин, основанный на явлении интерференции волн и измерении разности фаз (разности оптических путей) между интерферирующими волнами.

Тепловой неразрушающий контроль основан на регистрации тепловых полей объекта контроля. Наиболее распространенными процедурами активного теплового контроля являются импульсный метод и метод тепловых волн. Импульсный тепловой контроль предусматривает нагрев изделия импульсом тепловой энергии и регистрацию температурного отклика на передней, задней или боковой поверхности изделия (рис. 1).

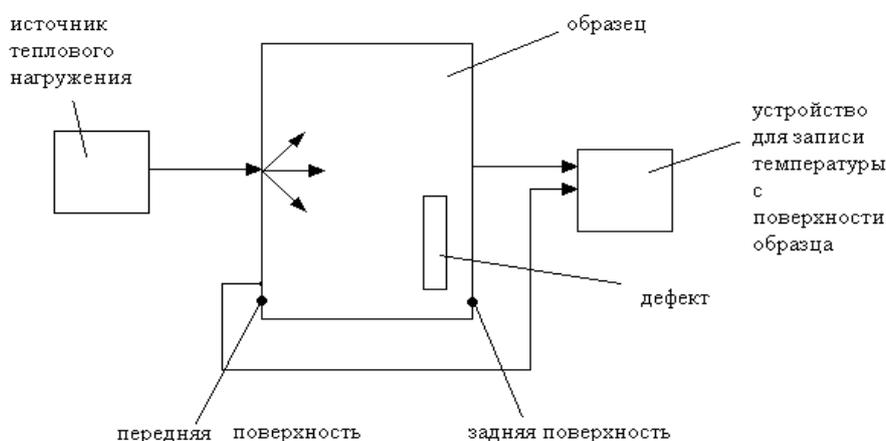


Рис. 1. Общая схема активного теплового контроля [3]

Метод тепловых волн, в свою очередь, подразумевает периодический нагрев, в результате которого в объекте контроля возникают тепловые волны. Считается, что данный метод, в отличие от импульсного, способен обнаруживать глубинные дефекты в силу «мягкого» продолжительного нагрева.

Для реализации метода тепловых волн в настоящем исследовании использовали:

- 2 галогеновые лампы по 1000 Вт каждая;
- углепластиковый композит с дефектами в виде расслоения;
- тепловизор NEC 9100 с температурной чувствительностью до 0,03 °С.

Параметры эксперимента:

- время нагрева – 1 с;
- время охлаждения – 1 с;
- общее время эксперимента – 40 с;
- частота тепловых волн – 10 Гц;
- количество периодов нагрева-охлаждения – 20.

Результатом эксперимента явилась последовательность термограмм. Пример термограммы, на которой проявляется ряд дефектов, показан на рис. 2, где 1 – дефектная зона и 2 – бездефектная зона. На рис. 3 представлены графики средней температуры для дефектной (кривая 1) и бездефектной зон (кривая 2), которые иллюстрируют динамику температуры на поверхности образца.

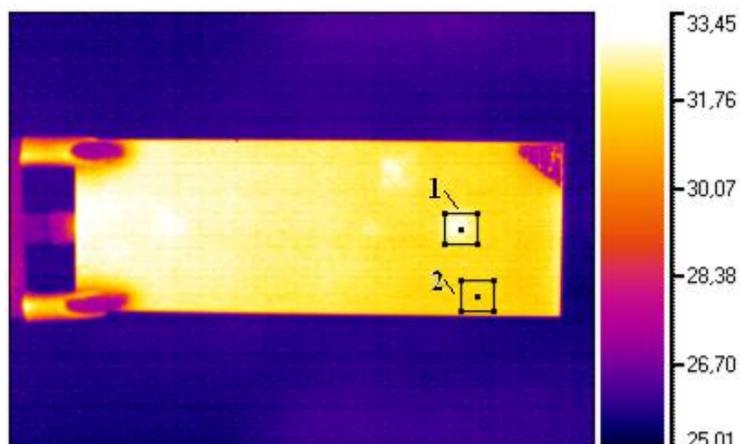


Рис. 2. Исходная последовательность ИК-термограмм в виде матрицы размером $240 \times 320 \times 501$

