

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

УДК 620.178

Многоканальная система исследования изотермической и термоциклической ползучести

А. В. Иванченко^а, Н. А. Долгов^б, Б. А. Ляшенко^б

^а Государственное научно-техническое предприятие “Радикал”, Киев, Украина

^б Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

На современной элементной базе разработана и изготовлена шестнадцатиканальная система для испытания образцов на изотермическую и термоциклическую ползучесть. Система позволяет в течение длительного времени проводить непрерывное измерение деформации, усилия и температуры, а также накапливать и хранить результаты экспериментов. При испытаниях образцы можно нагревать до температуры 1700°С. Благодаря изотермическим и термоциклическим испытаниям образцов с одновременным приложением растягивающей нагрузки можно имитировать работу элементов конструкций в условиях сложного изменения силовых и термических нагрузок.

Ключевые слова: ползучесть, изотермические и термоциклические испытания, аналого-цифровой преобразователь, модули сбора и обработки информации, деформация, усилие, покрытие.

Введение. Исследование механических свойств новых высокотемпературных материалов и покрытий является актуальной научно-практической задачей. Цель данной работы заключалась в разработке многоканальной системы для исследования на воздухе ползучести образцов при воздействии на них высоких температур. В основу системы положена современная элементная база, которая позволяет в течение длительного промежутка времени проводить непрерывное измерение деформации, усилия и температуры, а также накапливать и хранить результаты испытаний.

При испытаниях для нагревания образцов используется лучевой нагрев, который фокусируется с помощью эллиптических зеркал, применяемых в последнее время в различных областях науки и техники [1]. В работе [2] показано использование двух таких зеркал для фокусирования гауссового пучка в установке для импульсного нагрева. При конструировании лазеров рубиновый стержень и лампу оптической накачки располагают в фокусах зеркального оптического эллиптического цилиндра [3]. В этом случае излученный лампой свет попадает на стержень.

В инфракрасной печи фирмы “Behr Labor-Technik GmbH” используется нагрев двух инфракрасных излучателей, которые расположены вдоль одного из фокусов эллиптического зеркала [4]. Инфракрасное излучение, отражаясь

от покрытого тонким слоем золота зеркала, попадает в кварцевую трубку, которая расположена вдоль другого фокуса эллипса. Через кварцевую трубку подается кислород с целью создания окислительной среды для образцов, которые расположены в ней. Время нагрева от комнатной температуры до 1000°C равно 10 с. Верхняя половина зеркала может перемещаться на роликовых подшипниках для быстрого охлаждения печи и наблюдения за зоной нагрева. Система охлаждения “Heat Pipe” обеспечивает быстрое охлаждение, что исключает использование дорогого водяного охлаждения. Максимальная температура вдоль фокальной линии составляет 1150°C , максимальная потребляемая мощность – 1,5 кВт. Управление печью и программирование можно осуществлять через интерфейс RS-232 от компьютера. Термопара типа К расположена на внешней поверхности кварцевой трубки. Поверхности эллиптических зеркал покрывают также тонким слоем гальванического никеля [5].

Современный уровень систем автоматического сбора и обработки информации позволяет полностью автоматизировать процесс измерения температуры, деформации и усилия [6]. Модульный принцип построения системы гарантирует гибкость эксперимента и достижение необходимой точности измерений. Примеры реализации такого подхода к построению систем описаны в работах [7, 8].

Типовые системы автоматического сбора и обработки информации включают в себя:

технические средства: интеллектуальные приборы (датчики и исполнительные механизмы), контроллеры, компьютерные рабочие станции и объединяющие их сети;

прикладные программные средства: SCADA-программы (программы визуализации технологической информации) и технологические языки программируемых контроллеров.

Интеграция и взаимосвязь между системами такого класса, состоящими из разнородных компонентов, реализуются с помощью ряда способов [9].

Описание установки. Особенностью разработанной системы являются способы нагрева и охлаждения образцов посредством фокусирования лучистой энергии в замкнутой оптической безынерционной системе [10]. Это позволяет нагревать образец до 1700°C , исключить воздействие электромагнитопластического эффекта [11], а также адсорбционное, коррозионное и эрозионное влияние охлаждающей среды на поверхность образцов при их охлаждении.

