

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОДУЛЬНИЙ ДИЛАТОМЕТР З ВЕРТИКАЛЬНИМ РОЗТАШУВАННЯМ КАМЕР

Введение

Композиционные материалы (КМ) на полимерной основе постепенно занимают все большее место в нашей жизни. Области применения композиционных материалов многочисленны. Кроме авиационно-космической, ракетной и других специальных отраслей техники, они могут быть успешно применены в энергетическом турбостроении, в автомобильной, судостроительной, горнорудной, металлургической промышленности, в строительстве и т. д. Диапазон применения таких композитов постоянно увеличивается, поэтому можно утверждать, что это материалы будущего.

В настоящее время полимеры и материалы на их основе серьезно потеснили такие основные конструкционные материалы, как железобетон, металл, дерево. Возможности применения композитных материалов чрезвычайно широки благодаря многообразию полимеров и наполнителей, неисчерпаемой вариативности составов композитов на их основе и методов их модификации [1].

Постановка проблемы

При разработке, испытаниях и внедрении новых материалов важное значение имеет возможность достоверного, оперативного и относительно недорогого исследования их свойств. При этом наибольшей ценностью обладают методы и оборудование, позволяющие, с одной стороны, с хорошей точностью измерять наиболее важные показатели свойств полимерных композитных материалов (ПКМ), с другой стороны, служащие инструментом для исследования структурных превращений и физико-химических процессов, которые могут развиваться в условиях эксплуатации материалов. Используя такие методы и оборудование, можно решать широкий спектр задач по оптимизации состава, технологии изготовления и прогнозирования свойств разрабатываемых материалов.

Обзор литературы

Для ПКМ конструкционного назначения основное внимание исследователей привлекают физико-механические свойства материалов [2–6]. Не менее важны сведения и о температурном расширении, особенно с учетом того, что дисперснонаполненные или армированные пластики обладают анизотропией свойств. Наиболее востребованными являются сведения о деформациях, характеризуемых температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) в широком интервале температур [2, 6, 7]. Поэтому термическое расширение твердых тел, в том числе и ПКМ, имеет чрезвычайно большое значение в технике. Оно приводит к изменению размеров деталей конструкций при их нагреве или охлаждении, вследствие чего возникает возникновение механических напряжений, особенно на стыках деталей, может нарушать нормальное функционирование устройств или даже приводить к их разрушению.

Также интерес к дилатометрическим исследованиям материалов обусловлен тем, что любые фазовые превращения в композите зачастую связаны с изменениями структуры, которые в свою очередь практически всегда связаны с изменением ее параметров. При этом чувствительность к изменениям макропараметров образца в дилатометрических установках оказывается гораздо выше, чем чувствительность прямых методов, таких как рентгеновские или нейтронографические [2–4].

Однако измерение ТКЛР является непростой проблемой в прикладных исследованиях, так как приборы (дилатометры) зачастую не обеспечивают необходимой чувствительности и достоверности измерений. При этом они не предназначены для проведения больших объемов исследований из-за большой трудоемкости измерений. Кроме этого, следует заметить, что лучшие из существующих образцов измерительной техники, как правило, зарубежного производства очень дороги.

В настоящее время существует большое количество отечественных и зарубежных экспериментальных установок для проведения дилатометрических измерений [8–11]. Однако при их использовании исследователи сталкиваются с огромной трудоемкостью и большой продолжительностью проведения измерений. Обычно за один рабочий день удается провести измерения в широком интервале температур не более чем для одного-трех образцов. При такой работе часто возникают ошибки, связанные с невнимательностью оператора. Помимо этого, несовершенство систем регистрации микроперемещений и методов обработки получаемой с их помощью информации существенно понижают точность измерений, что особенно критично для материалов, обладающих малыми значениями ТКЛР. При этом существует достаточное количество зарубежных дилатометров, которые позволяют проводить исследования в автоматическом режиме без участия оператора. К примеру, зарубежные фирмы Theta Industries Inc [12],

Netsch [13], Orton [14], ДИЛ, GST производят различные типы дилатометров, в том числе позволяющие производить измерения в вакууме, с высокими скоростями нагрева и т.д. При этом стоимость подобных установок, имеющих сегодня на рынке, составляет от 6 тыс. \$ (китайского производства) до порядка 100 тыс. \$ (американского и европейского производства), что является, в силу экономических трудностей, неприемлемым для подавляющего большинства отечественных исследователей. Не удивительно, что время от времени появляются работы, описывающие новые дилатометрические установки.

