

ЛАБОРАТОРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 543.272.08:669.785

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ

© 2023 г. В. П. Тарасиков^{а*}

^аАО ГНЦ РФ Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского

Россия, 249033, Обнинск, Калужская обл., пл. Бондаренко, 1

** e-mail: vptarasikov@mail.ru*

Поступила в редакцию 28.03.2023 г.

После доработки 05.05.2023 г.

Принята к публикации 15.06.2023 г.

Приведено описание высокотемпературной (до 1600°C) установки по измерению коэффициента линейного расширения с использованием относительного метода. Измерительный блок установлен в защитном перчаточном боксе, что позволило проводить измерения на образцах, облученных в реакторе. Изменения длины образца при нагреве фиксировалась индикаторной головкой часового типа с точностью 1 мкм с пределами измерения (0–10) мм. Установка использовалась для определения значений распухания облученных образцов при высокотемпературных отжигах и получения значений коэффициента линейного расширения перспективных реакторных материалов. Средняя относительная ошибка измерений составляет 8–11 %.

1. УСТРОЙСТВО УСТАНОВКИ

Рис.1

Принципиальная схема установки приведена на рис. 1 и состоит из измерительного блока (I), вакуумного блока (II), температурного блока (III) и блока органов управления и регистрации (IV). Измерительный блок установки помещается в защитный перчаточный бокс, что позволяет проводить измерения на образцах, прошедших реакторное облучение. Измерительный блок состоит из печи с нагревателем из молибдена, системы контроля температуры, измерительной части и соединен с вакуумной системой.

2. ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения коэффициента линейного расширения и изменения высоты облученных образцов при различных температурах проводились на высокотемпературном вакуумном дилатометре с использованием контрольных образцов [1, 2]. Контрольные

образцы изготавливались из молибдена, кварца, стали Х18Н10Т и карбида бора с размерами, идентичными испытываемым образцам.

Измерения проводились в вакууме 10^{-2} Па при температурах на образцах (300 – 1600) °С.

Вакуум внутри системы обеспечивался вакуумным пластинчато-роторным 2НВР–5ДМ [3] и высоковакуумным паромасляным Н-05 [4] насосами и контролировался вакуумметрами ионизационно-термопарным ВИТ-2 и магнитным блокировочным типа ВМБ-3 [5, 6].

Заданная температура поддерживалась высокоточным регулятором температуры ВРТ-3 [7], контроль температур на образце осуществлялся автоматическим самопишущим прибором КСП-4 [8]. В качестве задающей и контрольной использовались платино-платинородиевые термопары (4).

Образец 10 устанавливался на столике в молибденовой трубке 5 через вырезанное боковое окно в трубке. Изменение длины образца при нагревании с помощью молибденового штока 6 передавалось на часовой индикатор 2. Для отсчета изменения длины контрольного и испытываемого образцов использовалась часовая индикаторная головка 2 с ценой деления 1 мкм с пределами измерения (0–1) мм.

3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ

Отработка методики измерения изменения длины образца заключалась в получении поправок для образцов с заданной высотой при каждой температуре по контрольным образцам с известными значениями температурного коэффициента линейного расширения. Контрольные образцы изготавливались из молибдена, кварца, стали Х18Н10Т и карбида бора с размерами, идентичными испытываемым образцам. Величины температурного коэффициента линейного расширения для контрольных образцов взяты из работ [9–11]. Удлинение образца вычислялось из соотношения:

$$\Delta l = A \cdot (n_2 - n_1) + \Delta l_{\text{д.яч.}}, \quad (1)$$

где A – постоянная прибора, для индикаторной головки $A = 1$ мкм; n_2, n_1 – отсчет изменения длины образца при температурах t_2 и t_1 ; $\Delta l_{\text{д.яч.}}$ – поправка, учитывающая удлинение внешней части дилатометрической ячейки на длине образца в температурном интервале $\Delta t = t_2 - t_1$. Расчет температурного коэффициента линейного расширения исследуемых образцов проводился по известной формуле [1]:

