

## Отзыв

### официального оппонента Титова Дмитрия Дмитриевича

на диссертацию Михеева Максима Валерьевича «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез материалов на основе дисилицида молибдена в условиях давления со сдвигом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 - Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

### Актуальность избранной темы

Среди всех дисилицидов  $\text{MoSi}_2$  обладает самой высокой стойкостью к окислению выше температур  $1000^\circ\text{C}$ . Высокая стойкость к окислению  $\text{MoSi}_2$  связана с образованием на поверхности защитной пленки из оксида кремния, препятствующей диффузии кислорода и дальнейшему окислению материала. Благодаря этому дисилицид молибдена и материалы на его основе получили широкое распространение в качестве нагревательных элементов для печей, работающих в воздушной атмосфере. Широкие возможности создания новых материалов на основе  $\text{MoSi}_2$  открывает использование процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Быстрота и простота этого процесса делают его очень привлекательным для использования в производстве материалов и изделий. Однако в СВС - технологии не нашли еще должное применение прогрессивные способы, использующие высокотемпературную сдвиговую пластическую деформацию материала. Изучение закономерностей протекания процессов СВС и особенности формирования структуры в условиях воздействия высокой температуры и сдвигового давления является актуальной задачей, которую подтверждают гранты, в которых участвует по данной теме автор диссертации.

## Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка цитируемой литературы (143 наименования). Общий объем работы составляет 141 страница, в том числе 97 рисунков, 21 таблица.

В первой главе диссертации рассматривается мировой опыт в данной теме. Проведенный широкий анализ зарубежной и нашей литературы, включает в себя самые современные публикации 2017 года и основополагающие статьи, датируемые 80-ми года прошлого века. В результате анализа были сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Автор диссертации для решения поставленных задач в работе использовал широкий спектр современного технологического и исследовательского оборудования - этому посвящена вторая глава.

Третья глава - реологические свойства. Важной частью работы было исследование реологических свойств шихты, этому автор посвятил значительную часть диссертации: описал теоретические основы и подробно продемонстрировал экспериментальную часть, включающую в себя 13 рисунков и 7 таблиц, что подтверждает большой объем проделанной работы.

Четвертая глава включает в себя исследование характеристик горения шихты и влияние добавки титана. Автор показал, что увеличение пластичности материала при введении металла-связки связано с тем, что при СВС титан, находясь еще в расплавленном состоянии, обволакивает закристаллизовавшиеся зерна  $MoSi_2$  и при последующем деформировании улучшает скольжение этих зерен относительно друг друга. Это приводит к увеличению степени деформации материала при введении металла - связки.

В пятой главе рассмотрены особенности СВС-экструзии материала на основе  $MoSi_2$  и исследованы свойства полученных материалов, в частности автор провел сравнения

удельного электрического сопротивления промышленного нагревательного элемента и полученные методом СВС-экструзии.

Заключительная глава подводит к логическому завершению работы исследованием сочетания синтеза порошковых материалов на основе  $\text{MoSi}_2$  и применением деформации сдвига и давления. Шестая глава подтверждает возможность использования данного метода для получения изделий в одну стадию, включающую в себя синтез и прессование.

Диссертационная работа Михеева Максима Валерьевича выполнена на высоком научном уровне, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, результаты обоснованы и подтверждены многочисленными экспериментами.

В качестве достоинства хочется отметить огромный объем проделанных экспериментов, проведенных на различных этапах работы.

### **Оценка новизны и достоверности полученных результатов**

Основная научная новизна работы заключается в том, что представленные в диссертационной работе результаты расширяют и углубляют представления о закономерностях структурообразования и формования порошковых материалов и изделий на основе дисилицида молибдена.

Отраженные в диссертации научные положения соответствуют области исследования специальности 01.04.17 – Химическая физика, горения и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость результатов заключается в разработке и создании установки закрытого типа, в которой проводится синтез тугоплавких соединений и измельчение до

порошкового состояния не успевших остыть до комнатной температуры продуктов реакции в одном технологическом цикле.

### **Замечания по диссертационной работе**

1) В разделе 2.1 «Оборудование, используемое в работе» не приводятся сведения об используемом оборудовании для РФА и СЭМ, хотя в работе приведены рентгенограммы и снимки микроструктуры.

2) В 5 главе рассматривается способ получения керамических стержней из дисилицида молибдена в одну стадию: СВС-синтез и экструзия. Из результатов РФА анализа до конца не ясно о равномерности распределения фазы и полноте прохождения процесса синтеза во всем объеме получаемого изделия. Было бы интересно сравнить результаты РФА анализа с поверхности и на нескольких поперечных срезах.

3) Поскольку автор предлагает применить данную технологию для получения нагревательного элемента. Из текста не ясно насколько возможно масштабировать процесс экструзии для получения габаритных изделий?

4) На рисунке 69 приведены зависимости удельного сопротивления от температуры образцов с 5 и 10 мас.%  $Al_2O_3$  и коммерческого нагревателя  $MoSi_2$ . Из графика следует, что удельное сопротивление композита с 10 мас.%  $Al_2O_3$  равно  $18 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$ . Автор в работе не объясняет, почему удельное сопротивление композита ниже, чем у монокристалла  $MoSi_2$  ( $21,5 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$ )?

5) Замечания по оформлению: на рис. 30 - подпись залезает на график; на рис. 31 - легенда частично закрывает график; рис. 45 - давление прессования указано в миллипаскалях (скорее всего, имелось ввиду Мегапаскаля), по тексту встречаются незначительные опечатки, однако общее их количество не велико.

## Заключение

Указанные недостатки, в основном, относятся к погрешностям оформления или являются дискуссионными и не влияют на общую высокую оценку работы. Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов, считаю, что диссертационная работа Михеева Максима Валерьевича «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез материалов на основе дисилицида молибдена в условиях давления со сдвигом» является завершённым исследованием, представленные в ней результаты позволяют сделать заключение о хорошей профессиональной подготовке соискателя. Диссертационная работа Михеева Максима Валерьевича соответствует паспорту специальности ВАК и требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор Михеев М.В. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 - Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

### Официальный оппонент

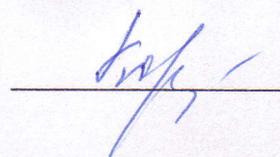
кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИМЕТ РАН

«10» сентября 2018 г.

 **Титов Д.Д.**

Подпись к.т.н. Титова Д.Д. заверяю  
начальник отдела кадров



 / **Корочкина Г.А.**

### Титов Дмитрий Дмитриевич

Кандидат технических наук, специальность 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, старший научный сотрудник лаборатории «Физико-химического анализа керамических материалов», ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва  
Адрес: 119334, Москва, Ленинский пр. 49, лаборатория №33  
Тел.: +7 (916) 157-52-54  
e-mail: [mitytitov@gmail.com](mailto:mitytitov@gmail.com)