Основным узлом установки (рис. 1) служит устройство для циклического изменения температуры образца 1, состоящее из камер нагрева 2 и охлаждения 3. Камеры выполнены в виде эллиптических цилиндров, которые по торцам ограничены плоскими крышками. Внутренние поверхности камер для увеличения их отражательной способности покрыты тонким слоем гальванического родия.

Камеры нагрева и охлаждения имеют общую фокальную ось и расположены симметрично относительно оси. Вдоль общей фокальной оси системы размещаются подвижный 4 и неподвижный 5 захваты для крепления образца, вдоль двух других осей – излучатель 6 и поглотитель 7. Соосно с

общей фокальной осью расположен поворотный сектор 8, используемый в качестве подвижного концентратора лучистой энергии. Основной деталью поворотного сектора является зеркало 9 криволинейной формы, представляющее собой часть боковой поверхности эллиптического цилиндра, которая отсечена плоскостью, проходящей через фокальную ось параллельно малой оси эллипса. Сектор 8 поворачивается вокруг своей оси на угол 180° и на нем закреплен шкив, который с помощью ремня приводится в движение от двигателя. Управление вращением осуществляется от концевых выключателей автоматической системой. Охлаждение деталей сектора, камер нагрева и охлаждения осуществляется водой.

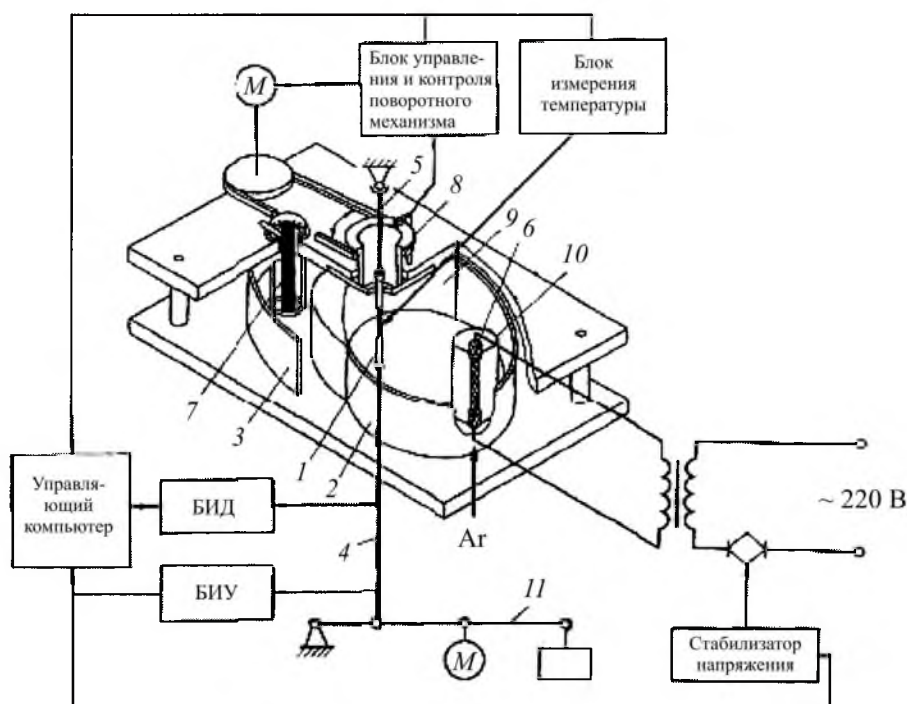


Рис. 1. Блок-схема установки (БИД, БИУ – соответственно блоки измерения деформаций и усилий).

На рис. 2 схематически представлены зеркальные камеры и поворотный сектор 8 при нагреве и охлаждении образца.