$$\alpha = \Delta l / l_0 \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где Δl – удлинение образца при заданной температуре t_2 , l_0 – длина (высота) образца при $t_1 = 20$ °С, $\Delta t = t_2 - t_1$. Для повышения достоверности на контрольных и испытуемых образцах измерения проводились 5–6 раз при выдержках при заданной температуре около 2 ч.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Высокотемпературная установка использовалась для определения значений температурного коэффициента линейного расширения перспективных реакторных материалов в исходном и облученном в реакторе состояниях и распухания облученных образцов карбида бора при высокотемпературных отжигах (рис. 2, 3) [12, 13]. По результатам многочисленных полученных данных определена средняя относительная ошибка измерений в пределах 8–11 %.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установка позволяет с достаточно хорошей достоверностью (8–11 %) получать значения температурного коэффициента линейного расширения исследуемых материалов, а также их распухание при высокотемпературных отжигах после реакторного облучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Новикова С.И.* Тепловое расширение твердых тел. Москва: Наука, 1974.
2. *Аматуни Я.Н.* Методика и приборы для определения температурных коэффициентов линейного расширения материалов. Москва: Изд. стандартов, 1972.
3. Насос вакуумный пластинчато-роторный 2НВР-5ДМ. Паспорт 2057 364813 2508 00 4 ПС, Казань, 1980.
4. Вакуумметр ионизационно-термопарный ВИТ-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Москва: Изд. стандартов, 1980.
5. Вакуумметр магнитный блокировочный типа ВМБ-3 Выпускной аттестат, техн. описание и инструкция по эксплуатации. Москва: Изд. стандартов, 1980.
6. Высоковакуумный паромасляный насос Н-5. Паспорт ди2.960.006. Казань: Тат. ЦНТИ, 1980.
7. Высокоточный регулятор температуры ВРТ-3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Каунас: "Райде", 1980.
8. Потенциометр КСП-4 автоматический. Техническое описание инструкция по эксплуатации. Паспорт 4АО.072.004 ПС 7 с.
9. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике. Справочник / Под редакцией Б.Е. Неймарка. Москва: Энергия, 1967.
10. *Кржижановский Р.Е.* Теплофизические свойства неметаллических материалов (окислы). Справочная книга / Под редакцией Р.Е.Кржижановского, З.Ю.Штерна. Л.: Энергия, 1973.
11. *Кржижановский Р.Е.* Теплофизические свойства неметаллических материалов (карбиды). Справочная книга / Под редакцией Р.Е.Кржижановского, З.Ю.Штерна. Л.: Энергия, 1973.
12. *Биржевой, Г.А., Захарова М.И., Артёмов Н.А., Алексеев А.Б., Тарасиков В.П.* // Металлы. 1996. № 5. С. 61.
13. *Тарасиков В.П.* Атомная энергия. 2009. Т. 106. № 3. С. 173.

ПОДПИСИ ПОД РИСУНКАМИ

Рис. 1. Схема высокотемпературного вакуумного дилатометра: 1 – столик крепления измерительной головки, 2 – измерительная головка часового типа ИЧ 10 0.001, 3 – корпус печи, 4 – термопары, 5 – молибденовая трубка с заглушкой для установки образца, 6 – молибденовый штوك, 7 – колпак измерительного блока, 8 – подъемник колпака, 9 – рубашка охлаждения корпуса печи, 10 – образец, 11 – электропечь с экранами.

Рис. 2. Зависимость коэффициента линейного расширения (КЛР) сплава V-4Ni-4Cr от температуры [12].

Рис. 3. Зависимость увеличения длины образцов карбида бора от температуры и выгорания бора [13].