Поэтому для измерения теплового расширения при нагревании образцов композитных материалов на полимерной основе малых и средних размеров нами была поставлена задача сконструировать установку, которая отвечает современным требованиям проведения исследований ПКМ.

Цель работы – сконструировать модульный дилатометрический измерительный комплекс с учетом выбора современных технических решений.

Исходя из изложенного выше, задачи реализации современных технических решений состоят в следующем:

- устройство должно работать в условиях обычной исследовательской лаборатории, т. е. без мощных промышленных наводок, агрессивных сред и повышенных требований к надежности;
- сборочные единицы устройства недороги, не содержат дефицитных компонентов и должны быть изготовлены в кратчайшие сроки;
- создать алгоритм, автоматизирующий работу модульного дилатометра с вертикальным расположением камер;
- разработать универсальный и оперативный алгоритм сбора и обработки данных в виде автоматизированного измерения параметров для вычисления термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР) образцов.

Результаты

В лаборатории «Полимеркомпозитные материалы в судостроении» Херсонской государственной морской академии разработан прибор, который отвечает современным требованиям исследования ПКМ в условиях воздействия теплового поля, схема которого изображена на рис. 1.

Дилатометр состоит из **механической части, измерительного и приборного блоков**. **Механическая часть** включает: монтажную плиту 1, на которую крепятся унифицированные нагревательные модули. Каждый модуль имеет керамическое основание 2 с направляющими 3 для центровки образцов и цилиндрическую электрическую печь сопротивления 4. Последняя состоит из алюминиевой трубки с наружными винтовыми канавками, покрытыми тонким слоем электроизоляции 5, служащими для укладки фехральной обмотки 6. Снаружи нагревательного элемента нанесен более толстый слой теплоизоляции 7. Сверху электрическая печь сопротивления снабжена кольцевой прокладкой 8 для более плотного прилегания керамических двойных створчатых крышек 12 с целью уменьшения тепловых потерь. Последние крепятся к тонкому стальному корпусу каждого модуля и имеют по бокам в центральной части полуокружности 13, образующие при закрытии крышек отверстия, предназначенные для прохода кварцевого толкателя. Над приборным отсеком расположена консоль 16, прикрепленная к механизму вертикального движения. Этот механизм с помощью электропривода, приводящего в действие электромотором 15, обеспечивает заданные перемещения дымосборных камер 20 со встроенными в них датчиками 17. Функцию охладителя исполняют вентиляторы (кулера) помещенные в диффузоры 19, привинченные на задней внутренней стенке прибора, которые отбирают часть теплового потока от печей электрического сопротивления, предохраняя таким образом пластмассовые вентиляторы от чрезмерного перегрева и, соответственно, вероятного выхода их из строя, а также обеспечивают направление охлаждающего потока воздуха на стенки печей. Для отвода и устранения дыма и прочих продуктов сгорания, которые могут образовываться в процессе физико-химических превращений испытуемого материала под воздействием температуры, на передвижной консоли с помощью фиксаторов установлены дымосборники (дымоотводная камера) 20. Дымосборники состоят из:

- цилиндрической камеры со встроенной в нее кварцевой передающей системой, в виде жестко закрепленной кварцевой трубки 22 диаметром 8 мм, расположенной на головке индикатора перемещений;
- отверстия для отвода дыма 23, к которому герметично подсоединен отводной коллектор с вытяжным вентилятором 24;
- патрубка для отвода дыма 25.

На лицевой части дымосборника установлены два светодиодных индикатора 26: зеленый – оповещающий о работе системы в ждущем режиме, красный – сигнализирующий о начале процесса дымоотвода. В боковые части дымосборника встроены съёмные датчики газа и дыма (MQ-2 27), призванные отслеживать заданные критические объёмы дыма, выделяющиеся образцом в процессе нагревания. Для защиты от внешней среды выступающей части микросхемы датчика дыма были установлены съёмные защитные кожухи 28.