Расположенный в водоохлаждаемых токоподводах графитовый излучатель 6 специальной формы нагревается прямым пропусканием тока. Излучатель помещен в кварцевую трубку 10, в которую подается инертный газ с незначительным избыточным давлением (рис. 1). Напряжение к токоподводам подается по медным шинам от понижающего трансформатора. Верхний токоподвод электроизолирован от корпуса камеры нагрева 2. Цепь питания излучателя включает в себя понижающий трансформатор, стабилизатор напряжения и измерительные приборы.

Поглотитель 7 выполнен в виде полого цилиндра. Его наружная поверхность зачернена.

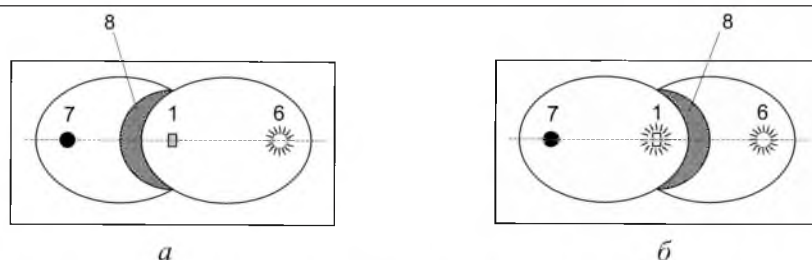


Рис. 2. Схематическое изображение зеркальных камер и поворотного сектора при нагреве (а) и охлаждении (б) образцов.

Для проведения испытаний образец закрепляется между подвижным и неподвижным захватами. Измерение и контроль температуры на образце осуществляются с помощью термопары. Для контроля поверхности образца во время испытаний используют катетометр. Управляющий компьютер обрабатывает информацию от датчиков температуры и деформации, а затем генерирует управляющие воздействия в соответствии с введенной программой.

Устройство работает следующим образом. Поворотный сектор устанавливают в одно из крайних положений с таким расчетом, чтобы образовать замкнутую отражающую поверхность в камере нагрева. Включают систему подачи воды к поворотному сектору, деталям камер нагрева и охлаждения, а также к токоподводам. Аргон подают в полость излучателя, затем на излучатель подается питание. Лучистый поток от излучателя зеркальной отражательной поверхностью камеры нагрева и зеркалом поворотного сектора фокусируется на образце и нагревает его. Термопара, установленная на образце, передает сигнал на блок измерения температуры.

При изотермических испытаниях регулируют напряжение, подаваемое на излучатель, и выставляют требуемую температуру. При термоциклических испытаниях по достижении заданной температуры по каналу обратной связи от блока измерения температуры подается сигнал на блок управления и контроля поворотным сектором, который осуществляет поворот последнего на угол 180° . В этом положении “закрывается” отражательная поверхность в камере охлаждения. Лучистый поток от разогретого до высокой температуры образца зеркальной отражательной поверхностью камеры охлаждения и зеркалом внутренней поверхности поворотного сектора фокусируется на поглотителе. При охлаждении образца до заданной температуры сигнал от термопары поступает на блок измерения температуры и по каналу обратной связи управляющий сигнал передается механизму поворота сектора, который возвращает последний в исходное положение. Кроме того, в управляющей цепи предусмотрена программная регулировка длительности полупериодов нагрева и охлаждения образца. Скорость нагрева регулируется мощностью электрического тока, подаваемого на излучатель, т.е. температурой излучателя.

При проведении испытаний на высокотемпературную ползучесть после установления заданного изотермического или термоциклического режима на образце к нижнему захвату с помощью рычага *11* прикладывается требуемая статическая нагрузка. Измерение деформации образца в процессе ползу-

части производится посредством тензометрической скобы, подключенной к блоку измерения деформации, и контролируется индикатором часового типа. Программное обеспечение позволяет строить графики изменения деформации в режиме реального времени. Для кратковременных испытаний или “дорыва” образцов предусмотрен двигатель, связанный с рычагом. Усилие в этих случаях измеряется специальным упругим звеном с тензодатчиками в подвижном захвате.

Структурная схема измерительной части системы приведена на рис. 3.

