

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертационную работу Лучкина Максима Сергеевича на тему «Углерод-углеродный композиционный материал с повышенными физико-механическими характеристиками», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

### **Актуальность темы исследования**

Композитный материал — это комбинация двух или более составных частей, объединённых макроскопически, которые обладают уникальными структурными свойствами, превосходящими свойства отдельных частей. Одним из видов существующих искусственных композитных материалов являются углеродные композиты.

На основании анализа данных, представленных в различных источниках, можно говорить о том, что потребность в углеродных композитах в мире возрастает. Так, например, за последние пять лет ежегодный рост потребления таких композитов оценивается на уровне ~13 %. Объем производства углеродных композитов в России сегодня не превышает нескольких процентов от мирового рынка. Иначе говоря, отечественный рынок композиционных материалов находится на этапе становления. При этом в отечественной промышленности углеродные композиты и входящие в их состав углеродные волокна отнесены к группе стратегических, важных для технологической независимости страны, материалов.

Интерес к углеродным композитам обусловлен тем, что они характеризуются высокой прочностью, устойчивостью к высоким температурам, превосходной теплопроводностью и малым (по сравнению с металлами) весом. Поэтому они находят применение в авиа- и ракетостроения, транспортной и строительной индустрии, энергетике, химической промышленности в целом и нефтехимии в частности. Области применения углеродных композитов определяются их свойствами.

Во многом свойства конечного продукта зависят от условий его получения. Можно выделить следующие этапы получения: создание армирующего каркаса, формирование матрицы с последующими карбонизацией и графитацией. Для формирования матрицы на сегодняшний день широко распространено использование метода осаждения пиролитического углерода из газовой фазы, а также пропитка каркаса пеками нефтяного и каменноугольного происхождения. Следует отметить, что в литературных источниках сведений о влиянии температурного воздействия на свойства образующейся матрицы недостаточно и зачастую представленные материалы противоречивы. Поэтому проведение исследований, направленных на **решение задачи**, связанной с получением углеродных композитов, характеризующихся высокими и, что более важно, стабильно воспроизводимыми характеристиками, **является актуальной задачей**.

#### **Достоверность результатов исследования**

Достоверность представленных в работе результатов основывается на использовании стандартных методов испытаний, апробированных методик исследования, а также современных методов анализа и обработки полученных результатов.

#### **Публикации и апробация результатов исследования**

Результаты исследований опубликованы и апробированы: в 3 статьях, индексируемых в международных базах, 1 статье в журнале, входящем в перечень ВАК; 6 работах, представленных на научных мероприятиях (конференции); 1 патенте РФ.

#### **Научная новизна исследований:**

1) установлено, что для рассматриваемого материала на базе каркаса из углеродного волокна и пековой матрицы основной вклад в формирование структуры определяется не взаимодействием кристаллитов волокна и мезофазы матрицы, а режимами технологических процессов: пропитка и карбонизация под давлением и последующая высокотемпературная обработка;

2) для рассматриваемого углеродного композита основе волокнистого каркаса и пековой матрицы выявлено и обосновано влияние вклада свойств границы раздела волокно-матрица на прочностные характеристики;

3) получена кинетическая модель скорости осаждения пироуглеродного слоя на поверхности углеродного волокна, адекватно описывающая изменение массы и толщины слоя в широком интервале варьирования продолжительности осаждения.

#### **Практическая значимость исследований:**

1) разработан и запатентован режим пропитки и карбонизации под давлением, позволяющий получать матрицу материала с меньшим количеством микродефектов;

2) обоснован выбор финишной температуры высокотемпературной обработки УУКМ на базе каркаса из углеродного волокна и пековой матрицы, позволяющий получать заготовки с повышенными прочностными характеристиками;

3) предложена методика сквозного неразрушающего контроля изделия по косвенному определению прочностных характеристик материала посредством измерения его твердости;

4) предложена методика контроля степени совершенствования структуры рассматриваемого УУКМ методом рамановской спектроскопии;

5) расширена база сведений о связи свойств материала с технологическими условиями производства УУКМ, что дает возможность предсказывать структуру и физико-химические свойства материала.

#### **Анализ содержания диссертационной работы**

Глава 1. Глава посвящена анализу научно-технической литературы по теме диссертации. Соискатель представил общие сведения об углеродных композитах, отдельно выделил область их применения в качестве тормозных дисков. Представил основные стадии получения композиционных углеродных материалов и провел анализ влияния режимов температурной обработки на свойства

получаемого углеродного композита. Привел характеристики, определяющие свойства композитов и методы их определения.

Представленный обзор литературы выглядит целостным и в необходимом объеме отражает результаты проведенных исследований в различных научных центрах.

Глава 2. Методическая часть. В данной главе диссертационной работы приведено описание объекта исследования и методик определения его характеристик. Автором использованы широко применяемые и апробированные методы анализа. Методики анализа материала описаны достаточно подробно.