Основными частями **измерительного блока** являются: электронный цифровой индикатор перемещений 17 с USB разъемом для вывода данных 18. Температурный цифровой индикатор 35, соединенный с датчиком температуры ДТ-3Д, корпус которого изготовлен из латуни, имеет диаметр $d = 5$ мм и длину $l = 20$ мм. Спай расположен вблизи исследуемого образца с целью постоянной фиксации температуры внутри электрической печи и передачи данных

через усилитель-преобразователь сигналов 36 в микропроцессор 37, автоматизирующий процесс работы прибора. Цифровой вольтметр переменного тока $U = 220\text{ В}$ служит для вывода данных о напряжении, которое регулирует силовой модуль 33, дающий сигнал на цифровой индикатор для возможности установки требуемой нагрузки на электрические печи сопротивления. Это дает возможность выставлять необходимое время нагревания образца.

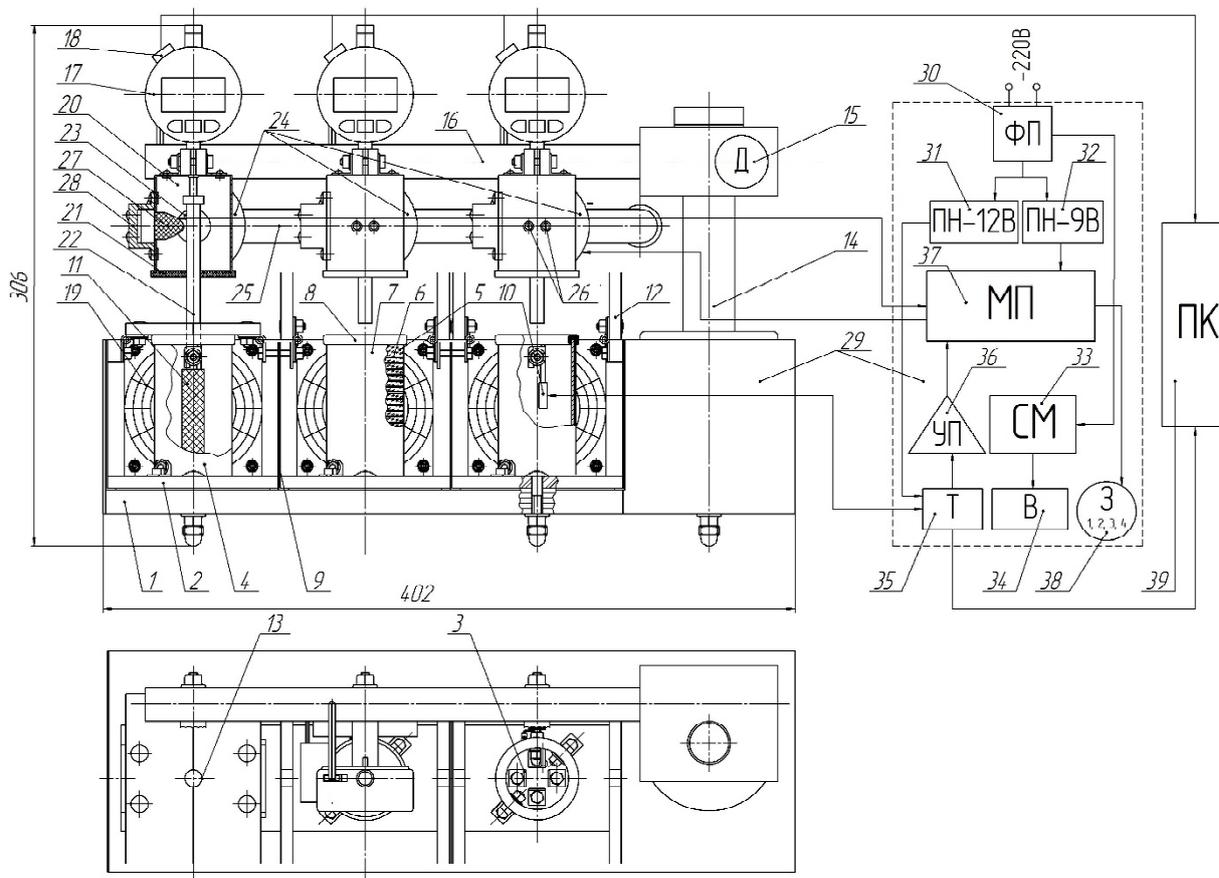


Рис. 1. Схема автоматизированного модульного дилатометра с вертикальным расположением камер:

1 – монтажная плата; 2 – керамическое основание; 3 – направляющие; 4 – электрическая печь сопротивления; 5 – внутренняя электроизоляция; 6 – фехралева спираль; 7 – внешняя термоэлектроизоляция; 8 – кольцевая прокладка; 9 – стенка; 10 – датчик температуры ДТ-3Д; 11 – образец; 12 – двойные створчатые крышки; 13 – полукруглое сквозное отверстие; 14 – стойка; 15 – электромотор; 16 – передвижная консоль; 17 – электронный цифровой индикатор перемещений; 18 – USB разъем для вывода данных; 19 – вентилятор охлаждения (кулер); 20 – камера-дымосборник (дымоотводная камера); 21 – уплотнение из тепло- электроизолирующего материала; 22 – кварцевая трубка; 23 – отверстие для отвода дыма; 24 – отводной коллектор; 25 – патрубок для отвода дыма; 26 – светодиодные индикаторы (зеленый, красный); 27 – датчик газа, дыма, MQ-2 для Arduino PIC ARM; 28 – защитный кожух датчика; 29 – приборный блок; 30 – фильтр помех; 31 – преобразователь напряжения 12В; 32 – преобразователь напряжения 9В; 33 – силовой модуль (регулятор напряжения); 34 – цифровой вольтметр переменного тока; 35 – температурный цифровой индикатор; 36 – усилитель-преобразователь сигналов; 37 – микропроцессор; 38 – зуммер; 39 – персональный компьютер

