

РЕНТГЕНОКОНТРАСТНОСТЬ ЛЕГИРОВАННОГО БОРОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

С.А. Максименко¹⁾, Д.В. Адамчук¹⁾, М.И. Демиденко¹⁾, Г.Ю. Дробышев²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Институт ядерных проблем,
ул. Бобруйская 11, Минск 220006, Беларусь, adamchuk_dzmitry@yahoo.com

²⁾ЗАО «АДВИН Солюшнс», Минск 220075, Беларусь

Образцы легированного бором пиролитического углерода были синтезированы методом CVD на внутренней поверхности нагреваемой цилиндрической осесимметричной графитовой сборки, содержание бора в объеме материала варьируется в диапазоне 15-19 ат.%. Исследование рентгеноконтрастности и функциональных свойств экспериментальных образцов синтезированного пиролитического углерода было произведено на оборудовании: аппарат рентгенодиагностический Униэксперт 3+ (производитель АДАНИ, РБ), аппарат рентгеновский маммографический «МАММОСКАН» (производитель АДВИН, РБ). На приведенных в работе изображениях отчетливо виден контур спрофилированных створок из опытного образца пиролитического углерода а также профиль образцов пиролитического углерода в условиях нормального прохождения рентгеновского излучения. Параметры рентгеновской трубки при проведении исследований 40 кВ, ток 100-120 мА. Рентгеноконтрастность материала позволяет использовать рентгенодиагностические методики анализа структурной целостности изделий из разработанного материала пиролитического углерода в биомедицинских приложениях.

Ключевые слова: пиролитический углерод; легированный бором; рентгеновская контрастность; спектроскопия комбинационного рассеяния.

X-RAY CONTRASTING OF BORON-DOPED PYROLYTIC CARBON

S. Maksimenko¹⁾, D. Adamchuk¹⁾, M. Demidenko¹⁾, G. Drobyshev²⁾

¹⁾Institute of Nuclear Problems of the Belarusian State University,
11 Bobruiskaya Str., 220006 Minsk, Belarus, adamchuk_dzmitry@yahoo.com

²⁾ADVIN Solutions CJSC, 220075 Minsk, Belarus

The boron-doped pyrolytic carbon is formed by pyrolysis of a hydrocarbon gas with BCl₃ creating random crystallization in reactor that heating temperature to 1480° - 1570°C. An introduced hydrocarbon gas undergoes decomposition at these temperatures creating free carbon that recrystallizes on the surface it comes in contact. The study of radiopacity and functional properties of experimental samples of synthesized pyrolytic carbon was carried out using the following equipment: X-ray diagnostic apparatus Uniexpert 3+ (manufacturer ADANI, Republic of Belarus), mammography apparatus MAMMOSCAN (manufacturer ADVIN, Republic of Belarus). The images presented in the work clearly show the contour of the profiled flaps from the experimental sample of pyrolytic carbon, as well as the profile of the pyrolytic carbon samples under normal X-ray transmission conditions. X-ray tube parameters during research 40 kV, current 100-120 mA. The X-ray contrast of the material makes it possible to use X-ray diagnostic methods for analyzing the structural integrity of products made from the developed pyrolytic carbon material in biomedical applications.

Keywords: pyrolytic carbon doped with boron; X-ray contrast; Raman spectroscopy.

Введение

Благодаря высоким эксплуатационным характеристикам и биосовместимости пиролитический углерод является перспективным материалом в области биологического протезирования. Кристаллическая структура пироуглерода имеет искаженную структуру решетки со случайными неассоциированными атомами углерода в

отличие, например, от графита. Эта структура обеспечивает изотропные свойства материала, который обладает отличной стабильностью, прочностью, износостойкостью, усталостной прочностью и биосовместимостью [1].

НИИ ЯП БГУ разработан перспективный материал - пиролитический углерод, легированный бором [2], который облада-

ет улучшенными механическими характеристиками и биоинертностью. В таблице 1 показаны основные механические характеристики синтезированного материала.

Таблица 1. Основные механические характеристики материала

Плотность, кг/м ³	1800-2100
Микротвердость, кг/мм ²	115-135
Модуль упругости, ГПа	20-25
Прочность на изгиб, МПа	250-450
Концентрация легирующего элемента (В), %	12-19

Одной из необходимых характеристик, предъявляемых к протезируемым материалам, является возможность контроля состояния имплантированного участка. Данная работа представляет результаты исследований рентгеноконтрастности синтезируемого материала.

Методика синтеза и оборудование для анализа

Установка синтеза легированного бором пироуглеродного материала основана на методе химического осаждения из газовой фазы (CVD). Синтез материала протекает на внутренней поверхности нагреваемой до 1480-1570 °С цилиндрической графитовой сборки, через которую пропускаются контролируемые газовые потоки азота, трихлорида бора и углеродсодержащих газов при низком абсолютном давлении.

