

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ / METHODS AND DEVICES FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS OF MATERIALS, PRODUCTS, SUBSTANCES AND THE NATURAL ENVIRONMENT

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.17>

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИМИТАТОРОВ ТОПЛИВНЫХ УРАНОВЫХ ТАБЛЕТОК ДЛЯ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ

Научная статья

Бакакин Г.В.¹, Двойнишников С.В.^{2*}, Рахманов В.В.³, Павлов В.А.⁴

^{1, 2, 3, 4} Институт теплофизики им С.С.Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (dv.s[at]mail.ru)

Аннотация

Работа посвящена разработке технологии изготовления имитаторов топливных таблеток реакторов водо-водяного типа. Создаваемые имитаторы необходимы при разработке оптико-электронных систем технического зрения для контроля внешнего вида и геометрических размеров, применяемых при производстве урановых таблеток. В статье описана разработанная технология изготовления имитаторов, основанная на изготовлении стальных заготовок и последующей многошаговой механохимической обработке поверхности. Представлен макет для контроля светорассеивающих свойств поверхности имитатора в процессе изготовления. Применение контроля качества изготовления имитатора топливной таблетки на основе анализа светорассеивающих свойств поверхности обеспечивает существенное увеличение скорости доводки поверхности до требуемой.

Ключевые слова: урановые таблетки, калибровочные имитаторы, контроль качества.

METHOD OF MANUFACTURING AND QUALITY CONTROL OF URANIUM FUEL PELLET SIMULATORS FOR ADJUSTING SURFACE DEFECT INSPECTION VISION SYSTEM

Research article

Bakakin G.V.¹, Dvoynishnikov S.V.^{2*}, Rakhmanov V.V.³, Pavlov V.A.⁴

^{1, 2, 3, 4} Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

* Corresponding author (dv.s[at]mail.ru)

Abstract

The work is dedicated to the development of manufacturing technology for simulators of fuel pellets of water-cooled reactors. The simulators created are needed in the development of opto-electronic vision systems to control the appearance and geometric dimensions used in the production of uranium pellets. The paper describes the developed technology for manufacturing the simulators based on the manufacturing of steel billets and subsequent multistep mechanochemical surface treatment. A mock-up for controlling the light diffusion properties of the imitator surface during the manufacturing process is presented. Application of quality control of fuel tablet imitator manufacturing based on the analysis of light scattering properties of the surface provides a significant increase in the speed of surface finish to a demanded one.

Keywords: uranium pellets, calibration imitators, quality control.

Введение

В настоящее время развитие научно-технического прогресса тесно связано с развитием методов оптико-электронной диагностики и контроля технологических процессов. Научно-технический прогресс привел к тому, что вместе с материальными ресурсами важнейшим производственным фактором современной экономики стала измерительная информация. Обеспечение необходимыми высокоточными диагностическими данными дает возможность работать производству в отрицательных допусках и выполнять техническое обслуживание технологических машин по их необходимости, определяемой фактическим состоянием, а не периодическим профилактическим обслуживанием. Переход к такой производственной модели нового поколения приведет к существенной экономии энергии, материальных средств, уменьшению количества брака, повышению безопасности производства, и, как результат, к значительному экономическому и социальному эффекту в рамках отдельных предприятий [1], [2].

Сфера применения современных методов оптико-электронного контроля расширяется с каждым днем от медицинских приложений до задач непрерывного мониторинга состояния энергогенерирующих агрегатов в гидроэнергетике, атомной энергетике, ветроэнергетике и т.д.

В атомной энергетике 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 из диоксида урана UO₂ 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. Топливные таблетки, 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 топливных таблеток с недопустимыми дефектами их подвергают контролю внешнего вида после операции шлифования

До недавнего времени контроль внешнего вида на предприятиях изготовления топливных таблеток производился операторами визуально с ручной отбраковкой дефектных изделий [3]. Такой контроль характеризуется низким качеством и недостаточной производительностью.

С развитием информационных технологий контроль готовых таблеток все чаще осуществляется системами автоматизированного бесконтактного контроля внешнего вида и геометрических размеров [4], [5], [6], [7]. Такие системы являются сложными опто-электронными устройствами. В процессах настройки и последующих калибровок этих систем применяют имитаторы топливных таблеток. В зависимости от методов контроля внешнего вида и геометрических размеров, применяемых в системах, формируются и требования к параметрам светорассеивающих свойств имитаторов топливных таблеток.

При разработке опто-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 и контроля качества изготовления эталонных имитаторов топливных таблеток реакторов водо-водяного типа является актуальной и востребованной для развития опто-электронных систем диагностики дефектов топливных таблеток.

Описание способа

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.

