

# ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

УДК 620.18(035)

## **Установка для исследования прочности и долговечности композиционных материалов при программном тепловом и силовом нагружении в условиях температур до 3300 К**

**В. С. Дзюба, С. В. Окснюк**

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

*Предложен модернизированный испытательный комплекс для определения прочности и долговечности композиционных материалов при растяжении, сжатии и кручении в условиях температур до 3300 К в вакууме, окислительной или инертной среде. Испытания проводятся полностью в автоматическом режиме с возможностью задания практически любых программ по нагружению и нагреву со скоростью до 1000 град/с.*

**Ключевые слова:** композиционные материалы, программное нагружение, система измерения и управления, скорость нагрева.

В качестве материалов элементов конструкций, работающих в условиях предельных силовых и тепловых нагрузок, применяются специально создаваемые композиционные материалы (КМ). Для эффективного использования последних очень важно получить достоверные данные по механическим свойствам в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Известные в настоящее время методики высокотемпературных испытаний позволяют получать надежные экспериментальные результаты при температурах до 2300...2800 К [1, 2]. Испытания при более высоких температурах требуют обеспечения точного измерения усилия и деформации рабочей зоны, быстрого нагрева образца со скоростью примерно 500 град/с и избежания выгорания его за время нагрева до заданной температуры. Важно также поддержание равномерности температурного поля по длине рабочей части образца.

При проведении испытаний в условиях, близких к эксплуатационным, необходимо реализовать механическое нагружение и нагрев по программам, имитирующим реальные рабочие условия. Качественные испытания, учитывая их сложность, можно осуществлять только с применением вычислительной техники.

При модернизации экспериментальной установки, модификации разработанных ранее и создании новых методик, обеспечивающих учет особенностей и специфики проведения высокотемпературных испытаний КМ на растяжение, сжатие и кручение [3–6], большое внимание уделялось решению задач такого рода (определение прочности и долговечности КМ при  $T = 3300$  К со скоростями нагрева порядка 1000 град/с).

Для реализации поставленной задачи на базе установки 1958У10-1, созданной в Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, был разработан испытательный комплекс для исследования термомеханических свойств КМ при температурах 293...3300 К в вакууме, окислительной или инертной среде [7]. При модернизации установки основным изменениям были подвергнуты системы измерения и управления экспериментом. Для управления испытаниями с помощью ЭВМ и записи данных эксперимента была написана программа Test-1958, имеющая графический пользовательский интерфейс. Это позволило проводить испытания полностью в автоматическом режиме с возможностью задания практически любых программ по нагружению и нагреву для создания близких к эксплуатационным режимов работы материала. Использование систем вакуумирования и создания различных сред дает возможность проводить испытания в вакууме, нейтральных и агрессивных средах.

Нагрев образца осуществляется путем пропускания электрического тока. Существующие средства позволяли реализовать скорость нагрева до 500 град/с. После модернизации системы управления нагревом удалось увеличить ее до 1000 град/с. Равномерное поле температур по длине рабочей части образца обеспечивается дополнительным подогревом краев образца. Контроль равномерности нагрева осуществляется тремя термодарами, устанавливаемыми вдоль рабочей зоны образца, или сканированием пирометра. Данная методика гарантирует перепад температур в рабочей зоне образца не более 15 К.

Схема системы измерения и управления изображена на рис. 1. Термомеханическое нагружение реализуется следующим образом. Данные о температуре образца после предварительной обработки (фильтрация от помех, усиление) поступают в АЦП. В качестве датчиков температуры в зависимости от диапазона температур используются вольфрамиевые термопары или инфракрасный пирометр типа "INFRATHERM IGA-100". Точность измерения температуры термопарами составила 1%, пирометром – 0,5%. Программа нагрева заводится в ЭВМ с помощью программы Test-1958. Последняя осуществляет сравнение измеренных данных по температуре с программой нагрева, и в случае их несоответствия с помощью ЦАП платы А-812PG вырабатывает откорректированный сигнал нагрева образца. Для безопасного и помехозащищенного управления нагревом с помощью ЭВМ между ЦАП и тиристорным устройством размещается гальваническая развязка SDI-AI. Отклонение измеряемой температуры образца от заданной по программе не превышает  $\pm 25$  К.

