

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Андриановой Натальи Николаевны «Физико-химические закономерности процессов высокодозного ионного модифицирования углеродных и композиционных материалов для обеспечения их функциональных свойств», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность темы

Углеродные и композиционные материалы благодаря таким свойствам, как жаропрочность, сопротивляемость износу, способность длительно работать в условиях воздействия агрессивных сред различной природы, находят применение в качестве элементов конструкций ядерной и плазменной техники, радиохимических устройств и аэрокосмических аппаратов. Были и остаются актуальными разработки искусственных графитов и композитов для атомных реакторов. Важнейшими при этом являются разработки методик оценки времени жизни материалов в реакторах. Такие методики нужны не только для реакторов нового поколения, но и для действующих. Так, их внедрение позволило на несколько десятков лет увеличить срок безопасной работы действующих реакторов. Перспективными при этом представляются разработки методик на основе ионного облучения, имитирующего облучение нейтронами в реакторе и позволяющими многократной уменьшить время и стоимость испытаний. Увеличение производительности и эффективности производственных процессов, сопровождается повышением требований по эрозионной и радиационной стойкости, термостойкости, термической совместимости в композитах, высокой удельной поверхности к уже используемым конструкционным материалам. Для обеспечения таких функциональных свойств также применяются высокотехнологичные ионно-плазменные методы модифицирования и анализа поверхностного слоя материалов. В результате ионного воздействия (облучения) происходит изменение как морфологии, так и структуры поверхностного слоя материала, формируется определенный углубленный слой из имплантированных частиц и внесённых дефектов, в силу этого изменяются и его электрофизические, физико-механические и физико-химические свойства. Это обуславливает необходимость как прикладных, так и фундаментальных исследований углеродных материалов и композитов в условиях воздействия ускоренными потоками частиц и определяет актуальность представленной Андриановой Н.Н. диссертационной работы, посвященной изучению и установлению физико-химических закономерностей процессов высокодозного ионного модифицирования углеродных и композиционных материалов для обеспечения их функциональных свойств.

Научная новизна

Автором четко сформулированы основные научные результаты, к числу наиболее существенных и содержащих научную новизну, можно отнести следующие.

Разработана и теоретически обоснована методика оценки радиационной стойкости углеродных материалов на основе анализа температурных и энергетических изменений коэффициента ионно-электронной эмиссии. С помощью данной методики определены пороговые уровни первичных радиационных нарушений, приводящих к аморфизации образцов графита, стеклоуглерода и углеродных композитов.

Установлено, что при высокодозном облучении высокоориентированного пиролитического графита ионами аргона с энергией 30 кэВ при температурах ниже ионно-индуцированного текстурного перехода (150°C) наблюдается формирование наноразмерного

С отзывом ознакомлена
26.03.2020 г. *[подпись]*

рельефа, а при температурах 300 – 400°С на поверхности формируется микрорельеф, обуславливающий двукратное увеличение коэффициента распыления.

Показано с помощью ионно-электронной эмиссии, что при высокодозном ионном облучении высокоориентированного пирографита наблюдаются эффекты глубокого модифицирования поверхности, при которых изменение структуры происходит на глубину до 1000 нм.

Установлено, что модифицирование углеродного волокна с текстурированной оболочкой при высокодозном облучении ионами инертных газов и азота приводит к её аморфизации при нагреве ниже температуры динамического отжига радиационных нарушений или рекристаллизации при нагреве выше этой температуры. Показано, что в процессе рекристаллизации происходит деформация поверхности углеродных волокон с образованием «гофров». Явление гофрирования проявляет пороговый характер по уровню первичных радиационных нарушений. Показана возможность ионно-индуцированной графитизации поверхности углеродного волокна на основе вискозы.

Выявлена связь ионно-лучевого гофрирования углеродных волокон с радиационными размерными изменениями углеродных материалов при нейтронном облучении. Предложен и экспериментально подтвержден механизм процесса гофрирования за счет релаксации ионно-индуцированных механических напряжений в оболочке волокна и пластической деформации двойникованием.

Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден эффект гофрирования углеродных волокон на основе полиакрилонитрила при высокодозном облучении ионами гелия с энергией 1 – 3 кэВ.

Практическая значимость работы

Результаты проделанных и приведенных в диссертационной работе исследований расширяют возможности и представления об углеродных материалах и композитах на их основе, их эксплуатационных характеристиках и особенностях структурных изменений в условиях высокодозного ионного воздействия.

