

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
**Видюк Томила Максимовны**  
**«ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ Ti-C-Cu ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ СПЕКАНИИ И ХОЛОДНОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ»**,  
представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.15. Химия твердого тела

**Актуальность избранной темы.** Устойчивое внимание исследователей к меди и ее сплавам не является случайным, и оно обусловлено свойствами этих материалов: высокой электро- и теплопроводностью и хорошей коррозионной стойкостью. Однако относительно низкая прочность, невысокая твердость и плохая износостойкость ограничивают их применение. Эффективным методом решения этой проблемы является разработка композитов с медной матрицей, армированных керамическими частицами (например, карбидами, оксидами, боридами).

Использование реакционного метода ("in-situ") формирования композита является интересным подходом и, несомненно, перспективным направлением в области управляемого синтеза композитов с металлической матрицей. Данные об изменении состояния фаз и структуры компонентов композита и по условиям реализации методов электроискрового спекания и холодного газодинамического напыления **актуальны** и будут востребованы при разработке будущих *промышленно-ориентированных* технологий изготовления изделий на основе композитов с металлической матрицей.

**Содержание работы.** Общий объем диссертации составляет 142 страницы, содержит 80 рисунков и 13 таблиц. Структура диссертации традиционна, состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, результатов и их обсуждения, выводов, заключения и списка литературы, содержащего 206 ссылок.

Во *Введении* дано обоснование актуальности работы, сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.



В литературном обзоре (*глава 1*) представлен анализ основных публикаций по теме исследования. Детально рассмотрены основы синтеза материалов методом электроискрового спекания (ЭИС) порошков. Особое внимание уделено реакционному методу получения композитов с металлической матрицей и способам контроля фазового состава и микроструктуры получаемых материалов. Рассмотрев современные способы получения композитов TiC-Cu, автор обосновал выбор метода синтеза - ЭИС с предварительной механической активацией порошков реакционной смеси. На основе тщательного анализа литературы были сформулированы цель и задачи настоящей диссертационной работы.

В *главе 2* (экспериментальная часть) представлено описание используемых в работе методик (включая оригинальные, и это заслуга автора) для получения композитов TiC-Cu методом электроискрового спекания порошковых смесей, паяных соединений медь/графит с промежуточным слоем Ti-Cu при пропускании электрического тока под давлением и покрытий Ti-C-Cu методом холодного газодинамического напыления с последующей обработкой, основанной на воздействии электрического тока. В работе использован широкий набор современных физико-химических методов анализа для описания химического и фазового состава, структуры, морфологии и функциональных характеристик синтезированных объектов. Высокий уровень исследовательской техники и квалифицированное ее применение, а также численность и качество эксперимента обеспечили сопоставимость данных и правильность интерпретации, поэтому **достоверность** полученных экспериментальных результатов и **обоснованность** научных положений не вызывают сомнений.

В *главе 3* подробно обсуждены особенности синтеза ряда композитов: TiC-Cu, TiC-Al, WC-Cu. Учитывая, что изучаемые процессы являются многопараметрическими, автор уделил особое внимание и получил большое количество результатов по рассмотрению влияния природы реагента-источника углерода, природы матрицы и карбидообразующего элемента,



времени механической обработки, температуры спекания и времени выдержки при ЭИС, воздействия электрического тока и стратегии эксперимента (in-situ и ex-situ синтез ЭИС) на структуру и функциональные свойства синтезированных композитов.

Следует отметить, что автор прошел длинный и сложный путь оптимизации процесса синтеза композита TiC-Cu. Проведен выбор оптимальных условий МО с оптимизацией времени обработки. Дальнейший выбор оптимальных условий синтеза - условия ЭИС (температура, время выдержки). Отличительная особенность работы состоит в рассмотрении влияния различных источников углерода на микроструктуру композита и размер частиц TiC<sub>x</sub>. Важно, что в обеспечение успеха работы автором был заложен оригинальный подход сравнения трех систем, что позволило получить важные фундаментальные знания об особенностях реакционных смесей и факторах, влияющих на процесс синтеза для двойных и тройных систем. Полученные данные можно использовать для выбора стратегии формирования композиционных материалов с металлической матрицей, и это значительное достижение автора.

*Главы 4 и 5* посвящены рассмотрению вопросов взаимодействия сплава Ti-Cu с углеродом в условиях электроискрового спекания и формированию композиционных покрытий TiC-Cu, полученных с использованием метода холодного газодинамического напыления с последующим электроискровым спеканием. Следует отметить, что важным достижением автора является определение оптимальных путей синтеза композитов TiC-Cu как в виде объемного материала, так и в пленочном состоянии.