Методическими особенностями данной установки также являются оригинальные способы многоканального измерения деформации образца вынесенными из зоны нагрева элементами образца и экстензометров. Сигналы с тензодатчиков по каждому из четырех каналов измерения деформации поступают в модули аналоговых тензопреобразователей SCM5B38, где производится их усиление и фильтрация от помех. Кроме того, использование усилителя позволяет дополнительно повысить чувствительность каналов измерения деформаций. Благодаря высокой помехоустойчивости системы точность измерения деформации составила  $\sim 1,25 \cdot 10^{-3}$  %.

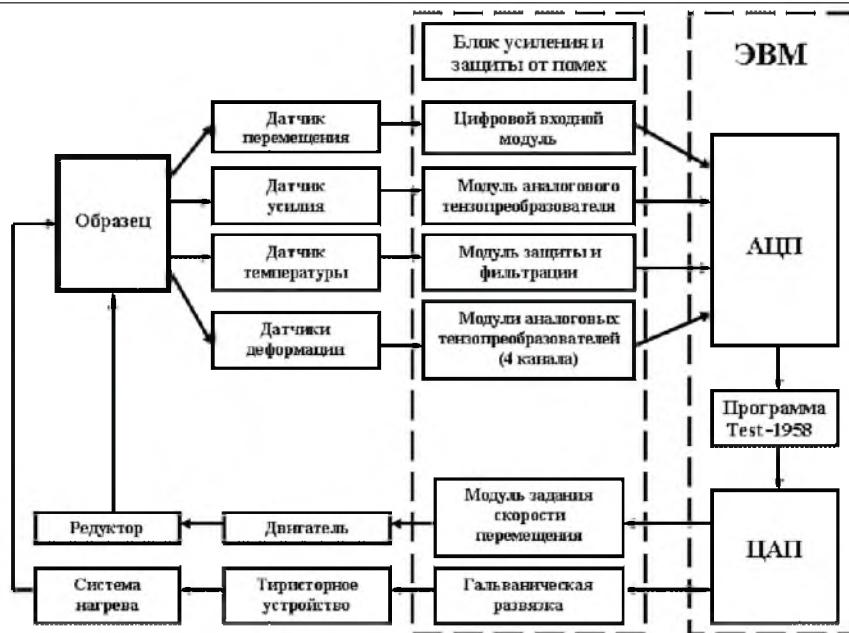


Рис. 1. Система измерения и управления экспериментом.

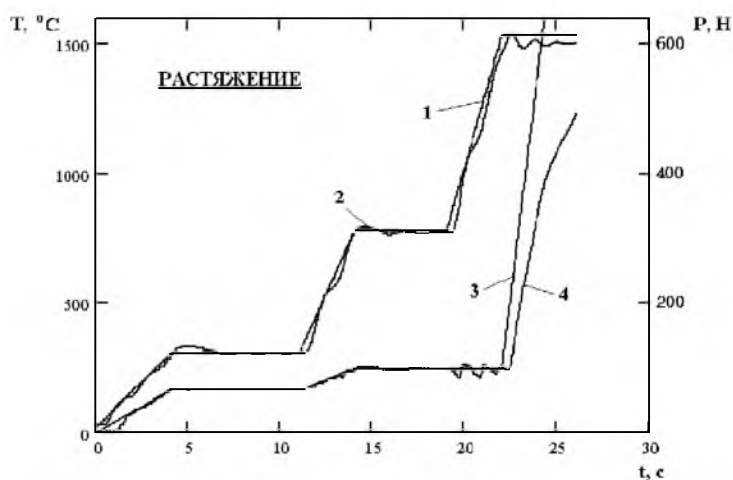


Рис. 2. Обработка программы: 1 – по нагреву; 2 – по температуре в процессе эксперимента; 3 – программа по усилию; 4 – по усилию в процессе эксперимента.

