

Отзыв

официального оппонента Салганского Евгения Александровича
на диссертационную работу 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 работы

Труднодеформируемые жаропрочные материалы, такие как материалы на основе дисилицида молибдена, обладают пониженными технологическими свойствами, что затрудняет изготовление из них изделий сложной формы. В связи с этим, при изготовлении таких изделий актуальной проблемой является разработка различных методов формообразования, которые бы обеспечивали получение нужного изделия или полуфабриката. Широкие возможности создания таких материалов позволяет метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Явными преимуществами данного метода, по сравнению, с методами порошковой металлургии, являются скорость получения изделия и простота используемого оборудования. Но для СВС-методов закономерности протекания процессов и особенности формирования структуры, в условиях высокотемпературного сдвигового деформирования, должным образом не изучены. Таким образом, разработка научных подходов, методик и создание установок, реализующих эти условия для получения полуфабрикатов и изделий из труднодеформируемых жаропрочных материалов на основе дисилицида молибдена, является актуальной научно – технической задачей.

Содержание работы

Общий объем диссертационной работы составляет 141 страницу и включает в себя введение, шесть глав, общие выводы, приложение с актом использования результатов, список литературы из 143 наименований. Работа содержит 96 рисунков и 23 таблицы.

Первая глава диссертации посвящена анализу зарубежной и отечественной литературы. Литературный обзор включает в себя как фундаментальные работы 80-х годов прошлого века, так и современные публикации. В ходе проведения анализа литературных данных была сформулирована цель работы и поставлены задачи для её достижения.

Во **второй главе** диссертантом описаны методики и исследовательское оборудование, применяемые в работе для выполнения поставленных задач.

Третья глава посвящена изучению реологических свойств шихтовых смесей различного состава, при проведении предварительного холодного прессования шихтовых заготовок. Следует отметить большой объем проделанной работы и полученных экспериментальных результатов.

В **четвертой главе** проводилось измерение характеристик горения шихтовых заготовок различных составов, а также изучалась формуемость материалов. В качестве критерия формуемости была выбрана степень деформации материала, в зависимости от технологических параметров процесса свободного СВС-сжатия. Изучено влияние добавления порошка титана в исходную шихту на формуемость материалов. Показано, что в ходе прохождения СВС процесса титан расплавляется и играет роль «смазки» улучшая скольжение зерен MoSi_2 относительно друг друга при дальнейшем деформировании, что приводит к увеличению формуемости материала.

Пятая глава посвящена получению методом СВС-экструзии компактных изделий из материалов на основе дисилицида молибдена. Показана принципиальная возможность проведения СВС-экструзии данного материала. У полученных образцов изучена микроструктура и фазовый состав, а также получены зависимости удельного электросопротивления от

температуры, проведено сравнение результатов с нагревательными элементами получаемыми промышленно методами порошковой металлургии.

В **шестой главе** рассматривается совмещение СВС–процесса со сдвиговым деформированием и давлением для получения порошковых материалов. Найдены новые приемы управления структурообразованием и морфологией порошкового материала и предложен прототип установки, реализующей получение материала в режиме СВС в сочетании с высокотемпературным сдвиговым деформированием в одну технологическую стадию. Изучена микроструктура и фазовый состав полученных порошковых материалов.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность результатов и выводов не вызывает сомнений и определяется прежде всего широким набором методов, применённых для их получения. Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что разработаны новые технологические решения и приемы для получения изделий и материалов на основе дисилицида молибдена. Полученные диссертантом результаты расширяют представления о закономерностях структурообразования и формования материалов и изделий на основе дисилицида молибдена.

Главными результатами работы являются:

- 1) Исследование процесса синтеза порошков в режиме горения при совмещении деформации сдвига и давления. Показано, что изменяя параметры деформирования можно существенным образом влиять на структурообразование материалов на основе дисилицида молибдена (размер зерна, форма, морфология).

