

## ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертации Айдемира Тимура «Композиты на основе наночастиц FeCo: получение, структура и свойства», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17.

«Материаловедение» (технические науки)

### Актуальность темы исследований

Создание новых функциональных материалов на основе магнитных наночастиц является одним из наиболее перспективных направлений развития материаловедения, что обусловлено, прежде всего, уникальными, «программируемыми» на этапе синтеза свойствами материалов, такими как высокая магнитная активность, развитая поверхность, устойчивость к агрессивным средам, рядом физико-механических и теплофизических свойств, каталитическая активность, биологическая активность и др. Практически важным является разработка различных устройств на основе данных материалов.

Биметаллические наночастицы представляют наибольший интерес для получения перспективных функциональных материалов благодаря варьированию соотношения компонентов, что приводит к синергии их свойств в конечных материалах. Среди разработанных в настоящее время методов получения биметаллических наночастиц одним из перспективных способов является разработанный в ИПХФ РАН и использованный в диссертационной работе Т. Айдемира метод термолиза соединений-предшественников, содержащих в своем составе оба необходимых металла. Применительно к выбранным автором диссертации FeCo наночастицам такими предшественниками являлись акриламидные комплексы Fe(III) и Co(II), фронтальная сополимеризация которых и последующий термолиз в условиях невысоких (400°C) температур позволили получить наночастицы FeCo в карбонизированной оболочке. Достигнутое в диссертационной работе Т. Айдемира изменение физико-химических и теплофизических свойств углеродных наноматериалов путем модифицирования углеродной структуры гетероатомом – азотом представляется актуальным и перспективным, так как позволяет влиять на матричную стабилизацию металлических наночастиц, их электронное состояние и функциональные свойства конечных материалов. В диссертационной работе Т. Айдемира основанный на фронтальной полимеризации и контролируемом термолизе полимерных

комплексов металлов подход реализован на примере получения функционального наполнителя (для различных матричных структур – полиэтилена или полиальфаолефина) в виде биметаллических наночастиц FeCo в углеродной матрице, допированной азотом. Поэтому тема работы, без сомнения, является актуальной.

### **Общая характеристика работы**

В диссертационной работе рассматривается способ получения биметаллических наночастиц в полимерной матрице, основой которого являлся разработанный ранее в ИПХФ РАН метод для монометаллических систем. Особенностью подхода является одновременное получение наночастиц FeCo и углеродной матрицы, допированной азотом, из азотсодержащего углеродного предшественника (полиакриламидных комплексов металлов). Последовательность метода фронтальной полимеризации мономерных прекурсоров и процесса контролируемого термолиза позволяет модифицировать (допировать) углеродную оболочку получаемых наночастиц азотом. Основу работы представляют экспериментальные исследования полученных материалов.

В работе проведен подробный обзор литературы по различным методам синтеза наночастиц и композитов FeCo. Автором также рассмотрены существующие реологические модели течения магнитных жидкостей, использованные для обоснования экспериментальных результатов. Обзор охватывает большой период времени, включая работы 2021 года.

Подробно описаны методы получения моно- и полимерного комплексов FeCo, суспензий, содержащих FeCo и нанокompозитов, которые использованы в работе. Кратко описаны использованные методы анализа свойств (рентгенофазовый анализ, просвечивающая электронная микроскопия, элементный анализ, ИК-спектроскопия, ДСК, ТГА, магнитометрия, методы механических испытаний, ДМА, методы исследования трибологических и реологических свойств). Представлен метод моделирования кривых течения. Констатация наблюдаемых эффектов представляет интерес, заслуживает высокой оценки и требует более детального обоснования и анализа физико-химической природы наблюдаемых закономерностей.

Работа основана на экспериментальных данных, полученных с участием автора, при интерпретации которых использованы представления физической химии

и материаловедения. На основе результатов исследования можно утверждать, что полимер-опосредованный синтез позволяет получать биметаллические наночастицы FeCo в углеродной оболочке, допированной азотом, без дополнительных инициаторов.

Видно, что исследования свойств полученных материалов проводились на приборах многих исследовательских институтов. Совокупность накопленных результатов представляет большой интерес для дальнейших исследований и повышения эффективности выбранного метода синтеза металлических наночастиц.

### Научная новизна

1. В работе Т. Айдемира впервые для получения наночастиц FeCo в углеродной матрице, допированной азотом, предлагается использовать подход, основанный на одновременном получении наночастиц FeCo и углеродной матрицы, допированной азотом, из азотсодержащего молекулярного предшественника — полиакриламидного комплекса металлов. В результате получены биметаллические наночастицы FeCo в углеродной матрице, допированной азотом, композиты в матрице полиэтилена высокого давления (ПЭВД) и суспензии в полиальфаолефиновом масле (ПАО).