Приборный блок состоит из следующих компонентов. Фильтр помех 30 предназначен для сглаживания сетевых помех. Для аварийного отключения при подаче напряжения в приборе встроен предохранитель, который отключает питание в случае возникновения более крупных и сильных сетевых помех. Поскольку помехи создаются распределенной схемой в металлическом корпусе, фильтр размещен как можно ближе к сетевому шнуру с целью замкнуть ток помех внутри корпуса и соединить корпус с самым «чистым» местом схемы. Такое расположение фильтра является важным, поскольку в случае небольших искажений электропитания результаты исследования будут не достоверными, а прибор будет быстрее изнашиваться и при серьезных помехах может выйти из строя. Преобразователь напряжения $U = 12\text{ В}$ служит для питания температурного цифрового индикатора 31 и его датчика температуры ДТ-3Д 10, а также вентиляторов охлаждения (кулеров) 19. Преобразователь напряжения $U = 9\text{ В}$ (32) является источником питания для микропроцессора 37 и питающихся от него датчиков дыма, газа MQ-2 27. Для фазовой регулировки мощности, подающейся на электрические печи сопротивления, с целью управления нагревом, использовали силовой модуль

(регулятор напряжения, $P=2$ кВт), перепаиванный до максимального предела на выходе ($U=120$ В) с целью устранения критической силовой нагрузки, которая может вывести прибор из строя. На микропроцессор 37 приходится сервисные и высокоуровневые функции управления прибором, автоматизирующие рабочий процесс и делающие прибор автономным, не требующим для этого управления извне. На долю персонального компьютера (ПК) 39 положены интерфейсные функции. К нему подсоединены датчики перемещения через USB разъем, а также микропроцессор, через который поступает сигнал от термопар, регистрирующих температуру в печах. Это позволяет определять ТКЛР материалов, основываясь на совместном измерении изменения длины и температуры исследуемых образцов.

Исходя из этого, нами был разработан алгоритм автоматизации работы прибора (рис. 2), который позволяет упростить и ускорить работу над экспериментом [15–19].