Разработаны методики оценки радиационной стойкости и пороговых уровней первичных радиационных нарушений, приводящих к образованию новых поверхностных структур при ионном облучении углеродных и композиционных материалов.

Определены температурные и энергетические режимы ионного облучения стеклоуглеродов и высокоориентированного пирографита для получения наностеночных структур с низковольтной автоэлектронной эмиссией.

Разработаны методика и способы получения модифицированных углеродного волокнистого наполнителя (волокон) и углеродных тканей для армирования композитов.

Разработаны и используются в НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова и АО "Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита "НИИГрафит" ионно-лучевые методики исследования структуры поверхностного слоя углеродных материалов и композитов.

Достоверность полученных результатов

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается большим экспериментальным материалом, полученным с помощью современного оборудования, надежных и независимых методов исследования, включающих электронную и оптическую микроскопию, рентгеновский структурный анализ и электронографию, спектрометрию резерфордского и ядерного обратного рассеяния, спектроскопию комбинационного

рассеяния, сравнением с результатами тестированных компьютерных программ моделирования и согласием экспериментальных результатов с литературными данными, полученными при сопоставимых условиях.

Диссертационная работа содержит семь глав, в которых обстоятельно рассмотрены вопросы, раскрывающие тему и представлены соответствующие результаты для углеродных материалов (графитов, алмаза и стеклоуглерода), углерод-углеродных и углерод-керамических композитов, стеклокерамики. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.16.01 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

По тексту диссертационной работы и автореферата имеются следующие замечания:

1. В диссертационной работе большое внимание уделено вопросам эрозии (распылению) и развитию морфологии углеродных материалов, в том числе волокон, и углерод-углеродных композитов, однако, вопросу сходства и различия ионно-индуцированного гофрирования углеволокнистых материалов и углеродного волокна в составе композита не уделено достаточное внимание.

2. В диссертационной работе обсуждаются вопросы влияния радиационных нарушений на микроструктуру пиролитических графитов, моделирования нейтронного воздействия и оценки радиационной стойкости углеродного волокна на основе вискозы в углерод-керамических композитах при высокодозном облучении ионами аргона с энергией 10 – 30 кэВ, однако, не обсуждается сходство и различие ионного модифицирования углеродных материалов и радиационной обработки путем облучения электронами при получении углеродных композитов.

3. В диссертации (стр.118) для тонкого углеродного слоя на поверхности алмаза после ионного облучения используется термин «турбостратный графит». Следует заметить, что турбостратный углерод не является графитом.

4. При обсуждении анизотропных свойств углеродных материалов не выделены уникальные свойства анизотропии графита, в частности анизотропия КЛТР, лежащая в основе понимания уникальных размерных изменений графитовых материалов в ядерных реакторах.

5. В автореферате не приводятся причины, объясняющие минимум, наблюдаемый при 400-500°C как при нейтронном, так и ионном облучении (см. рис.13).

6. Из автореферата неясно значительное различие значений температуры динамического отжига T_a для углерод-керамического композита и графитов, поскольку его наполнитель – это полиакрилонитрильные углеродные волокна.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Заключение:

В целом, диссертация Андриановой Н.Н. «Физико-химические закономерности процессов высокодозного ионного модифицирования углеродных и композиционных материалов для обеспечения их функциональных свойств» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований получены новые, научно обоснованные технические и технологические решения, методики и закономерности высокодозного ионно-лучевого модифицирования поверхности углеродных и композиционных материалов.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на международных и всероссийских научно-технических конференциях, опубликованы в 79 печатных работах, в том числе 40 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень

ВАК и базы данных *Web of Science* и *Scopus*, а также в 2 патентах Российской Федерации на изобретение. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке новых углерод-углеродных и углерод-керамических композитов, армированных углеродными волокнами, в научно-исследовательских институтах и университетах, на предприятиях, связанных с авиа- и ракетостроением, атомной энергетикой, химической промышленностью и металлургией, материаловедением.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Андрианова Наталья Николаевна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, начальник научно-производственного отдела углеродных карбидо-кремниевых материалов Акционерного общества «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИГрафит»



Подпись Бубненко Игоря Анатольевича удостоверяю,
(должность)

(подпись)

Бубненко Игорь Анатольевич

(Фамилия И.О.)

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИГрафит»
111524, г. Москва, Ул. Электродная, д. 2
Электронный адрес: niigrafit@niigrafit.org
Телефон: +7(495) 278-00-08