Р. В. Дударев, А. С. Шатохин
R. V. Dudarev, A. S. Shatochin

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ АНИЗОТРОПНЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ НА БАЗЕ PIC16F877

THE AUTOMATED DEVICE FOR MEASUREMENT OF THERMAL FACTORS ANISOTROPIC CARBON FIBRE REINFORCED PLASTIC ON BASE PIC16F877

Барнаул, Алтайский государственный университет
Barnaul, Altai State University

Abstract

The carbon fibre reinforced plastics (CFRP), widely used in aviation, space and mechanical engineering have sharply expressed anisotropy of properties connected to orientation reinforced fibres. It is assumed, that thermal factors will depend also on a way of stacking of fibres. For studying influence of structure CFRP on thermal factors automatic device on base PIC16F877 is developed. The device consist of three parts: the measuring cell, the measuring-managing block, the computer. The measuring cell represents two plates CFRP between which the researched sample is located. In the bottom plate the heater and sensor is located. Measuring-managing block is the basis of microcontroller PIC16F877. It is responsible for power off and on of a heater and preliminary processing of signals of sensors. The sensors are NTC thermistors. The received data of changing temperature on interface RS-232C are transferred into the computer. Distribution of a thermal wave to a sample is described by theoretical model infinite in all sides isotropic bodies with a dot instant source of heat. It is possible to calculate thermal factors after processing on the computer with use of this model.

Углепластики, широко используемые в авиа- и машиностроении имеют резко выраженную анизотропию свойств, связанную с ориентацией армирующих волокон. Для анализа влияния технологических параметров производства углепластиков на их свойства необходимы объективные методы контроля параметров, в частности коэффициентов тепло- и температуропроводности. В нашем случае исследуемые образцы углепластиков представляют собой так называемую полимерную матрицу, армированную с помощью углеродных волокон. Так как плетение волокон может быть весьма разнообразным, среда характеризуется параметрами, зависящими от направления. Естественно предположить, что коэффициенты тепло- и температуропроводности также будут зависеть от способа укладки волокон. К тому же коэффициенты тепло- и температуропроводности могут зависеть от температуры окружающей среды.

Для изучения влияния структуры углепластика на теплофизические коэффициенты разработана автоматизированная установка на базе PIC16F877, позволяющая получать пространственное распределение коэффициентов тепло- и температуропроводности в неоднородных углепластиках при комнатных температурах.

Для получения коэффициентов тепло- и температуропроводности используется импульсный метод [1], заключающийся в следующем: после кратковременного локального теплового воздействия на образец измеряется перегрев материала в определенных точках. На основе полученных данных изменения температуры по выбранной математической модели осуществляется вычисление требуемых коэффициентов. В качестве математической модели исследуемого процесса принята модель бесконечной во все стороны однородной среды с точечным нагревателем. Начальная температура среды везде одинакова. Действует точечный мгновенный источник тепла, на бесконечном удалении от источника температура постоянна [2].

Практическая реализация этой теоретической модели подразумевает наличие образца среды конечных размеров, нагревателя, датчика температуры и системы обработки данных. Установка состоит из следующих основных частей: измерительной ячейки, измерительно-управляющего блока, ЭВМ. Измерительная ячейка представляет собой две пластины углепластика УТ/900 УОЛ размерами 100×100×23,45 мм, между которыми помещается исследуемый образец. Исследуемые образцы различных углепластиков имеют форму параллелепипедов размерами 100×100 мм и толщину от 1 до 5 мм. Так как образцы имеют толщину, соизмеримую с расстояниями на которых производятся измерения, то для приближения условий эксперимента к теоретической модели, достижение необходимого увеличения объема среды осуществлено использованием двух буферных пластин углепластика с аналогичными тепловыми характеристиками. Буферные элементы представляют собой углепластик УТ/900 УОЛ с наполнителем ЭНФБ с габаритными размерами 100×100×23,45 мм. Исследуемый образец помещается между верхней и нижней пластинами. Это позволяет достичь объема углепластика не менее 469 см^3.

@2002, электронная версия подготовлена ЗАО АВТЭКС Санкт-Петербург, http://www.autex.spb.ru

В нижней пластине, перпендикулярно центру большей грани, размещены нагреватель и датчики. Нагреватель представляет собой медный цилиндр диаметром 5 мм, длиной 30 мм, с намотанной на нем спиралью из нихрома с сопротивлением 1кОм. Торец нагревателя и датчики находятся в плоскости большой грани. В качестве датчиков решено использовать терморезисторы СТ3-18 диаметром 0,5 мм с постоянной времени не более 1 секунды и коэффициентом энергетической чувствительности 0,05мВт, что практически позволят измерять температуру образца в точке. Схема расположения датчиков в пластинах представлена на рис.1.