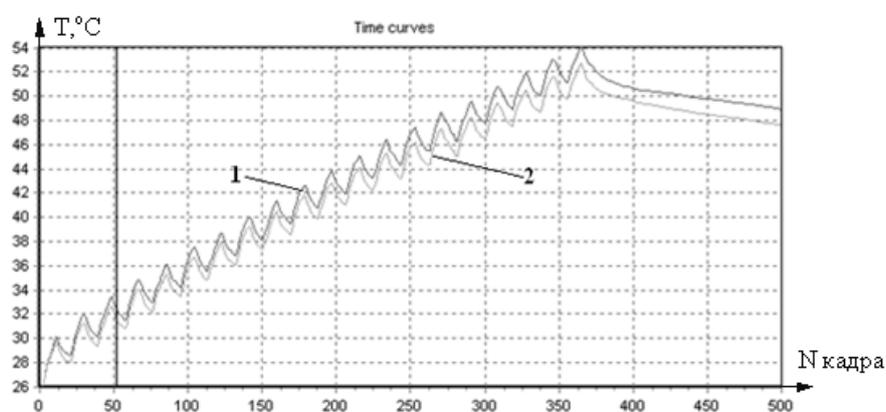


Рис. 3. Изменение средней температуры в дефектной и бездефектной зонах

Компьютерную обработку данных проводили с помощью программы ThermoLab. Предварительный этап анализа включал выделение области интереса и удаление из исходной последовательности некоторых кадров так, чтобы присутствовало целое число периодов (в данном случае 18). Целое число периодов необходимо для последующего корректного выполнения преобразования Фурье.

Основное отличие Фурье-преобразования, используемого в тепловом контроле, от стандартных процедур обработки двумерных изображений заключается в его «одномерности», поскольку оно применяется к временному развитию сигналов. Таким образом, Фурье-анализ в тепловом контроле используют для исследования температурной динамики в последовательностях инфракрасных изображений. Определенная трудность в интерпретации изображений фазы (фазограммы) и амплитуды (амплиграммы) в Фурье-пространстве состоит в том, что результаты преобразования Фурье зависят как от величины интервала оцифровки температурных данных, так и от числа этих интервалов.

Фазограмма и амплиграмма, полученные в результате применения преобразования Фурье, представлены на рис. 4 и 5 соответственно. Максимальное значение отношения сигнал-шум для изображений фаз и амплитуд было отмечено в 18-м изображении (рис. 6).

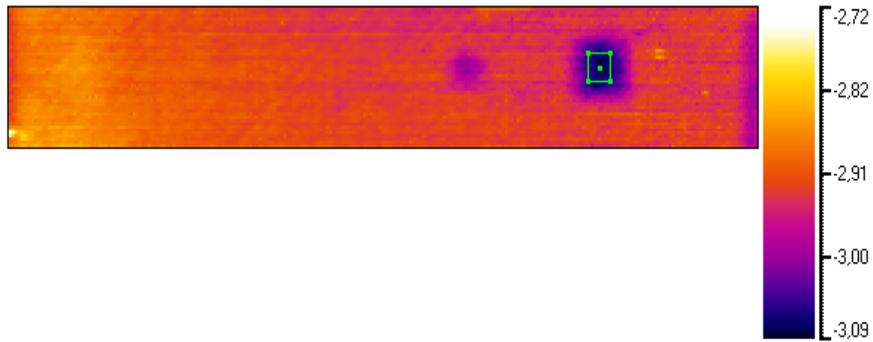


Рис. 4. Изображение фазы (18-я гармоника)