Модернизированная система управления экспериментом дает возможность проводить испытания полностью в автоматическом режиме (как “жесткий”, так и “мягкий”) с обработкой практически любых программ по нагружению. В случае мягкого нагружения перед проведением эксперимента задается программа изменения нагрузки во времени. В процессе испытаний данные по нагружению образца с датчика усилия сравниваются с программой нагружения, заведенной в ЭВМ. В случае их несоответствия с помощью ЦАП вырабатывается откорректированный сигнал задания скорости перемещения нижней траверсы машины. Для надежного и безопасного управления системой нагружения с помощью ЭВМ между ЦАП и

двигателем размещается аналоговый выходной модуль SCM5B49. При жестком нагружении вместо датчика усилия используется датчик перемещения. Предусмотрено три положения редуктора с соотношениями 1:1, 1:10 и 1:100, что позволяет варьировать скорость перемещения траверсы в диапазоне 0,005...50 мм/мин. Точность измерения усилия данной системы составляет 0,01% измеряемой величины.

На рис. 2 приведены данные эксперимента на растяжение образца из углерод-углеродного композиционного материала со ступенчатым нагружением по усилию и температуре. Видно, что система удовлетворительно обрабатывает задаваемые программы.

## Резюме

Запропоновано модернізований випробувальний комплекс для визначення міцності та довговічності композиційних матеріалів при розтязі, стиску і крутінні в умовах температур до 3300 К у вакуумі, окиснювальному або інертному середовищі. Випробування проводяться повністю в автоматичному режимі з можливістю задання практично любых програм по навантаженню і нагріванню зі швидкістю до 1000 град/с.

1. *Konishi T., Eto M., and Oku T.* High temperature Young's modulus of IG-110 graphite // JAERI. – 1986. – **192**. – P. 133 – 137.
2. *Fajun Yi, Jiecai Jan, Shanyi Du.* Опытное исследование механических свойств гибридных композитов углерод-углерод при сверхвысокой температуре // Реф. журн. – 2004. – № 3. – С. 32.
3. *Патент України № 2003087440, МПК<sup>7</sup> G01N1/00.* Зразок для випробування неметалевих матеріалів осьовими навантаженнями / В. С. Дзюба, Л. В. Кравчук, В. А. Токарський, С. В. Оксіюк. – Опубл. 15. 03. 2004. – Бюл. № 3.
4. *Патент України № 2003098506, МПК<sup>7</sup> G01N1/00.* Плоский зразок для випробування композиційних матеріалів на міцність при розтягуванні в умовах високих температур / В. С. Дзюба, Л. В. Кравчук, В. А. Токарський, С. В. Оксіюк. – Опубл. 15. 04. 2004. Бюл. № 4.
5. *Патент України № 2002075410, МПК<sup>7</sup> G01N1/100.* Зразок для випробування матеріалів на міцність / В. С. Дзюба, Л. В. Кравчук, В. А. Токарський, С. В. Оксіюк. – Опубл. 17. 03. 2003. Бюл. № 3.
6. *Патент України № 2002064701, МПК<sup>7</sup> G01N3/22.* Пристрій для випробування матеріалів на міцність / В. С. Дзюба, Л. В. Кравчук, В. А. Токарський, С. В. Оксіюк. – Опубл. 17. 03. 2003. Бюл. № 3.
7. *Дзюба В. С., Высоцкий А. В., Зубик С. В.* Установка и методика для прочностных испытаний композиционных материалов при температурах до 3300 К // Пробл. прочности. – 1994. – № 9. – С. 86 – 90.

Поступила 20. 11. 2003