Синтезируемый материал гладкий, твердый, черного цвета, состоит из 2D и 3D кристаллических структур. Двумерные графитовые слои накладываются друг на друга, образуя трехмерную кристаллическую структуру с искаженными 2D решетками. Это обеспечивает высокие механические характеристики получаемого материала.

Для контроля рентгеноконтрастности использовалось стандартное рентгенодиагностическое медицинское оборудование - аппарат рентгенодиагностический Униэксперт 3+ (производитель АДНИ, РБ) и аппарат рентгеновский маммографиче-

ский «МАММОСКАН» (производитель АДВИН, РБ). Параметры рентгеновской трубки при проведении исследований 40 кВ, ток 100-120 мА.

Полученные результаты

На рисунках 1, 2, 3 приведены изображения створок клапанов и пластин исследуемого материала пироуглеродного с использованием различного оборудования и различных фоновых модельных объектов.

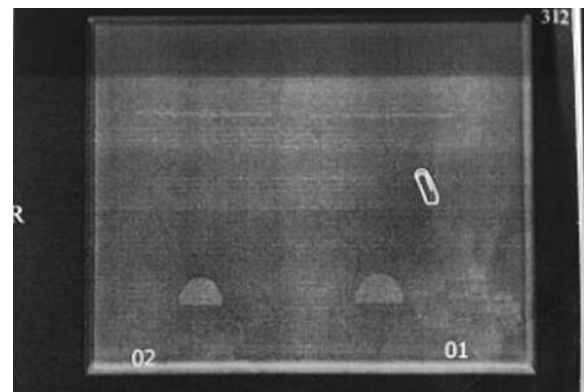


Рис. 1. Изображение створок клапана сердца, полученное на аппарате рентгенодиагностический Униэксперт 3+

На рисунке 1 отчетливо видны профилированные створки на аппарате рентгенодиагностический Униэксперт 3+, для примера показано изображение металлической скрепки.

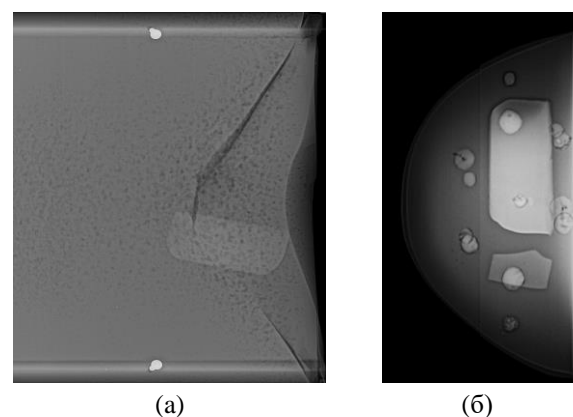


Рис. 2. Изображение пироуглеродного углерода, полученное на аппарате рентгеновском маммографическом «МАММОСКАН» (производитель АДВИН, РБ) на фоне а) модели грудной клетки человека, б) модели молочной железы с шарообразными образованиями

На рисунке 2 отчетливо видны пластины пиролитического углерода на фоне моделей мягких тканей грудной клетки человека, полученное на аппарате рентгеновском маммографическом «МАММОСКАН».

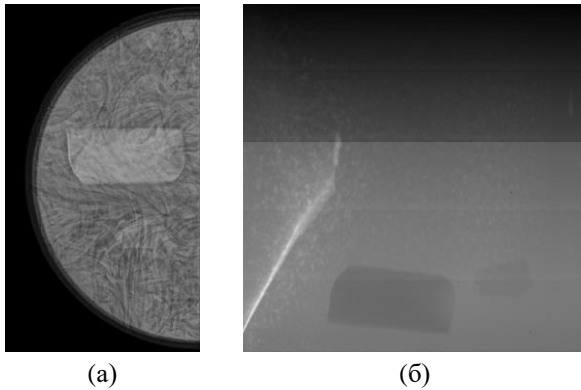


Рис. 3. Изображение пиролитического углерода, полученное на аппарате рентгеновском маммографическом «МАММОСКАН» на фоне а) модели твердых тканей, б) модели мягких тканей.

На рисунке 3 отчетливо видны пластины пиролитического углерода на фоне моделей твердых и мягких тканей полученное на аппарате рентгеновском маммографическом «МАММОСКАН».

Заключение

Разработанный опытный материал пиролитического углерода, легированного бором, благодаря относительно высокой плотности, обладает достаточным уровнем рентгеноконтрастности для биомедицинских приложений. Это позволяет использовать рентгеновское излучение и существующее оборудование для характеристики структурной целостности и диагностики функционирования имплантированного изделия из пиролитического углерода.

Библиографические ссылки

1. Lowell С.Е. Solid Solution of Boron in Graphite. *Journal of the American Ceramic Society* 2006; 50(3): 142 - 144
2. Демиденко М.И., Адамчук Д.В., Русанов А.П., Сироткин С.В., Иванько Л.В., Максименко С.А. Легированный бором пиролитический углерод: материал для биомедицинского и инженерно-технического применения. *Доклады Национальной академии наук Беларуси* 2023; 67(3): 250-256.