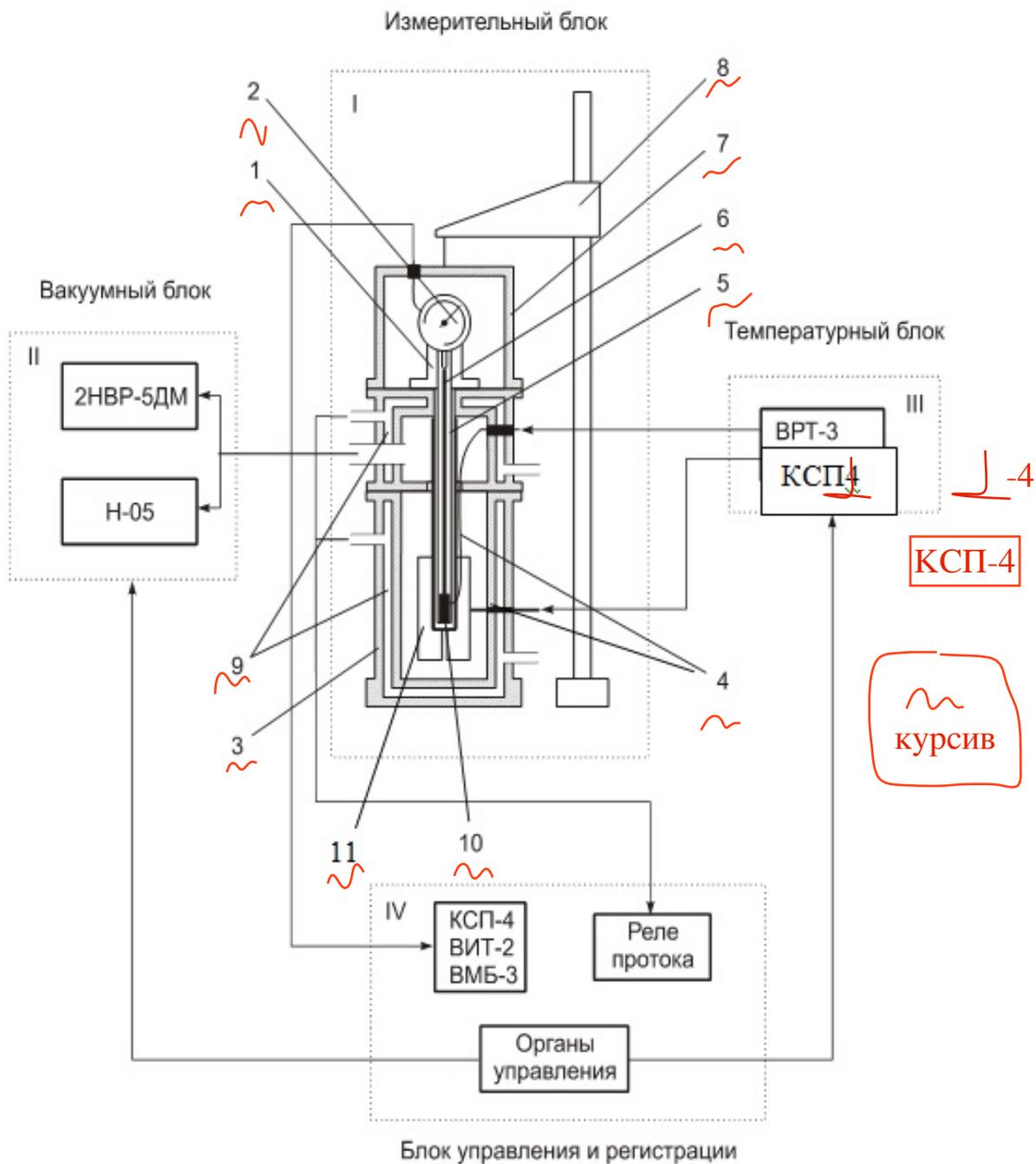


Рис. 1.

сетку убрать

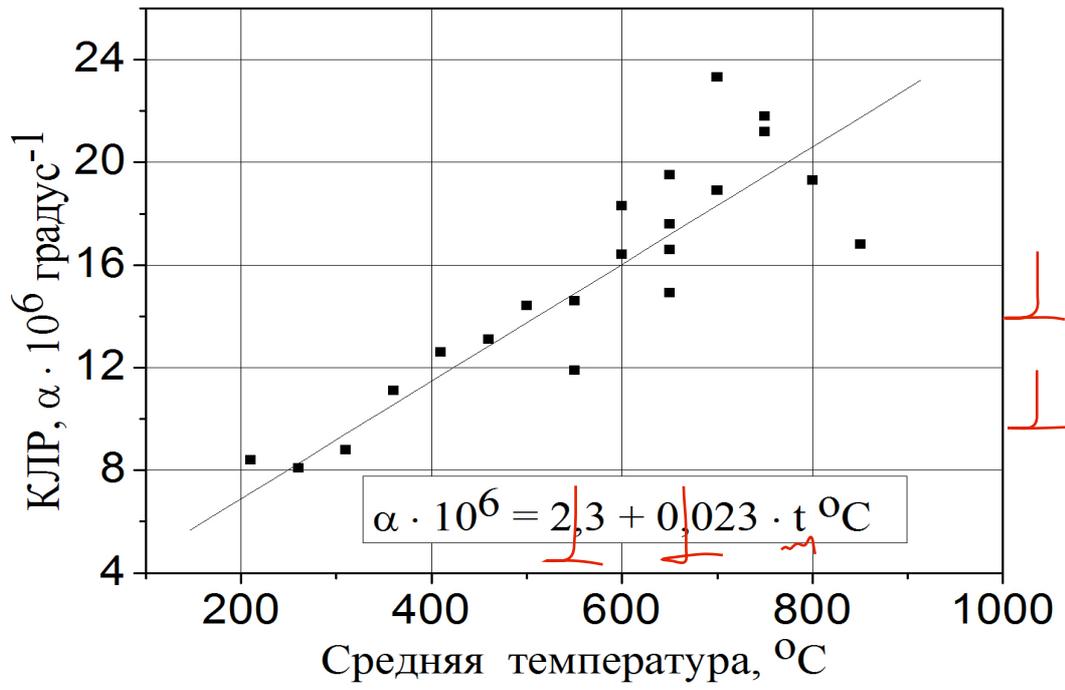


Рис. 2.

