

Технология изготовления эталонных калибровочных имитаторов топливных таблеток реакторов водо-водяного типа

Г. В. Бакакин^{1}, С. В. Двойнишиников¹, В. А. Павлов¹, В. В. Рахманов¹*

¹ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: bakakin@itp.nsc.ru

Аннотация. Работа посвящена разработке технологии изготовления эталонных калибровочных имитаторов топливных таблеток реакторов водо-водяного типа. Эталонные калибровочные имитаторы топливных таблеток необходимы при разработке оптико-электронных систем контроля внешнего вида и геометрических размеров топливных таблеток, применяемых при производстве урановых таблеток. В статье описана разработанная технология изготовления имитаторов, основанная на изготовлении стальных заготовок и последующей многошаговой механохимической обработке поверхности на основе чернения кислотным способом.

Ключевые слова: урановые таблетки, калибровочные имитаторы

Technology for manufacturing of reference calibration simulators of fuel pellets of pressurized water reactors

G. V. Bakakin^{1}, S. V. Dvoynishnikov¹, V. A. Pavlov¹, V. V. Rakhmanov¹*

¹ Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: bakakin@itp.nsc.ru

Abstract. The work is devoted to the development of technology for the manufacture of reference calibration simulators of fuel pellets of pressurized water reactors. Reference calibration simulators of fuel pellets are necessary in the development of optoelectronic systems for monitoring the appearance and geometric dimensions of fuel pellets used in the production of uranium pellets. The article describes the developed technology for the manufacture of simulators, based on the manufacture of steel billets and subsequent multi-stage mechanochemical surface treatment based on blackening by the acid method.

Keywords: uranium pellets, calibration simulators

Введение

Требования к качеству ядерного топлива постоянно возрастают в связи с необходимостью повышения безопасности эксплуатации атомного реактора и увеличением сроков использования ядерного топлива. Параметры конструкции ядерного топлива, которые непосредственно влияют на безопасность и эффективность работы атомного реактора, относятся к критическим параметрам и подлежат 100% (сплошному) выходному контролю на соответствие техническим требованиям.

Топливные таблетки (ТТ) из диоксида урана UO_2 являются одной из основных составляющих тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ). Для реакторов водо-

водяного типа они представляют собой керамические цилиндры диаметром ~8 мм и высотой 9÷14 мм. ТТ как керамические изделия имеют повышенную хрупкость и в процессе их изготовления на поверхности могут образовываться дефекты: сколы, трещины, поры, облой, непрошлифовка. Для выявления и отбраковки ТТ с недопустимыми по размерам дефектами их подвергают контролю после операции шлифования. При этом отбраковка ТТ происходит в соответствии с «Атласом определения и критериев приемки для дефектов топливных таблеток».

До недавнего времени контроль внешнего вида на предприятиях изготовления ТТ производился операторами визуально с ручной отбраковкой дефектных изделий [1]. Такой контроль характеризуется низкими качеством и производительностью.

Сейчас контроль готовых таблеток все чаще осуществляется системами автоматизированного бесконтактного контроля внешнего вида и геометрических размеров [2–5]. Такие системы являются сложными опто-электронными устройствами. В процессах настройки и последующих калибровок этих систем применяются эталонные калибровочные имитаторы топливных таблеток (КИТТ). В зависимости от методов контроля внешнего вида и геометрических размеров, применяемых в системах, формируются и требования к параметрам КИТТ.

При разработке опико-электронных систем контроля внешнего вида и геометрических размеров топливных таблеток, как правило, разработчики ограничены в доступе к урановым топливным таблеткам из-за вопросов радиационной безопасности и правил хранения радиоактивных материалов. Поэтому, задача разработки технологии изготовления эталонных калибровочных имитаторов топливных таблеток реакторов водо-водяного типа является актуальной и востребованной для развития опико-электронных систем диагностики дефектов топливных таблеток.

Описание технологии

При разработке технологии изготовления эталонных калибровочных имитаторов топливных таблеток в качестве образцов использовались изображения урановых топливных таблеток, полученные фотоприемниками при стационарных условиях освещения на контрольном стенде (рис.1). Далее, при изготовлении имитаторов их внешний вид на контрольном стенде итерационно приводился к внешнему виду, схожему с внешним видом урановых таблеток. В качестве опорных параметров оценивались средняя яркость поверхности и среднеквадратичное отклонение яркости по всей боковой поверхности таблетки.

В контрольном стенде применен фотоприемник Imaging Source DMK33GX264 [6] с объективом TCL 5026 5MP [7]. Осветитель на основе монохроматического светодиода мощностью 10 Вт с длиной волны 450 нм. Расстояния между источником, приемником освещения и таблеткой фиксированы и составляли 20 см.