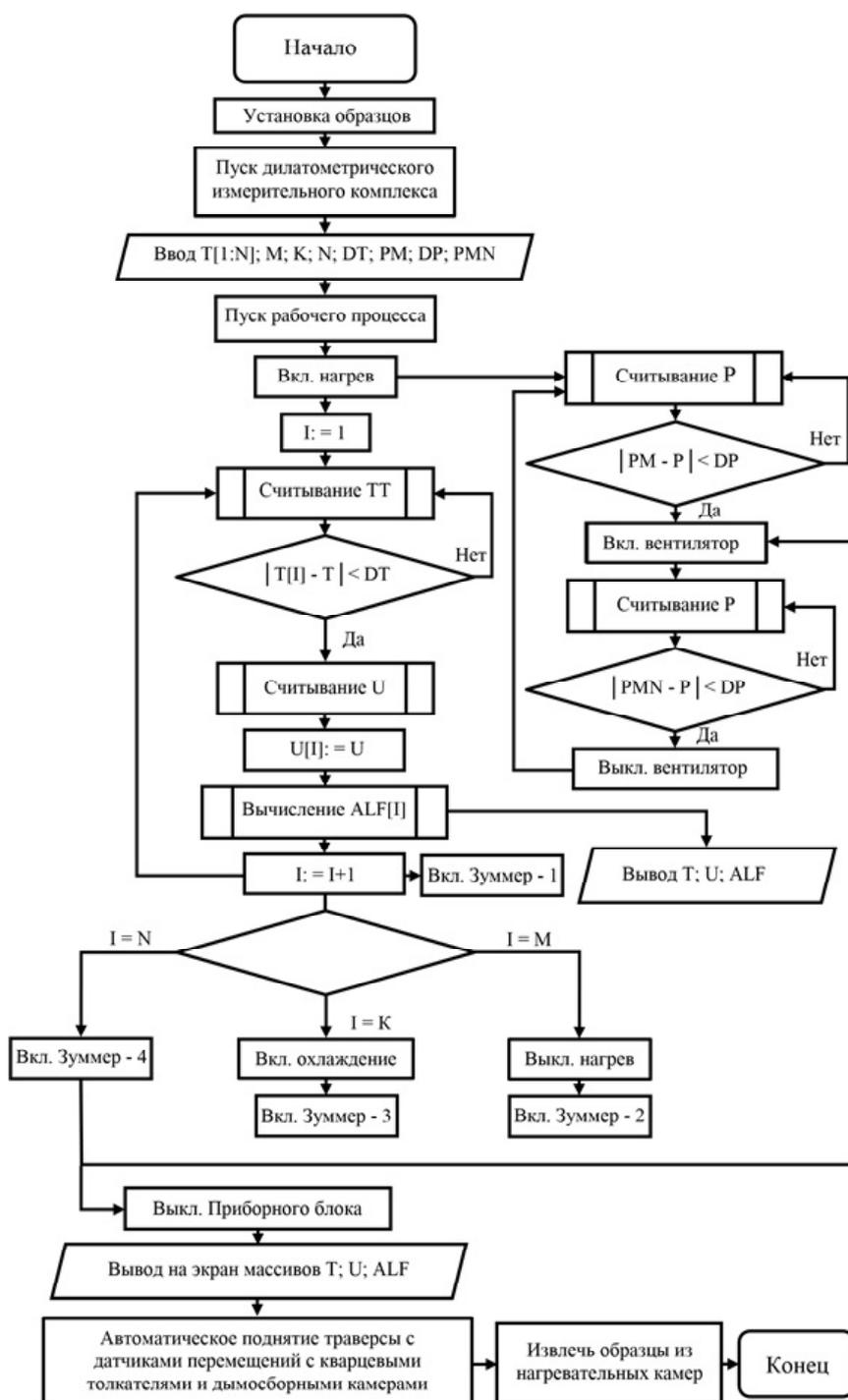


Рис. 2. Блок-схема работы автоматизированного модульного дилатометра с вертикальным расположением камер

Режимы, которые контролируют в процессе испытания образцов, следующие: $T[1:N]$ – массив для ввода значений температуры; $T[M]$ – наибольшая заданная температура; $T[K]$ – температура включения охлаждения; $T[N]$ – наименьшая (конечная) заданная температура; DT – предусмотренная точность измерения температуры; PM – максимальная концентрация дыма; DP – погрешность концентрации дыма; PMN – наименьшая концентрация дыма; $I = I+1$ – температурный шаг.