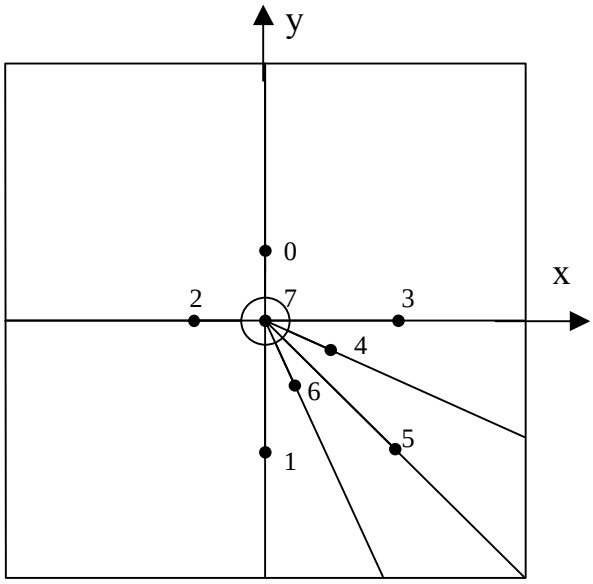

Рис.1. Схема расположения датчиков в буферных элементах.

Fig.1. The position of sensors and heater in measuring cell.

Для получения абсолютных значений температуры датчиков проведена градуировка установки. При градуировке измерительная ячейка и термометр помещались в термошкаф где после установления теплового равновесия снимались показания датчиков и термометра. Погрешность установки при обработке электрических сигналов с датчиков определяется в основном погрешностью АЦП микроконтроллера и составляет ±0,0098 Вольт, погрешность термометра ±0,05^{0}С. Прогрев ячейки осуществлялся с помощью термоэлементов шкафа, нагреватель ячейки не использовался. Полученные описанным выше способом градуировочные кривые приведены на рис. 2.

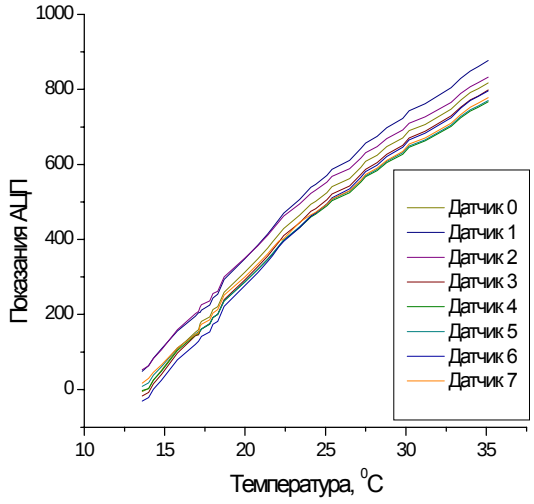

Рис.2. Семейство градуировичных кривых датчиков.

Fig.2. The graduation curves of sensors.

Для получения аналитических зависимостей экспериментальные кривые обработаны методом МНК. Перевод показаний АЦП в температуру осуществляется на IBM PC по формулам:

$$T = t_0 + A\exp\left(АЦП \big/ B\right),$$

где T – температура, АЦП – показания АЦП; параметры формулы – t_0, A, B представлены в таблице.

	Датчик0	Датчик1	Датчик2	Датчик3	Датчик4	Датчик5	Датчик6	Датчик7
t_0	-0,06	-4,85	-1,18	-1,39	-1,85	-3,59	-2,81	-3,75
A	13,5	17,4	13,6	14,9	15,2	16,8	16,7	16,7
B	849	1053	845	894	861	919	969	919

Измерительно-управляющий блок выполнен на микроконтроллере PIC16F877, имеющем встроенный 8-ми канальный 10-ти разрядный АЦП. Одно преобразование осуществляется около 20 мкс, что позволяет обойтись без устройств выборки-хранения, так как типичное время процессов распространения тепловой волны в исследуемых образцах составляет единицы секунд. Причем динамическая ошибка преобразования обрабатываемых сигналов менее $0{,}3\cdot10^{-3}$ %. Выбор каналов для получения цифрового кода осуществляет микроконтроллер, время переключения не превышает 12 мкс. Время дискретизации сигнала задается программно и позволяет получить до 31250 отсчетов в секунду или 3906 полных циклов опроса восьми датчиков.