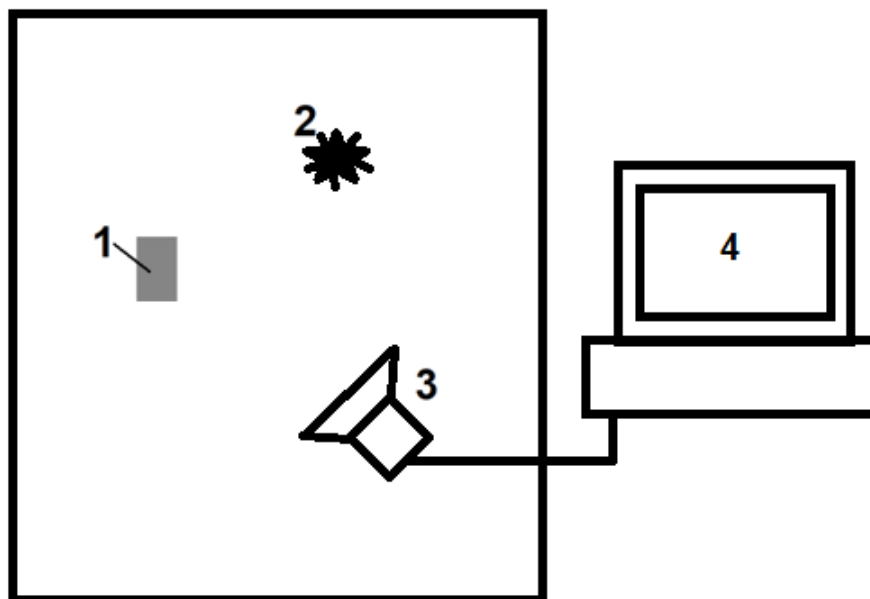


Рисунок 1 - Контрольный стенд для регистрации изображения внешнего вида боковой поверхности топливной таблетки:

1 – топливная таблетка; 2 – осветитель; 3 – фотоприемник; 4 – компьютер

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.17.1>

В контрольном стенде применен фотоприемник Imaging Source DMC33GX264 [9] с объективом TCL 5026 5MP [10]. 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.

Способ изготовления имитатора топливной таблетки (ИТТ) для калибровки системы технического зрения для контроля внешнего вида и геометрических размеров состоит из следующих шагов:

1. Изготовление на токарном станке заготовок ИТТ с диаметром 8,2 мм из стали марки ст20

2. Шлифование заготовок на круглошлифовальном бесцентровом станке, где шлифуются в размер по диаметру (8 мм)

3. 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 последующим промыванием под проточной водой и сушкой,

б) нанесение тонкого слоя лака на поверхность металла,

с) сушка 5 часов,

д) повторное нанесение лака,

е) сушка 3 часа,

ф) вываривание в дистиллированной воде 30 минут,

г) крацевание металлической ватой с классом абразивности 000#,

h) промывание под проточной водой и сушка,

Повторение всего цикла 10 раз, начиная с пункта б.

На рис.2 представлено изображение образца урановой топливной таблетки, полученное на контрольном стенде. На рис. 3 представлено изображение имитатора топливной таблетки, так же полученное на контрольном стенде. Видно, что структура боковой поверхности имитатора схожа с боковой поверхностью урановых топливных таблеток.



Рисунок 2 - Изображение боковой поверхности топливной таблетки из диоксида урана

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.17.2>



Рисунок 3 - Изображение боковой поверхности стального имитатора топливной таблетки
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.17.3>

Изображение, принимаемое фотоприемником обрабатывалось по следующему алгоритму. В начале на изображении вырезается область, в которой видна анализируемая таблетка. Затем полученное распределение нормируется согласно формуле

$$I_n(x, y) = I(x, y) / \text{MAX}_I \quad (1)$$

где $I(x, y)$ - распределение интенсивности зарегистрированное фотоприемником, MAX_I – максимальное значение интенсивности, регистрируемое фотоприемником. Для 8-битного значения градаций серого, $\text{MAX}_I = 255$.