Измерительный dilatометрический комплекс работает следующим образом. В направляющие фиксаторы электрических печей сопротивления устанавливают образцы, которые сверху закрывают крышками. Затем включают установку. Траверса с электронными цифровыми индикаторами перемещений и дымосборниками, в которых встроены, в виде жестко закрепленных на головке индикаторов кварцевые толкатели, с помощью механизма подачи, опускаются на закрытые створчатые керамические крышки, через отверстия которых подводятся кварцевыми толкателями к образцам. После установки индикаторов, головки которых с помощью кварцевых толкателей контактировали с образцами, зафиксировали соответствующее перемещение – обнуляем их показания. С помощью регулируемого силового модуля выставляется необходимая скорость нагрева, через электрическое напряжение, данные о котором высвечиваются на цифровом вольтметре переменного тока. Таким образом, запускаем нагрев.

Нагрев образца. Пуск рабочего процесса dilatометрического измерительного комплекса в полной мере происходит только тогда, когда начинается нагревание печей электрического сопротивления.

Вместе с нагревом запускают процесс считывания данных с помощью датчиков температуры ДТ-ЗД при температурном режиме внутренней среды печей, где расположены образцы. Одновременно, в процессе измерения температуры происходит ее периодическое сравнение с установленными температурными параметрами рабочего режима ($T[1:N]$; K ; DT). Последние запрограммированы на микропроцессоре, который подает сигнал через USB разъем для вывода данных на персональный компьютер (ПК). При условии периодического сравнения температуры с заданным алгоритмом температурного режима (при этом нагрев происходит до температуры $I = 1$, что равно $T = 30$ °C) и выполняется условие $\%T[I] - T\% < DT$ (ДА) – данные, поступившие на микропроцессор, через USB разъем (для вывода данных) поступают на персональный компьютер (ПК). На ПК считываются показания из электронного цифрового индикатора, которые соотносятся с заданной температурой в массиве температурных значений. При этом оцифровываются получаемые аналоговые сигналы путем их компьютерной математической обработки - $ALF[I]$. Одновременно микропроцессор подает сигнал типа «зуммер 1», который с помощью непродолжительного звукового сигнала оповещает о достигнутой заданной температуре и начале процесса снятия необходимых данных.

Если условие $T[I] - T\% < DT$ не выполняется – (НЕТ), тогда процесс считывания температуры переходит в замкнутый контур и сравнивают температуру с заданными параметрами до тех пор, пока не получают значение, допускающее начало следующих заданных операций. Полученные температурные данные, прошедшие вышеописанный процесс, сразу же проходят следующий этап сравнения с еще одним заданным условием $I = I+1$ – температурным шагом. Если условие $I = I+1$ не выполняется (НЕТ), то процесс переходит в замкнутую систему, где считывание и постоянное сравнение температуры происходит до тех пор, пока не удовлетворяются все условия нижеописанных заданных параметров и не выполняются все операции, связанные с ними. Таким образом заданная операция в виде температурного шага $I = I+1$ имеет циклический характер и будет повторяться до тех пор, пока не выполнится последнее прописанное условие, а именно не будет достигнута $T_{max} = 197$ °C, являющаяся последней ступенью цикла нагревания.

