

УДК 668.3 : 539.4

ТЕПЛОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ СОЕДИНЕНИЙ НА КЛЕЯХ

Попов В.М., Дорняк О.Р., Кондратенко И.Ю., Лазебный М.Д.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Email: ordornyak@mail.ru

Аннотация: Для осуществления неразрушающего контроля качества соединений на клеях предлагается тепловой метод, в основу которого заложен эффект взаимосвязи теплофизических свойств (коэффициент теплопроводности) с внутренними напряжениями, возникающими в клеевых швах в процессе полимеризации клея. Метод позволяет путем определения коэффициента температуропроводности клеевой прослойки прогнозировать формирование внутренних напряжений, являющихся основными поставщиками макродефектов в клеевых швах. Использование предлагаемого метода дает возможность получить кинетические данные по развитию внутренних напряжений.

Ключевые слова: дефектоскопия, неразрушающий контроль, температура, клеевые соединения, внутренние напряжения, коэффициент температуропроводности.

THERMAL FLAW DETECTION OF JOINTS ON ADHESIVES

Popov V.M., Dorniyak O.R., Kondratenko I.Yu., Lazebny M.D.

Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov»

E-mail: ordornyak@mail.ru

Summary: to perform non-destructive quality control of compounds on adhesives, a thermal method is proposed, which is based on the effect of the relationship of thermal properties (thermal conductivity coefficient) with internal stresses that occur in the adhesive seams during the glue polymerization process. The method allows us to predict the formation of internal stresses, which are the main suppliers of macrodefects in the adhesive seams, by determining the coefficient of thermal conductivity of the adhesive layer. Using the proposed method makes it possible to obtain kinetic data on the development of internal stresses.

Keywords: flaw detection, nondestructive testing, temperature, adhesive connections, internal stresses, thermal conductivity coefficient.

Развитие таких наукоемких областей техники как космонавтика, самолетостроение, автомобилестроение, судостроение связано с широким применением полимерных клеев, используемых для создания клеевых соединений [1-3].

Технологию создания клеевых соединений во многих случаях нельзя признать совершенной, что является причиной появления дефектов в конструкциях с клеевыми соединениями. Отсюда растут требования к выявлению различного рода дефектов в соединениях, которые снижают основной показатель качества клеевых соединений, а именно их прочность. В целях совершенствования дефектоскопии, позволяющей выявлять такие дефекты, как непроклеи, пористость клеевых швов, раковины разрабатываются принципиально новые методы контроля качества клеевых соединений.

В условиях производства особый интерес представляют методы неразрушающего контроля качества клеевых соединений. На сегодняшний день разработаны в отечественной и зарубежной практике две группы неразрушающего контроля качества склеивания.

К первой группе относятся звуковые (акустические) методы. Основой этого метода является ультразвуковая дефектоскопия [4]. С помощью этого метода появляется возможность обнаружения без разрушения клеевого шва непроклеев и мест, где имеются концентрации с повышенной пористостью.

К первой группе методов неразрушающего контроля относятся также радиоскопические методы [5]. Радиоскопические методы в основном применяются для контроля качества склеек поверхностей простой геометрической формы.

В последнее время сделаны попытки по разработке оптических методов неразрушающего контроля, для чего используются полярископы. При реализации этого метода на склеиваемые поверхности наносится специальный оптический чувствительный состав, который при деформации субстрата изменяет цвет. Этот метод позволяет выявлять места концентрации напряжений. Возможность выявления мест с повышенной концентрацией напряжений представляет особую перспективность данного метода.

К методам второй группы относятся термографические, деформационные, рентгенодефектоскопические методы, в основе которых заложены задачи обнаружения непроклеев и изменений непосредственно в клеевом шве [6].

Из анализа предлагаемых методов неразрушающего контроля качества клеевых соединений можно сделать следующий вывод.

В основном предлагаются разработанные способы выявления макроде-

фектов типа непроклеев, пористости. В тоже время практически отсутствуют предложения по выявлению структурных изменений в клеевых швах соединений, которые зачастую являются основой дефекта клеевого соединения. Основной негативный вклад в такого рода соединения вносят внутренние напряжения, формируемые в процессе создания соединений на клеях.

Ранее проведенными исследованиями [7-9] установлено существенное негативное влияние, которое оказывают внутренние напряжения на прочность клеевых соединений конструкций.

На сегодняшний день разработан ряд способов экспериментального определения внутренних напряжений на образцах [10, 11], в основу которых заложен эффект от возбуждения в контролируемом изделии упругих колебаний звукового или ультразвукового диапазона. Однако применение этих способов ограничивается их низкой разрешающей способностью.

В данной статье предлагается метод тепловой диагностики, в основу которой заложена взаимосвязь между теплофизической характеристикой ν , роли которой выступает коэффициент температуропроводности α клеевой прослойки, и величиной её внутренних напряжений σ_B .

Для определения коэффициента температуропроводности клеевой прослойки выбран метод двух температурно временных интервалов [12], позволяющий определять теплофизические характеристики неметаллических материалов. Метод относится к категории нестационарных, что позволяет ускорить процесс определения параметра на образцах с тонкослойным полимерным материалом. Экспериментальная установка в модернизированном варианте представляет собой систему из электронагревателя и теплоприемника, между которыми помещается исследуемый образец в виде диска диаметром 30 мм заданной толщины. Показания термопар фиксируются гальванометром. Боковые поверхности рабочей ячейки теплоизолированы. Образец находится под постоянной нагрузкой. Расчетные операции проводятся согласно методическим данным из работы [12].