Глава 3. В данной главе автором представлены результаты исследования влияния температуры обработки композита на его свойства и структуру. Проведенные автором исследования позволили установить зависимости изменения некоторых характеристик углеродного композита от температуры термической обработки. Но, что более привлекательно, полученные автором данные позволили выявить корреляционные связи между изменением этих характеристик. Например, автором получен график зависимости теплопроводности материала от его твердости, и на основе данной зависимости можно провести оценку теплопроводности материала через его твердость, не прибегая к методам измерения на лабораторном оборудовании, что значительно сокращает время сквозного контроля партии.

Глава 4. Связана с проведением исследований влияния параметров процессов производства композита на его свойства и структуру. Хотелось бы отметить, что приведенные в этой главе данные хорошо дополняют представленные в литературе результаты изысканий, сделанных другими исследователями. Так, например, сделанный автором вывод о необходимости плавного подъема температуры в интервале 400-550 °С хорошо коррелируется с данными о превращениях, происходящих с углеводородами при повышении температуры при проведении карбонизации и графитации.

Представляет интерес информация об осаждении пироуглерода на подложке. На мой взгляд, информация о механизме осаждения пироуглерода на

подложке в совокупности с изучением характеристик образующегося пироуглерода, исследованием микроструктуры получаемого композита и влияние на нее параметров процессов производства, может стать основой для разработки комплексного метода оценки и прогнозирования свойств получаемого материала.

Глава 5. Направлена на применение методов неразрушающего контроля для изготовления изделий из углеродного композиционного материала. В этой главе автором рассмотрены данные, позволившие ему говорить о том, что спектроскопия комбинационного рассеивания является мощным и перспективным методом идентификации как самих углеродных материалов, так и оценки их свойств.

### **Вопросы и замечания по диссертационной работе**

1. Проводя анализ литературы, автор для жидкофазного способа получения углеродных композитов выделяет пропитку пеком каркаса с использованием избыточного давления. Однако существует и вариант пропитки с использованием вакуума. Почему этому способу не было уделено внимание?

2. В своей работе соискатель для достижения поставленной цели выделил задачу №2, связанную с «...оценкой и предложением наиболее подходящего метода неразрушающего контроля...»). На мой взгляд, проведенный анализ литературы по методам анализа характеристик углеродных композитов не полностью охватывает существующие методы, а также в обзоре не отражена информация о возможности прогнозирования или корреляции свойств получаемых композитов, предложенных иными исследователями.

3. На рисунке 18 диссертации представлена фотография волокна с частицей матрицы. Хотелось бы узнать, почему соискатель считает выделенную зону частью матрицы, а не дефектом волокна.

4. На странице 52 диссертации автор утверждает, что «...основной вклад в величину прочности на изгиб вносит прочность на растяжение, и трещина распространяется в основном по границе раздела «волокно-матрица»». Хоте-

лось бы более подробного объяснения причин, позволивших автору сделать такой вывод.

5. В таблице 3 диссертации приведены характеристики получаемых изделий. Для образца позиции №2 отмечены наименьшие значения, что автором объясняется невозможностью обеспечить достаточное заполнения пор пеком при пропитке. Такое объяснение возможно, но оно не единственное. Подтверждалось ли это объяснение прямым исследованием дефектности структуры материала?

6. На странице 73 диссертации автором делается утверждение, что «...определение толщины слоя пироуглерода для оценки его вклада в свойства данного материала недостаточно». Однако на рисунке 31 автор приводит зависимости прироста плотности и твердости после процесса пиролитического уплотнения. Разве прирост плотности в том числе не связан с толщиной образующегося слоя?

7. Автор в своей работе акцентировал внимание на использовании для идентификации углеродного материала и его свойств спектроскопию комбинационного рассеяния. Однако осталось не до конца понятным, почему автор отдает предпочтение этому методу, а не методам, основанным на рентгеновском излучении.

### **Соответствие диссертации научной специальности**

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ, в части:

10. Неметаллические углеродсодержащие материалы. Физико-химические принципы технологии углеродных материалов и изделий, включают стадии подготовки исходных материалов, смешивания и гомогенизации компонентов, формования заготовок или изделий, их упрочнения, высокотемпературных процессов, обработки материалов и изделий для придания им требуемых свойств, формы и размеров. Технологии производства углеродных материалов различного назначения, технический углерод. Сырьевые углеродсодержащие материалы.

11. Научные основы и закономерности физико-химической технологии и синтеза специальных продуктов. Новые технологии производства специальных продуктов.

### **Заключение**

Считаю, что по своей актуальности, научной и практической значимости, объему выполненных исследований диссертационная работа Лучкина Максима Сергеевича на тему «Углерод-углеродный композиционный материал с повышенными физико-механическими характеристиками» соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом №103ОД от 14.09.2023 г. (с последующими редакциями), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».

### **Официальный оппонент:**

Николаев Александр Игоревич,

доктор технических наук по специальности 02.00.13 Нефтехимия, профессор кафедры химии и технологии основного органического синтеза, института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет».

119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78

e-mail: nikol@mirfea.ru, 8(495)2460555 доп.33478.

04.12.2024

А.И. Николаев

Подпись руки

*A.I.*

удостоверяю



*Лучкина*