Охлаждение. При условии выполнения процесса $I = I+1$ (ДА), температурные данные поступают в логический блок, где сравниваются с условием $I = M$. Если условие выполняется в процессе нагревания до порогового заданного значения, тогда нагрев автоматически выключается с сопровождением непродолжительного звукового сигнала «зуммера 2». Последний оповещает о начале процесса охлаждения. Алгоритм работы и характер процесса считывания данных остается тем же, что и при нагревании, продолжая считывать температуру охлаждения с быстро периодическим ее сравнением с температурными значениями в массиве данных для ввода – $T[1:N]$. Следует заметить, что в начале процесса охлаждения электрические печи сопротивления относительно равномерно охлаждаются сами по себе, отдавая тепло внешней среде, стремясь достичь с ней термодинамического равновесия. Однако, с понижением температуры в процессе охлаждения этот процесс все больше замедляется из-за тепловой инерционности сборочных единиц прибора. С целью ускорения охлаждения и придания ему более равномерного характера нами была задействована вышеописанная система охлаждения, которая автоматически включается после выполнения условия $I = K$. Данное условие запрограммировано на диапазон температур $\Delta T = 100$ °C с сопровождением непродолжительного звукового сигнала «зуммера 3».

Дымоотвод. Система дымоотвода является вспомогательной. Без нее прибор может работать и выполнять свои основные функции. Его основная задача – отвод дыма, выделенного испытуемым образцом при нагревании. Работает дымоотводная система следующим образом. При нагревании образца в процессе физико-химических реакций может выделяться дым, который в отличие от пыли, более грубодисперсной системы, практически не оседает под действием силы тяжести. Газы поднимаются вверх, просачиваясь сквозь зазор между кварцевым толкателем и отверстием закрытой створчатой керамической крышки, поступая в дымоотводную камеру со встроенным датчиком

MQ-2. В дымоотводной камере начинается процесс накопления дыма и газов, а датчик дыма и газов MQ-2 считывает их концентрацию – P , сравнивая с заданным условием $\%PM - P\% < DP$. Если заданное условие не выполняется (НЕТ), то процесс считывания концентрации дыма и газов переходит в замкнутый контур и сравнивается температура с заданными параметрами до тех пор, пока не получат значение, допускающее начало следующих заданных операций. Когда концентрация дыма и газов достигает максимальной заданной концентрации и выполняется условие (ДА), датчик подает сигнал на микропроцессор, включающий красный индикатор, оповещающий о начале процесса дымоотвода и запускающий вентилятор в отводном коллекторе. Последний работает, втягивая дым в патрубок для отвода до тех пор, пока концентрация не уменьшится до минимальных значений и не выполняется заданное условие: $\%PMN - P\% < DP$ – ДА.

Автоматическое выключение приборного блока. При охлаждении камеры до минимальной температуры, предусмотренной программой измерений ($T_1 = T_N$), происходит кратковременное включение вентиляторов для финальной очистки дымоотводной камеры от оставшегося дыма и газов, а затем выполняется полное отключение приборного блока.

Выводы

На основании проведенной работы можно констатировать следующее:

1. Разработан и изготовлен автоматизированный модульный dilatометр с тремя вертикально расположенными камерами для исследования температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) полимерных композитных материалов согласно ГОСТ – 15173-70 в виде стержней или квадратного поперечного сечения длиной $l = 50 \dots 70$ мм со следующими характеристиками: рабочий диапазон температур $\Delta T = 293 \dots 673$ К; максимально возможный перегрев в камере после выключения прибора (тепловая инерционность) $\Delta T = 3$ К; разрешающая способность $l = 1,0$ мкм; диапазон регистрируемых перемещений $l = 25,4$ мм (25400 мкм); суммарная ошибка $h = \pm 6$ мкм.

2. Разработан алгоритм, автоматизирующий работу модульного dilatометра с вертикальным расположением камер.

3. Предложены универсальные и оперативные алгоритмы сбора и обработки данных в виде автоматизированного измерения параметров для вычисления температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) образцов. Последний основан на измерении температуры внутренней среды печей, в которых находятся испытуемые образцы и одновременной фиксации их перемещений с помощью электронного цифрового индикатора, оцифровке получаемых аналоговых сигналов и их компьютерной математической обработке.

4. Разработана и автоматизирована вспомогательная система дымоотвода.

5. Для проведения измерений на автоматизированном модульном dilatометре с вертикальным расположением камер не требуется трудоемкая подготовка образцов. Также особенностью разработанного прибора является наличие троих вертикально расположенных камер нагрева в виде электрических печей сопротивления. Это означает, что производительность данного прибора в два раза выше по сравнению с обычными dilatометрами с двумя толкателями, в которых возможно исследование только одного образца.