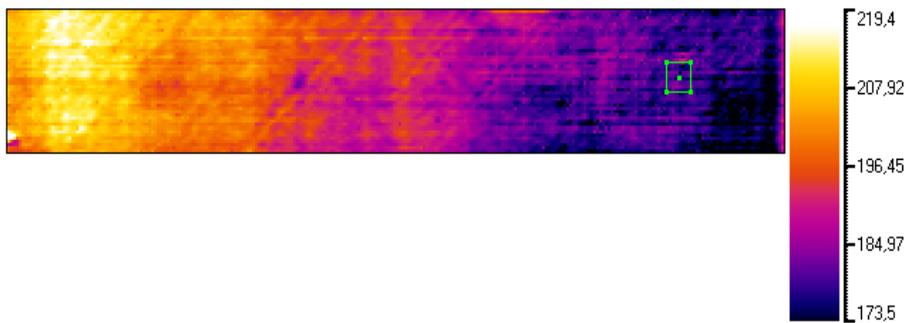


Рис. 5. Изображение амплитуды (18-я гармоника)

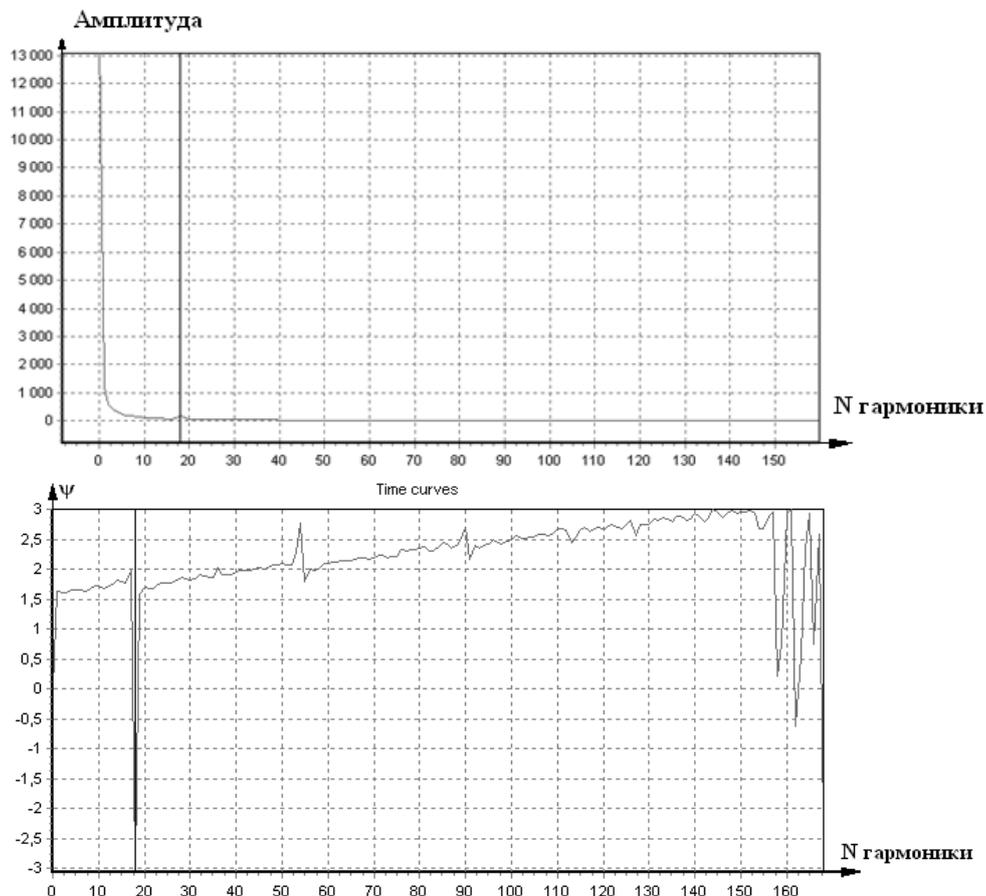


Рис. 6. Амплитудный и фазовый спектры преобразования Фурье

Таким образом, при использовании метода тепловых волн с последующим Фурье-анализом, была повышена достоверность выявления расслоений в углепластиковом композите.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Композиционные материалы: справ. / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Таранопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.; ил.
2. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: Спектр, 2009. – 544 с.
3. Нестерук Д.А., Вавилов В.П. Тепловой контроль и диагностика: учеб. пособие для подготовки специалистов I, II, III уровня. – Томск, 2007. – 104 с.
4. Лаборатория тепловых методов контроля. Томск. – URL: <http://tndtsoft.ru/index.php/ru>

Поступила 02.04.2014 г.