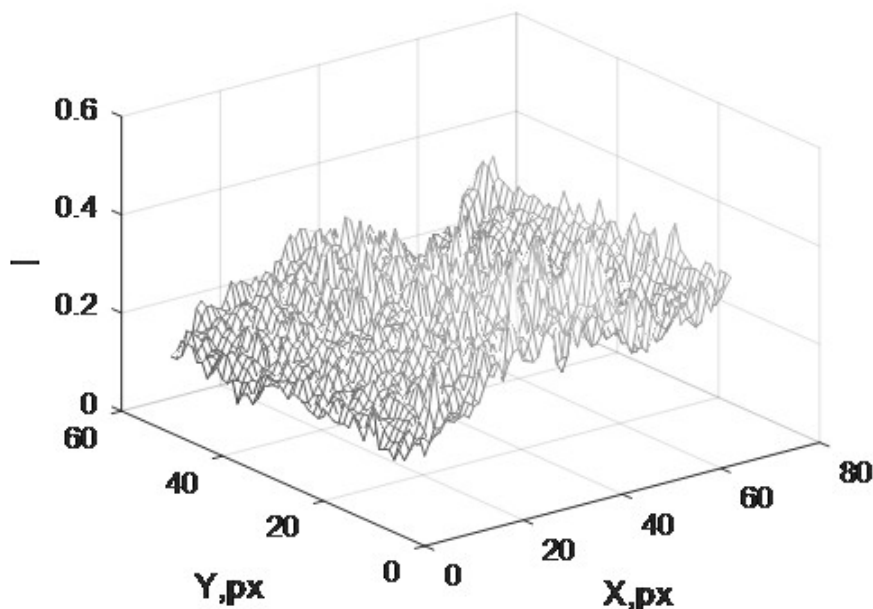


Рисунок 4 - Распределения интенсивности, зарегистрированные на изображении урановой таблетки
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.17.4>

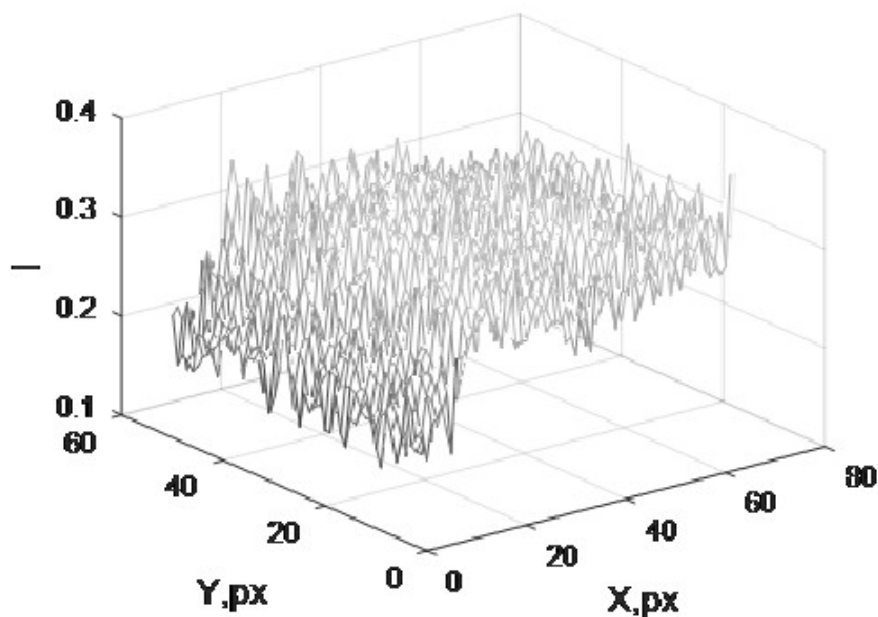


Рисунок 5 - Распределения интенсивности, зарегистрированные на изображении созданного стального имитатора
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.17.5>

На рис. 4 и 5 представлены распределения интенсивности, зарегистрированные на изображении урановой таблетки и созданного стального имитатора. 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.

Заключение

В результате разработан способ изготовления и контроля качества калибровочных имитаторов топливных таблеток. Технология основана на изготовлении стальных заготовок и последующей многошаговой механохимической обработке поверхности на основе чернения кислотным способом. Разработан стенд для контроля светорассеивающих свойств поверхности на основе анализа регистрируемого распределения интенсивности поверхности контролируемой таблетки при стационарном освещении. Показано, что созданный стенд обеспечивает качественное изготовление имитаторов топливных таблеток. Созданные калибровочные имитаторы топливных таблеток обеспечили эффективную разработку, настройку и калибровку узла контроля внешнего вида и геометрических размеров топливных таблеток для уранового производства Ульяновского металлургического завода.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Решетников Ф.Г. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. / Ф.Г. Решетников, Ю.К. Бибилашвили, Ю.А. Головнин – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 320 с.
2. Левин В.Е. Ядерная физика и ядерные реакторы. 4-е изд. / В.Е. Левин – М.: Атомиздат, 1979. – 286 с.
3. Dvoynishnikov S.V. Advanced phase Triangulation methods for 3D shape measurements in scientific and industrial applications. / S.V. Dvoynishnikov, I.K. Kabardin, V.V. Ralmanov // Machine . – 2019. – 1. – p. 675-709. doi: 10.1007/978-3-030-22587-2_21
4. Meledin V.G. Informatics of optoelectronic measurements: Science and innovative industrial technologies. / V.G. Meledin // Journal of Engineering Thermophysics. – 2009. – V.18. – p. 99–128. doi: 10.1134/S1810232809020039
5. Финогонов Л.В. Высокоточный оптико-электронный контроль боковой поверхности топливных таблеток с определением глубины дефектов. / Л.В. Финогонов, П.С. Завьялов, В.Э. Карлин и др. // Датчики и системы. – 2016. – № 7. – с. 53-59.
6. Финогонов Л.В. Оптико-электронная система автоматического контроля внешнего вида топливных таблеток. / Л.В. Финогонов, А.В. Белобородов // Дефектоскопия. – 2007. – № 10. – с. 68-79.