Программа управления микроконтроллером осуществляет включение/выключение нагревателя измерительной ячейки, преобразует аналоговые сигналы в цифровую форму и передает их в ЭВМ. Прием/передача данных между измерительно-управляющим блоком и PC производится с помощью интерфейса RS-232C. При скорости обмена 115200 бод можно провести 607 полных циклов измерений. В нашем случае спектр сигналов датчиков не содержит частот выше 4 Гц, поэтому достаточно 8 полных циклов измерений в секунду. На рис 3. показана типичная картина сигналов датчиков, получающаяся при воздействии теплового импульса нагревателя на образец.

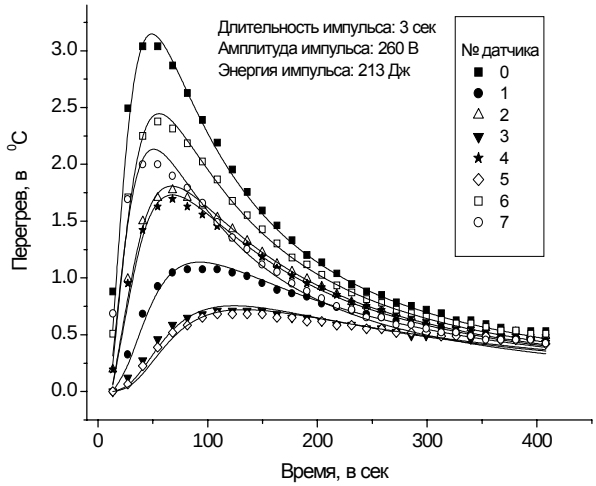

Рис.3. Эволюция показаний температурных датчиков после теплового импульса.

Fig.3. Evolution of indications of temperature sensors after a thermal pulse.

Управление режимом работы ИУБ, контроль его функционирования, прием и обработка данных осуществляется с помощью программы работающей на PC. Программа позволяет выдерживать определенный заранее план проведения эксперимента, т.е. включать/выключать нагреватель на определенное время через заданные промежутки времени, изменять частоту дискретизации сигналов, выдерживать заданную паузу до проведения следующих измерений. Пауза необходима для установления теплового равновесия в ячейке. Кроме того, программа осуществляет запись полученных данных в файл для последующей обработки.

После обработки на ЭВМ с использованием описанной выше теоретической модели получена картина распределения коэффициента температуропроводности по углам, показанная на рис.4.

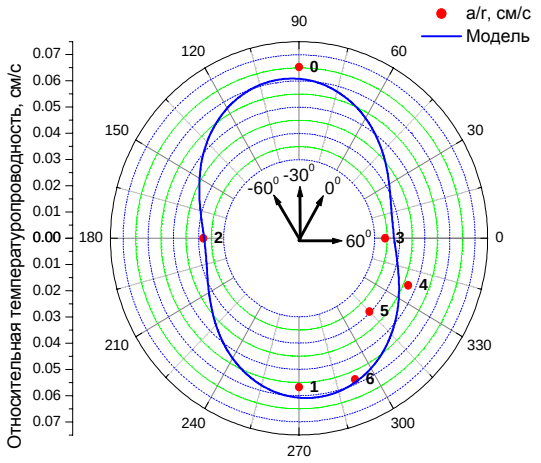

Рис.4. Распределение относительного коэффициента температуропроводности по углам.

Fig.4. Distribution of relative factor heat conductivity on corners.

Результаты

1. Разработанная установка позволяет регистрировать температуру образца в восьми точках в пределах от 15 ^{0}C до 35 ^{0}C с точностью до 0.04 ^{0}C с частотой до 31 кГц.
2. Использованная модель распространения тепла от мгновенного точечного источника в бесконечное изотропное тело позволяет определить функциональную зависимость коэффициента температуропроводности *a* в плоскости источника от направления армирования поверхностного слоя углеродным волокном.
3. Коэффициент температуропроводности *a* не зависит количества теплоты, переданной нагревателем телу. Это говорит о слабой зависимости теплоемкости материала в исследуемом интервале температур.

Литература

1. А.И.Петхович и В.М.Жидких. Расчеты теплового режима твердых тел. Л., «Энергия», 1976.-352 с.
2. А.И.Петхович и В.М.Жидких. Расчеты теплового режима твердых тел. Л., «Энергия», 1976.-352 с.