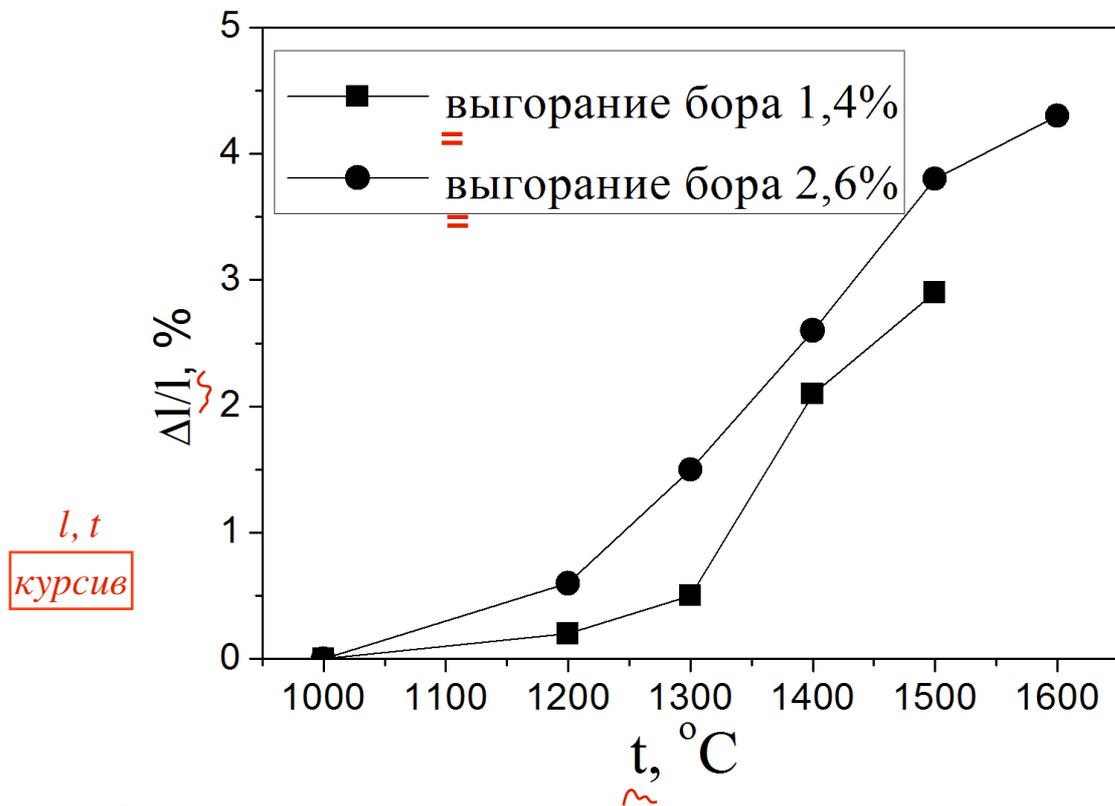


Рис. 3.

Для связи с автором:

Тарасиков Владимир Прокофьевич
Тел.: 8-910-913-46-35 (моб.)
E-mail: vptarasikov@mail.ru

В помощь переводчику:

HIGH TEMPERATURE INSTALLATION FOR MEASURING THE COEFFICIENT OF
LINEAR EXPANSION

V.P. Tarasikov (vptarasikov@mail.ru)

Stock Company «State Scientific Center of Russian Federation – Institute of Physics and Power
Engineering named after A.I. Leypunsky», Russia, 249033, Kaluga region, Obninsk,
Bondarenko Square, 1

ABSTRACT

The paper describes a high-temperature (up to 1600°C) installation for measuring the coefficient of linear expansion (CLR) using the relative method. The measuring unit is installed in a protective glove box, which allowed measurements to be carried out on samples irradiated in the reactor.

Changes in the length of the sample during heating were recorded by a clock-type indicator head with an accuracy of 1 microns with measurement limits (0-10) mm. The installation was used to determine the values of the swelling of irradiated samples during high-temperature annealing and to obtain the values of the CLR of promising reactor materials. The average relative measurement error is 8-11%.

Keywords: linear expansion coefficient (LRC), dilatometer, irradiation, reactor, swelling, clock-type indicator head, vacuum gauge, potentiometer, furnace, thermocouple, molybdenum, boron carbide.