- 2) Показана принципиальная возможность получения компактных стержней из материалов на основе дисилицида молибдена методом СВС–экструзии. При развитии данного метода может получиться отличная

альтернатива производству высокотемпературных нагревательных элементов методом порошковой металлургии, отпадает необходимость в сложном оборудовании и большом энергопотреблении, необходимых для спекания.

Результаты работы опубликованы в 6 печатных работах в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК. Подана заявка на патент РФ. Полученные результаты докладывались и обсуждались на Международных и Всероссийских конференциях.

Практическая значимость работы

Предложенный прототип установки и методику можно использовать для реализации синтеза тугоплавких соединений и измельчения не успевших остыть до комнатной температуры продуктов реакции в одном технологическом цикле. При подобном подходе появляется возможность получения порошков тугоплавких соединений в одну технологическую стадию, избегая трудностей, связанных со сложностями измельчения холодных продуктов синтеза. Эта трудоемкая технологическая операция, осуществляемая в шаровых мельницах и атриторах, требует больших усилий ввиду высокой твердости материалов, порошок при этом загрязняется металлом. Обнадеживающие результаты по изучению не только этого процесса, но и его продуктов, показали перспективность развития указанных выше направлений исследований в области практического применения высокотемпературных труднодеформируемых материалов.

Замечания по работе

- 1) Почему теоретический расчет предсказывает монотонное снижение длины образца от времени задержки (рис. 64 диссертации; рис. 8 автореферата), а экспериментальные данные показывают наличие максимума этой зависимости (рис. 64 диссертации; рис. 8 автореферата и т.д.)?
- 2) В ходе выполнения работы было изучено влияние добавления порошка титана на формуемость материалов. Показано, что добавление порошка

титана в исходную шихту приводит к увеличению формуемости материала. Однако в дальнейшем этот результат не был применен ни при получении изделий из материалов на основе дисилицида молибдена методом СВС-экструзии, ни при получении порошковых материалов СВС-процессом при совмещении давления со сдвиговым деформированием. Для чего была проведена работа по изучению влияния добавления порошка титана на формуемость материалов? То, что добавление металла связки (титана) приводит к увеличению формуемости материала не было известно ранее?

3) Проводились ли оценки экономической целесообразности получения нагревательных элементов предложенным способом по сравнению с элементами марки Moly-D?

4) Состав шихтовой смеси дисилицида молибдена в сумме дает 102% (см. Табл. 5 диссертации; Табл. 1 автореферата), это опечатка?

5) Почему различаются значения адиабатической температуры горения дисилицида молибдена в автореферате на стр. 10 (1653°C) и в диссертации на стр. 31 (2160°C)?

6) Почему первая и вторая стадии деформации порошковых смесей, на реологической кривой, лежат в одном диапазоне до 40% (см. п.3.1 диссертации)?

7) В п.5.2 диссертации проводилось прогнозирование процесса СВС-экструзии материалов на основе дисилицида молибдена при помощи математического моделирования. Однако в расчетах была заложена скорость горения 10 мм/с, а в экспериментах она была равна 4.6 мм/с для материала с 10% корунда. Как в таком случае можно сравнивать результаты расчетов с экспериментальными?

Заключение

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки проделанной работы. Диссертационная работа Михеева М.В. является законченным научным исследованием, актуальным для современной

химической физики. Автореферат соответствует диссертации и достаточно полно отражает ее содержание. Диссертация соответствует специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Считаю, что диссертация Михеева М.В. «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез материалов на основе дисилицида молибдена в условиях давления со сдвигом» соответствует всем критериям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации Михеев М.В. заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник Отдела горения и взрыва
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт проблем
химической физики Российской академии наук
Адрес: 142432, Московская обл., Ногинский район,
г. Черноголовка, пр. Академика Семенова, д.1.
Рабочий телефон 8(49652)21368

E-mail: sea@icp.ac.ru

Е.А. Салганский

01.10.2018

Подпись Салганского Е.А. удостоверяю,
Ученый секретарь ИГХФ РАН,
доктор химических наук



Б.Л. Психа