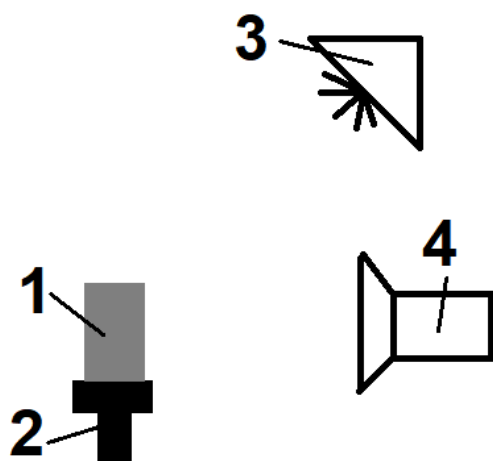


Рис. 1. Контрольный стенд для фиксации изображения внешнего вида боковой поверхности топливной таблетки:

1 – топливная таблетка, 2 – основание, 3 – осветитель, 4 – фотоприемник

Разработанная технология изготовления КИТТ для калибровки узла контроля внешнего вида и геометрических размеров линии «ЛАД-0Т1» выглядит так:

- 1) изготовление на токарном станке заготовок КИТТ с диаметром 8,2 мм из стали марки ст20;
- 2) нанесение механических дефектов на поверхность заготовок (сверловка, кернение, гравировка, рубка, фрезеровка, опиление);
- 3) шлифование заготовок на круглошлифовальном бесцентровом станке, где шлифуются в размер по диаметру (8 мм);
- 4) чернение заготовок кислотным способом (воронение ржавым лаком) при комнатной температуре:
 - а) Обезжиривание в растворе кальцинированной соды (40 грамм на 1 литр воды) при температуре 100 °С в течение 20 минут с последующей промывкой под проточной водой и сушкой;
 - б) нанесение тонкого слоя лака на поверхность металла;
 - в) сушка 5 часов;
 - г) повторное нанесение лака;
 - д) сушка 3 часа;
 - е) выварка в дистилляте 30 минут;
 - ж) крацевание металлической ватой с классом абразивности 000#;
 - з) промывка под проточной водой и сушка;

весь цикл с пункта б) повторять 10 раз.

На рис.2 представлены изображения образцов урановых топливных таблеток, полученные на контрольном стенде. На рис. 3 представлены изображения имитаторов топливных таблеток, также полученные на контрольном стенде. Видно, что структура боковой поверхности имитаторов схожа с боковой поверхностью урановых топливных таблеток.

На рис. 4 представлены распределения интенсивности, зарегистрированные на изображении урановой таблетки (а) и созданного стального имитатора (б). Видно, что изображения имеют схожую пространственную структуру. Среднее значение нормированной интенсивности на изображении урановой таблетки равно 0,27, а среднее значение нормированной интенсивности на изображении имитатора 0,29.