Также следует подчеркнуть, что выбор композитов TiC-Cu, уже востребованных практикой, но очень трудных объектов исследования (многокомпонентные системы, сложное микроструктурное устройство, фазовая гетерогенность) уже на начальной стадии был сделан с нацеленностью на практическое применение. Такой выбор базировался на глубоком базовом химическом знании автора и его видении пути решения проблемы.



Важно, что уже на старте автор ориентировался на достижение не просто высокой величины функциональных характеристик (электропроводность, предел текучести на сжатие, предел прочности на сжатие и твердость), а на величины, диктуемые практикой. Это решение усложнило ход всего процесса исследования и потребовало от автора не только масштабного мышления, но и умения работать с разной измерительной техникой.

Следует отметить, что содержательная часть диссертационной работы **полностью соответствует** заявленной **цели исследования** и поставленным **задачам**, по каждой из которых соискателю удалось достичь научно- и практически значимых результатов.

Большинство представленных результатов являются **новыми** и значительно расширяют наши представления об особенностях морфологии и структуры композита TiC-Cu и их влиянии на свойства материала. Еще раз хочется подчеркнуть высокий уровень **практической значимости** диссертационной работы Видюк Т.М. Сведения о структуро- и фазообразовании в системах Ti-C-3Cu, Ti-C-3Al и W-C-3Cu, знание факторов, определяющих микроструктуру продуктов ЭИС, могут быть ориентиром для разработки технологических процессов, обеспечивающих высокую воспроизводимость требуемых характеристик материала (высокие значения электропроводности и механической прочности).

Диссертация написана хорошим языком и ее читаешь с интересом.

После прочтения автореферата и диссертационной работы имеется ряд уточняющих вопросов:

- 1) На основе каких данных был выбран состав исходной смеси Ti:C:Cu = 1:1:3 (стр. 43)?
- 2) Как контролировался химический состав смеси перед экспериментом ЭИС?
- 3) На стр. 64 Вы пишете, что «Фаза карбида титана, синтезированная в композитах, является нестехиометричной, ...», тем не менее, в тексте используете формулу TiC. Корректнее было бы писать  $TiC_x$ .



- 4) На стр. 80, в описании композитов, полученных из смеси Ti-C(графит)-3Cu, говорится, что «Фаза TiC имеет нестехиометрию по углероду», но не указывается соотношение C/Ti, которое полезно сравнить с композитом, полученным из смеси Ti-C(сажа)-3Cu.
- 5) На стр. 102 автор пишет, что «нами была предложена схема диффузионных процессов, происходящих в тройной системе Ti-C-Cu при твердофазном синтезе композитов TiC-Cu (рис. 63)». Полезно было бы обсудить, в чем сходство или различие со схемой, описанной в работе F. Wang et al. *Materials Characterization*. 2018. V. 141. P. 186-192?
- 6) При напылении методом ХГН использовался несущий газ – воздух при 400 °С. Как контролировалось возможное окисление порошков и покрытия?
- 7) В тексте диссертации и в автореферате используется размерность температуры в К и °С. Это не затрудняет понимание результатов, тем не менее, единообразие всегда приветствуется.

Вместе с тем, высказанные замечания и вопросы не снижают общую высокую оценку диссертационного исследования.

Основные результаты, полученные соискателем, опубликованы в 10 статьях в рецензируемых журналах (9 статей в журналах WoS), 1 главе в монографии, а также прошли апробацию в виде докладов на 12 профильных всероссийских и международных конференциях.

Диссертационная работа Видюк Томилы Максимовны по теме «Особенности фазовых и структурных превращений в системе Ti-C-Cu при электроискровом спекании и холодном газодинамическом напылении» является завершенным научным исследованием. Рецензируемая научно-квалификационная работа по актуальности темы, новизне, научному и практическому значению полученных результатов, обоснованности выводов, объему и уровню исполнения соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного



Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 с изменениями от 21 апреля 2016 г. №335, а сам **автор** работы Видюк Томила Максимовна **заслуживает присуждения** искомой **степени кандидата химических наук** по специальности 1.4.15. Химия твердого тела.

Официальный оппонент:  
кандидат химических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник,  
зав. лабораторией функциональных пленок и покрытий  
Института неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН.  
Косинова М.Л.

*Мосиц —*  
15.11.2022

Контактные данные:  
тел.: +7(383)330-96-05, e-mail: marina@niic.nsc.ru  
Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация: 02.00.04 – «физическая химия».

Адрес места работы:  
630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 3.  
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН.  
тел.: +7 (383)330-94-86, e-mail: olager@niic.nsc.ru

Подпись сотрудника ИНХ СО РАН М.Л. Косиновой удостоверяю:

Ученый секретарь  
Института неорганической химии  
им. А.В. Николаева СО РАН  
д.х.н.



*[Handwritten signature]*

О.А. Герасько

15.11.2022