

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ

© 2024 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 °С) 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 фиксировались 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%.

DOI: 10.31857/S0032816224010274, EDN: DTKRQD

1. УСТРОЙСТВО УСТАНОВКИ

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 dilatометре с использованием контрольных образцов [1, 2]. Контрольные образцы изготавливались из молибдена, кварца, стали X18H10T 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 трубе 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.

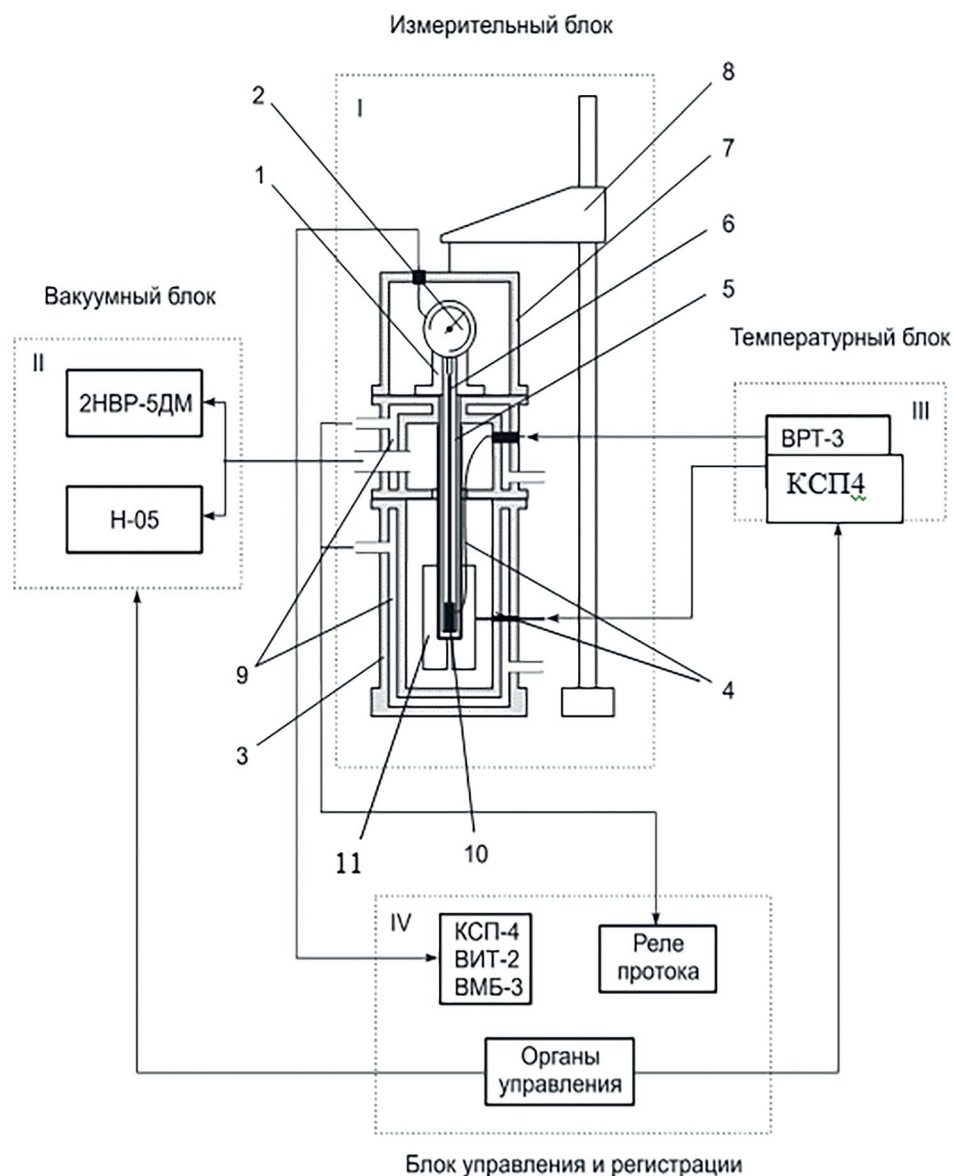


Рис. 1. Схема высокотемпературного вакуумного дилатометра: 1 — столик крепления измерительной головки, 2 — измерительная головка часового типа ИЧ 10 0.001, 3 — корпус печи, 4 — термопары, 5 — молибденовая трубка с заглушкой для установки образца, 6 — молибденовый штук, 7 — колпак измерительного блока,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

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

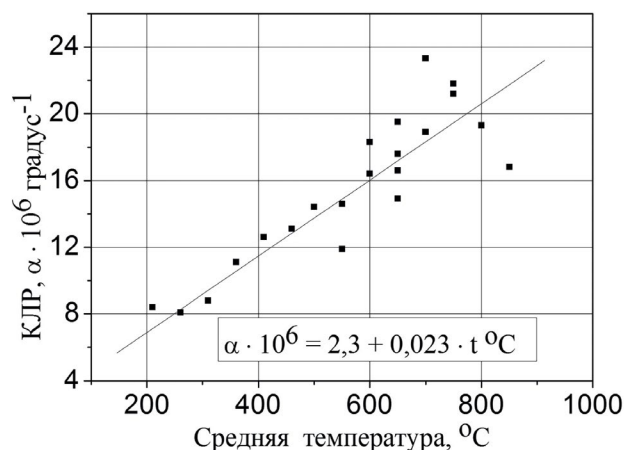


Рис. 2. Зависимость коэффициента линейного расширения (КЛР) сплава V–4Ni–4Cr от температуры [12].

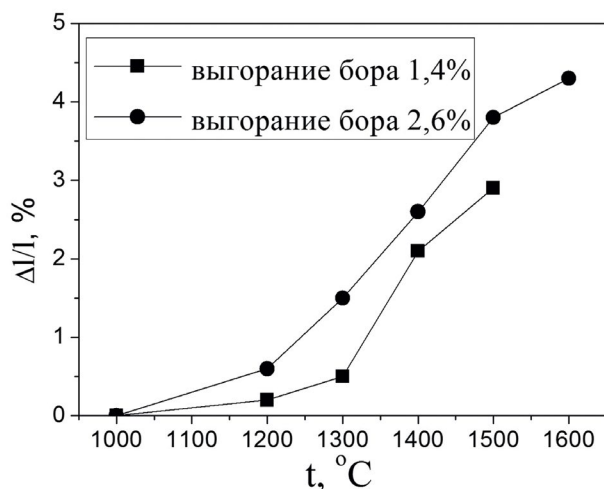


Рис. 3. Зависимость увеличения длины образцов карбида бора от температуры и выгорания бора [13].

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 $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $\Delta t = t_2 - t_1$. 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. М.: Наука, 1974.
2. Аматуни Я.Н. Методика и приборы для определения температурных коэффициентов линейного расширения материалов. М.: 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. М.: Изд. стандартов, 1980.
5. Вакуумметр магнитный блокировочный типа ВМБ-3. Выпускной аттестат, техн. описание и инструкция по эксплуатации. М.: 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.
9. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике. Справочник / под редакцией Б.Е. Неймарка. М.: 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.