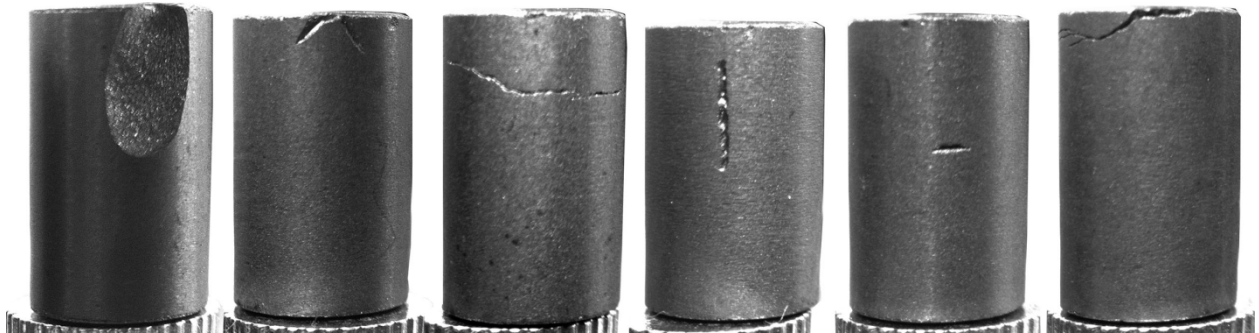


Рис. 2. Изображения топливных таблеток из диоксида урана с дефектами

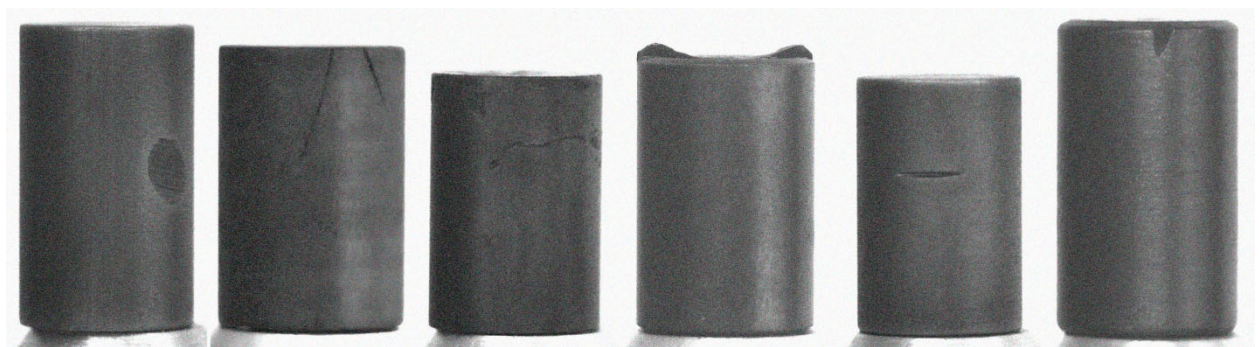


Рис. 3. Изображения стальных имитаторов топливных таблеток с дефектами

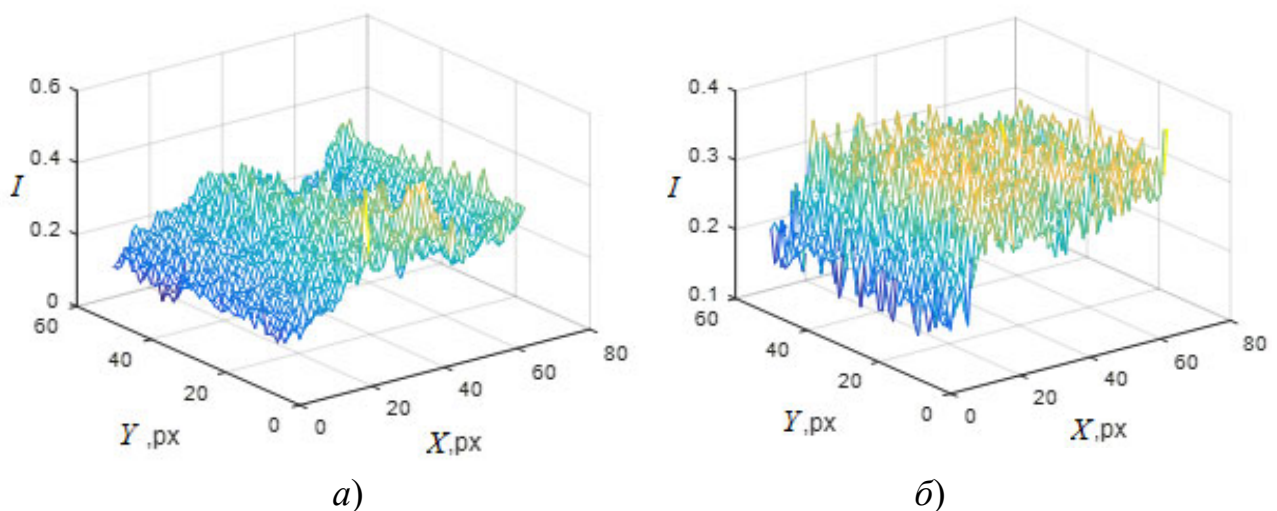


Рис. 4. Распределения интенсивности, зарегистрированные на изображении урановой таблетки (а) и созданного стального имитатора (б)

Заключение

В результате разработана технология изготовления калибровочных имитаторов топливных таблеток с дефектами боковой поверхности и без них. Технология основана на изготовлении стальных заготовок и последующей многошаговой механохимической обработке поверхности на основе чернения кислотным способом. Созданные калибровочные имитаторы топливных таблеток обеспечили эффективную разработку, настройку и калибровку узла контроля внешнего вида и геометрических размеров топливных таблеток для уранового производства Ульбинского металлургического завода.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ф.Г. Решетников, Ю.К. Бибилашвили, И.С. Головнин и др. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. Кн. 1. М: Энергоатомиздат, 1995. – 320 с.
2. Финогенов Л.В., Белобородов А.В. и др. Оптико-электронная система автоматического контроля внешнего вида топливных таблеток // Дефектоскопия. – 2007. – № 10. – С. 68–79.
3. Завьялов П.С., Кравченко М.С., Савченко М.В., Уржумов В.В. Стереоскопический метод контроля торцевой поверхности топливных таблеток с использованием дифракционных фокусаторов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – Т. 2. – № 5. – С. 30–41.
4. Финогенов Л. В., Завьялов П. С., Карлин В. Э., Хакимов Д. Р. Высокопроизводительный оптико-электронный контроль боковой поверхности топливных таблеток с определением глубины дефектов // Датчики и системы. – 2016. – № 7. – С. 53–59.
5. Двойнишников С.В., Рахманов В.В., Кабардин И.К., Меледин В.Г., Семенов Д.О. Способ определения края объектов цилиндрической формы на изображении теневым методом размерного контроля // Автометрия. – 2022. – №1. – С. 40–46.
6. DMK 33GX264 GigE monochrome industrial camera [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.theimagingsource.com/products/industrial-cameras/gige-monochrome/dmk33gx264/>.
7. The Imaging Source 5 MP lenses [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.theimagingsource.com/products/optics/lenses/tis-5-mp/>.

© Г. В. Бакакин, С. В. Двойнишников, В. А. Павлов, В. В. Рахманов, 2022