Модули аналогового ввода имеют расширенный динамический диапазон и разрешающую способность, соответствующую 16 битам. Подключение модулей обеспечивается использованием обыкновенной витой пары проводников, питание – от источника напряжения постоянного тока от 10 до 30 В.

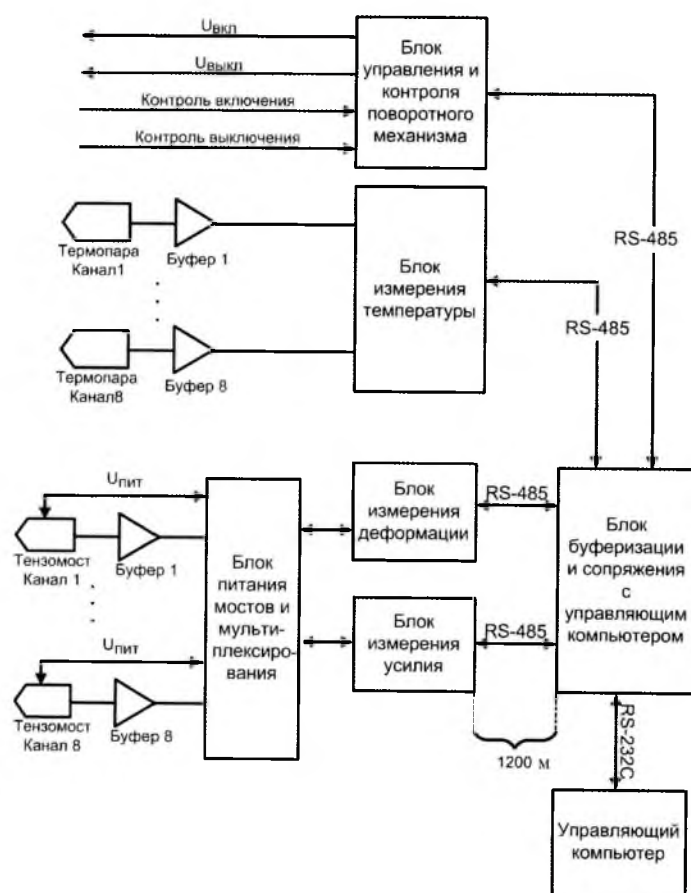


Рис. 3. Структурная схема измерительной части системы.

Выбор используемых модулей и их расположение в пространстве определяются пользователем и в любой момент могут быть изменены путем добавления или удаления модулей.

Применение цифрового промышленного интерфейса RS-485 для связи с управляющим компьютером и передачи данных обеспечивает повышенную помехоустойчивость всей системы.

Модули сбора данных имеют гальваническую развязку по цепям питания и сигнальным линиям, что особенно важно с точки зрения помехозащищенности и искробезопасности. Число подсоединенных к линии (витой паре) модулей может достигать 32 штук без дополнительного оборудования, при необходимости дальнейшего расширения системы число модулей увеличивают посредством специального блока расширения, так называемого повторителя (Repeater). Модули позволяют осуществлять сбор измерительной информации на удалении от персонального компьютера до 1200 м, использование блоков Repeater увеличивает расстояние на 1200 м на каждый блок.

Взаимодействие между управляющим компьютером и модулями сбора информации осуществляется путем формирования простых команд в формате ASCII. Взаимодействие с контроллерами выполняется по стандарту OPC.

Управление модулями производится прикладным программным обеспечением, установленным на управляющем компьютере и выполняющим следующие функции:

обмен данными между управляющим компьютером и устройствами измерения (контроллеры, модули ввода–вывода, тензодатчики, термодатчики, двигатели) по каналам ввода–вывода с поддержкой различных протоколов;

ведение базы данных реального времени измеряемых параметров;

архивирование истории изменения измеряемых параметров;

отображение значений измеряемых параметров на мониторе управляющего компьютера в виде динамических элементов мнемосхем, а также в численном, табличном и графическом виде;

обработка событий, расчет скорости ползучести, скорости изменения температуры образца, усилий, приложенных к образцу.

Ниже приведены основные технические характеристики системы.