Второй искомый параметр, в качестве которого выступают внутренние напряжения в клеевой прослойке, находится по разработанному ранее методу [13], в основу которого заложены напряжения консольного метода [14], в котором рассматривается клеевая прослойка между двумя пластинами разной толщины.

Используемый метод имеет существенное преимущество перед рассмотренными выше.

Появляется возможность получать данные по формированию внутренних напряжений в клеевых швах в форме кинетических кривых, что позволяет проследить во временном режиме изменение внутренних напряжений.

Одновременное определение коэффициента температуропроводности и внутренних напряжений в процессе отверждения клеевой прослойки позволит реализовать основы неразрушающего контроля качества клеевых соединений, для чего экспериментальным путем находится взаимосвязь между коэффициентом температуропроводности и внутренними напряжениями клеевой прослойки.

В качестве объектов исследований использовались клеи марки ВК-32-200 (резольный олигомер бутадиен-нитрильный каучук, как отвердитель) и ВК-9 (олигомер ЭД-20 с отвердителем полиамидом ПО-300). Исследовались клеевые прослойки различной толщины в процессе отверждения. В качестве субстратов использовалась сталь марки 1Х18Н9Т.

Полученные в процессе проведенных испытаний результаты представлены в таблице 1. Анализируя данные можно видеть, что полученные результаты по коэффициентам температуропроводности и внутренним напряжениям клеевых прослоек, их зависимость от времени отверждения $\alpha = f(\tau)$ и $\sigma_B = f(\tau)$ позволяют при известных значениях коэффициента температуропроводности осуществлять диагностику формирования внутренних напряжений клеевых соединений. При этом можно учитывать влияние толщины прослойки.

Таблица 1 – Взаимосвязь между коэффициентом температуропроводности и внутренними напряжениями клеевых прослоек в процессе отверждения

Марка клея	Время отверждения τ , час.	Коэффициент температуропроводности α , м ² /час		Внутренние напряжения клеевых прослоек σ_B МПа	
		$\delta = 0,3$ мм	$\delta = 0,7$ мм	$\delta = 0,3$ мм	$\delta = 0,7$ мм
ВК-9	3	2,2	1,9	18	46
	5	2,1	1,8	26	50
	10	2,05	1,45	44	53
	20	1,9	1,1	52	56
ВК-32-200	3	2,0	1,85	15	42
	5	1,9	1,65	24	47
	10	1,75	1,4	41	46
	20	1,7	1,35	48,5	51

(δ – толщина клеевой прослойки)

Из полученных результатов следует, что с увеличением толщины прослоек растут внутренние напряжения, что объясняется возрастанием времени по-

лимеризации растворителя. При этом снижаются значения коэффициента температуропроводности. Подобные корреляции остаются неизменными для различных по природе клеев.

Для соединений на основе клея ВК-32-200 аппроксимацией приведенных в таблице данных получено уравнение вида:

$$\sigma_B = 7,78\alpha^2 - 66\alpha + 134,6.$$

Для практической реализации предлагаемого теплового метода неразрушающего контроля качества клеевых соединений необходимо проведение комплексных исследований по взаимосвязи теплофизических свойств и внутренних напряжений. Полученный таким образом банк данных позволит создавать соединения на клеях с заданными характеристиками, исключая дефекты в клеевых швах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-08-00165).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кардашов, Д. А. Полимерные клеи / Д. А. Кардашов, А. П. Петрова // М. : Химия, 1983. – 256 с.
- 2 Кейгл Ч. Клеевые соединения / Ч. Кейгл // М. : Мир, 1971. – 205 с.
- 3 Вильнав, Ж. Ж. Клеевые соединения / Ж. Ж. Вильнав. // М. : Техносфера, 2007. – 380 с.
- 4 Kammerer C. C. Ultrasonic Evaluation of Adhesive. Bonded Sandwich Structures // ASTM Special Technical Publication. 1959. – № 278. – Pp. 78-81.
- 5 Adams R. D., Comyn J., Waks W. C. Structural Adhesive Joints in Engineering. Charm and Nail, London. 1997.
- 6 Hart-Smith L. J In Adhesion Science Engineering. The Mechanism of Adhesion. Dillard D. A., Pocius A. V. Elsevier Amsterdam, 2002.
- 7 Фрейдин, А. С. Прочность и долговечность клеевых соединений / А. С. Фрейдин // М. : Химия, 1981. – 272 с.

8 Гольдман, А. Я. Прочность конструкционных полимеров / А. Я. Гольдман // Л. : Машиностроение, 1979. – 320 с.

9 Фрейдин, А. С. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины / А. С. Фрейдин, К. Т. Вуба // М. : Лесная промышленность, 1980. – 223 с.

10 Санжаровский, А. Т. Внутреннее сопряжение в полимерных прослойках / А. Т. Санжаровский // Высокомолекулярные соединения. 1968. Т.2. – № 11. – С. 211-214.

11 Зубов, П. И. Определение внутренних напряжений при формировании желатиновых пленок / П. И. Зубов, Л. А. Лепилкина // Коллоидный журнал. 1961. – Т. 23. – № 4. – С.18-22.

12 Волькенштейн, В. С. Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов / В. С. Волькенштейн // Ленинград: Энергия, 1971. – 145 с.

13 Попов, В. М. Метод контроля качества композиционного материала класса «препег» / В. М. Попов, Н. Е. Песков, Е. Н. Лушникова // Дефектоскопия. 1994. – № 1. – С. 50-51.

14 Иволгин, В. Я. Определение напряжений в клеевом слое, возникающих вследствие усадочных явлений при склеивании металлов / В. Я. Иволгин // Механика полимеров. 1970. – № 1. – С. 53-57.