2. Показано и научно обосновано, что использование сокристаллизатов акриламидных комплексов нитратов Fe(III)Co(II) для получения полимерных материалов как молекулярных прекурсоров наночастиц FeCo является технологически выгодным, поскольку позволяет получать биметаллические наночастицы FeCo в углеродной оболочке, допированной азотом, без добавления внешних активаторов либо модифицирующих добавок.

3. Показана термическая стабильность композиционных материалов на основе наночастиц FeCo в ПЭВД матрице, подтвержденная индексом термостойкости HRI, который увеличивается с ростом концентрации биметаллических наночастиц FeCo.

4. Показаны перспективные направления применения материалов на основе композитов FeCoPolyAAm/ПЭВД в качестве эффективных антифрикционных систем (снижение износа пары трения в 2,5 раза) и наночастиц FeCo/C-N в качестве

функциональных магнитоактивных наполнителей для магнито реологических жидкостей.

5. Показана демпфирующая способность полученных композиционных материалов.

6. Разработана концепция демпфирующего устройства, функционирующего на основе нанодисперсной магнито реологической жидкости на основе наночастиц FeCo/C-N и ПАО.

### **Практическая значимость диссертационной работы**

Разработанные эффективные методы получения функциональных материалов на основе наночастиц FeCo/C-N путем твердофазной термически инициированной фронтальной полимеризации сокристаллизатных полиакриламидных комплексов металлов и последующего контролируемого термолиза полимерных продуктов позволяют одновременно формировать высокодисперсные биметаллические наночастицы и стабилизирующую их C-N оболочку. Полученные композиты на основе ПЭВД матриц, наполненные частицами полиакриламидного комплекса FeCoPolyAAm (прекурсорами наночастиц FeCo/C-N), проявляют повышенные антифрикционные показатели и позволяют использовать их в технических узлах трения-скольжения (у автора диссертации имеется акт внедрения от 04.10.2021 г.). Полученные магнито реологические жидкости способны повышать вязкость растворителя в диапазоне от 0,1 до 1 Гц, что позволяет их использовать для низкочастотных устройств.

Разработанная модель демпфирующего устройства на магнито реологической жидкости с управляемой демпфирующей способностью может позволить осуществлять эффективное гашение низкочастотных колебаний с возможностью механической подстройки уровня гашения колебаний (патент RU 2 769 591 C1 от 04.04.2022 г.).

**Достоверность результатов** обеспечивается высоким практическим уровнем исследований с использованием комплекса современных физико-химических методов анализа. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 8-ой, 9-ой, 10-ой Всероссийских научных конференциях с международным участием «Механика композиционных материалов и конструкций,

сложных и гетерогенных сред» (Москва, 2018, 2019, 2020); XXXVI Всероссийском симпозиуме молодых ученых по химической кинетике (Московская обл., 2019); 12-th International Conference on Composite Science and Technology (Италия, 2019), 18-th IUPAC International Symposium on Macromolecular Complexes (MMC-18, Russia, 2019); Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021» (Россия, 2021).

### **Замечания по работе**

1. Автором получены наночастицы размером от 10 до 6 мкм с хорошими магнитными свойствами. Не очень ясно, за счет каких свойств удалось добиться таких результатов, и как можно рассматривать ядра наночастиц, это сплав FeCo, кристаллы или другие образования.

2. В работе нет информации об устойчивости полученных наночастиц к агрессивным средам, кислотам, щелочам.

3. Автором разработано новое устройство и получен патент. В каких областях промышленности наиболее перспективно использование таких наночастиц?

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации и служат пожеланием продолжения работ в этой интересной с научной и практической точки зрения области современного материаловедения.

### **Заключение**

Представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне, написана технически грамотным языком и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения разработки функциональных композиционных материалов на основе биметаллических наночастиц FeCo в углеродной матрице, допированной азотом.

Основное содержание работы опубликовано в 5 журнальных публикациях (4 в международных, индексируемых WoS, Scopus и 1 - в сборнике из перечня ВАК), 7 тезисах докладов конференций, а также получен 1 патент на магнитореологическое демпферное устройство. Содержание автореферата соответствует тексту диссертационной работы.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа «Композиты на основе наночастиц FeCo: получение, структура и свойства» 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, Тимур Айдемир заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки).

Официальный оппонент:

Доктор химических наук  
(специальности: 02.00.04 «Физическая химия», 02.00.02 «Аналитическая химия»)  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН»  
Ведущий научный сотрудник лаборатории концентрирования  
тел. +7(495)939-70-41;  
e-mail: vshkinev@mail.ru;

Шкинев Валерий Михайлович

МП

« 24 » ноября 2022 г.

Служебный адрес:  
Институт геохимии и аналитической химии РАН  
119991, г. Москва, ул. Косыгина, д. 19.  
Тел.: + 7(499)137-14-84.  
Факс: +7(495)938-20-54