Количество термодатчиков, шт	8
Типы термодатчиков	J, K, T, E, R, S, B, N, C, L, M
	возможна градуировка иной термодатчики
Диапазон измерения температуры, °C	зависит от типа используемой термодатчики
Количество тензодатчиков (мостов, полумостов), шт	8
Сопротивление тензодатчика, Ом	≥ 100
Напряжение питания моста тензодатчиков, В	12
Диапазоны измеряемых напряжений	
тензомоста, мВ	$\pm 15, \pm 50, \pm 100$
Разрядность АЦП	16
Частота дискретизации АЦП, кГц	100
Максимальная частота измерений, Гц	10
Гальваническая развязка, В	3000
Количество дискретных входов (сухой контакт), шт	8
Количество дискретных выходов (открытый коллектор), шт	4

Описанная система позволяет проводить испытания образцов на ползучесть с записью кривой деформирования в координатах абсолютное удлинение – время.

Заключение. Разработана и изготовлена шестнадцатиканальная система для испытания образцов на изотермическую и термоциклическую ползучесть. Система разработана на современной элементной базе и позволяет проводить непрерывное измерение в течение длительного промежутка времени деформации, усилия и температуры, а также накапливать и хранить результаты испытаний. В дальнейшем планируется проводить испытания, которые имитируют работу элементов конструкций в условиях сложного изменения силовых и термических нагрузок.

Резюме

На сучасній елементній базі розроблено і виготовлено шістнадцатиканальну систему для дослідження зразків на ізотермічну і термоциклічну повзучість. Система дозволяє здійснювати неперервне вимірювання протягом тривалого часу деформації, зусилля і температури, а також накопичувати і зберігати результати експериментів. При дослідженнях зразки можна нагрівати до температури 1700°C. Ізотермічні і термоциклічні дослідження зразків, які знаходяться під дією зусиль розтягу, дозволяють імітувати роботу елементів конструкцій в умовах складної зміни силових і термічних навантажень.

1. *Bates S. C. and Solomon P. R.* Elevated temperature oxygen index apparatus and measurements // *J. Fire Sci.* – 1993. – **11**. – P. 271 – 284.
2. *Elzhov A. V., Ivanov I. N., Kaminsky A. K., et al.* 30 GHz test facility for experimental study of accelerating structure damage due to the pulse heating // *Proc. EPAC 2002 (Paris, France)*. – 2002. – P. 2311 – 2313.
3. *Бондарев Б. В., Калашиников Н. П., Спирин Г. Г.* Курс общей физики. В 3 кн. – М.: Высш. шк., 2003. – 436 с.
4. *Behr IRF 10: The programmable infra-red furnace* // <http://www.behr-labor.com/pdf/irf-gb.pdf>.
5. *Graue R. and Kampf D.* Ultralightweight galvanic mirrors // *SPIE Proc.* – 1998. – **3352**. – P. 151 – 157.
6. *Цытин Б. В.* Измерение импедансов системами с ЭВМ. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – 100 с.
7. *Булгаков Э. Б., Голованов В. В., Климов А. В.* Информационно-измерительная система контроля состояния авиационных и общемашиностроительных редукторов, приводов и коробок передач. – М.: ЦИАМ, 1990. – 28 с.
8. *Васильчук В.* Информационно-измерительная система стендовых испытаний изделий автомобильной промышленности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Самара, 1997. – 21 с.

9. Ицкович Э. Л. Способы взаимосвязи и интеграции отдельных систем автоматизации на предприятиях // Датчики и системы. – 2004. – № 1 (56). – С. 56 – 62.
10. А. с. № 720344 СССР, G01N3160. Устройство для термических испытаний образцов / Н. В. Новиков, Б. А. Ляшенко, О. В. Цыгулев, В. М. Товт. – Оpubл. 08.08.80, Бюл. № 9.
11. Троцкий О. А., Розно А. Г. Электропластический эффект в металлах // Физика твердого тела. – 1970. – **12**, вып. 1. – С. 203 – 210.

Поступила 26. 04. 2004