Список литературы

1. Бондалетова Л. И. Б811 Полимерные композиционные материалы (часть 1) : учебное пособие / Л. И. Бондалетова, В. Г. Бондалетов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
2. Амитин Е. Б. Высокочувствительный dilatометр с мостовой схемой измерения емкости / Амитин Е. Б., Ковалевская Ю. А., Набутовская О. А. // ПТЭ. 1981. – № 4. – С. 207–211.
3. Pott R. Apparatus for measuring the thermal expansion of solids between 1.5 and 380 K / Pott R., Schefzyk R. // J. Phys. E: Sci. Instrum. 1983. – Vol. 16. – P. 444–449.
4. Capacity-based dilatometer cell constructed of fused quartz for measuring the thermal expansion of solids / [Neumeier J. J., Bollinger R. K., Timmins G. E. etc.] // Rev. Sci. Instrum. 2008. – Vol. 79. – 33903 p.
5. Polymer matrix composites: Soviet Advanced Composites Technology Series // Edited by R.E. Shalin, Series 4. London: Chapman & Hall, 1995. – 440 p.
6. Проблемы создания новых материалов для авиакосмической отрасли в XXI веке: Труды межотраслевой научно-практической конференции, 25–26 июня 2002 // М. : ФГУП «ВИАМ», 2002. – 124 с.
7. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии / [М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин и др.] ; Под общ. ред. А. А. Берлина. // СПб, Профессия, 2008. – 560 с.
8. W.J. Coumans Dilatometer for Use in Tensile Tests / W. J. Coumans, D. Heikens // Polymer, 1980. – Vol. 21. – №8. – P. 957–961.
9. Перепелкин К. Е. Температурные деформации углеродных волокон / К. Е. Перепелкин, А. Б. Геллер. // Мех композ. матер., 1980. – №2. – С. 350–354.
10. Шарипов И. З. Dilatометр для измерения теплового расширения образцов малых размеров. / И. З. Шарипов, Х. Я. Мулюков // Вестник УГАТУ. Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. – 2011. – Уфа : – Т. 15. – № 3 (43). – С. 109–111.
11. Бриндли К. Измерительные преобразователи. Справочное пособие / К. Бриндли – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 113 с.

12. Chemical Technology and Metallurgy, 2007. – Vol. 42. – № 3. – P. 285–290.
13. Волков Д. П. Приборы и методы для измерения теплофизических свойств веществ. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Теплофизические свойства веществ» / Д. П. Волков, В. А. Кораблев, Ю. П. Заричняк // СПб : СПб ГУ ИТМО, 2006. – 66 с.
14. Миклашевский Д. Е. Разработка и применение аппаратно-методического комплекса для измерений тепловых свойств горных пород при повышенных термобарических условиях : дисс. ... канд. техн. наук : 25.00.10 / Миклашевский Дмитрий Евгеньевич. – М., 2007. – 120 с.
15. ГОСТ 19.701–90 (ИСО 5807–85) [Электронный ресурс] «Единая система программной документации».
16. Алгоритм. Свойства алгоритма [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://pro-prof.com/archives/578>
17. Алгоритмы сортировки слиянием и быстрой сортировки [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://pro-prof.com/archives/813>
18. Рамбо Дж., Якобсон А., Буч Г. [Электронный ресурс] Режим доступа : [UML]- специальный справочник. – СПб. : Питер, 2002. – 656 с.
19. Шилов Н. В. Верификация шаблонов алгоритмов для метода отката и метода ветвей и границ / Шилов Н. В. // Моделирование и анализ информационных систем. – 2011. – Т. 18. – № 4. – С. 168–180.

Одержано 28.04.2016

© Д-р техн. наук **Букетов А.В., Сметанкін С.О., Юренін К.Ю., Алексенко В.Л.**

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

Buketov A., Smetankin S., Yurenin K., Aleksenko V.

Automated modular dilatometer with vertically located chambers