7. Двойнишников С.В. Способ определения края объектов цилиндрической формы на изображении теньвым методом размерного контроля. / С.В. Двойнишников, В.В. Рахманов, И.К. Кабардин и др. // Автотметрия. – 2022. – № 1. – с. 40-46.
8. Завьялов П.С. Стереоскопический метод контроля торцевой поверхности топливных таблеток с использованием дифракционных фокусаторов. / П.С. Завьялов, М.С. Кравченко, М.В. Савченко и др. // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – № 2. – с. 30-41.
9. DMK 33GX264 GigE monochrome industrial camera. – URL: <https://www.theimagingsource.com/products/industrial-cameras/gige-monochrome/dmk33gx264/> (accessed 21.06.2022)
10. The Imaging Source 5 MP lenses. – URL: <https://www.theimagingsource.com/products/optics/lenses/tis-5-mp/> (accessed 21.06.2022)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Reshetnikov F.G. Razrabotka, proizvodstvo i e'kspluatatsiya teplovy'delyayushhix e'lementov e'nergeticheskix reaktorov. [Development, production and operation of fuel elements of power reactors] / F.G. Reshetnikov, Yu.K. Bibilashvili, Yu.A. Golovnin – M.: E'nergoatomizdat, 1995. – 320 p. [in Russian]
2. Levin V.E. Yadernaya fizika i yaderny'e reaktory'. 4-e izd. [Nuclear physics and nuclear reactors. 4th ed.] / V.E. Levin – M.: Atomizdat, 1979. – 286 p. [in Russian]
3. Dvoynishnikov S.V. Advanced phase Triangulation methods for 3D shape measurements in scientific and industrial applications. / S.V. Dvoynishnikov, I.K. Kabardin, V.V. Ralmanov // Machine . – 2019. – 1. – p. 675-709. doi: 10.1007/978-3-030-22587-2_21
4. Meledin V.G. Informatics of optoelectronic measurements: Science and innovative industrial technologies. / V.G. Meledin // Journal of Engineering Thermophysics. – 2009. – V.18. – p. 99–128. doi: 10.1134/S1810232809020039
5. Finogenov L.V. Vy'sokoproizvoditel'ny'j optiko-e'lektronny'j kontrol' bokovoj poverxnosti toplivny'x tabletok s opredeleniem glubiny' defektov [High-performance optoelectronic control of the side surface of fuel tablets with the determination of the depth of defects]. / L.V. Finogenov, P.S. Zav'yalov, V.E'. Karlin et al. // Datchiki i sistemy' [Sensors and systems]. – 2016. – № 7. – p. 53-59. [in Russian]
6. Finogenov L.V. Optiko-e'lektronnaya sistema avtomaticheskogo kontrolya vneshnego vida toplivny'x tabletok [Optical-electronic system of automatic control of the appearance of fuel tablets]. / L.V. Finogenov, A.V. Beloborodov // Defektoskopiya [Flaw detection]. – 2007. – № 10. – p. 68-79. [in Russian]
7. Dvojnishnikov S.V. Sposob opredeleniya kraja ob'ektov cilindricheskoy formy' na izobrazhenii tenevy'm metodom razmernogo kontrolya [A method for determining the edges of cylindrical objects in an image by the shadow method of dimensional control]. / S.V. Dvojnishnikov, V.V. Raxmanov, I.K. Kabardin et al. // Avtometriya [Autometry]. – 2022. – № 1. – p. 40-46. [in Russian]
8. Zav'yalov P.S. Stereoskopicheskij metod kontrolya torcevoj poverxnosti toplivny'x tabletok s ispol'zovaniem difrakcionny'x fokusatorov [Stereoscopic method of control of the end surface of fuel tablets using diffraction focusers.]. / P.S. Zav'yalov, M.S. Kravchenko, M.V. Savchenko et al. // Intere'kspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]. – 2018. – № 2. – p. 30-41. [in Russian]
9. DMK 33GX264 GigE monochrome industrial camera. – URL: <https://www.theimagingsource.com/products/industrial-cameras/gige-monochrome/dmk33gx264/> (accessed 21.06.2022)
10. The Imaging Source 5 MP lenses. – URL: <https://www.theimagingsource.com/products/optics/lenses/tis-5-mp/> (accessed 21.06.2022)