

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Бажина Павла Михайловича на тему «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез в условиях сдвигового высокотемпературного деформирования для получения композиционных материалов и изделий на основе тугоплавких соединений», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.06 - «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

### **Актуальность темы диссертации**

Одним из перспективных направлений технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) является получение компактных изделий из композитной керамики за счет сочетания СВС с высокотемпературным пластическим деформированием продуктов горения, в частности, в условиях СВС-экструзии. Использование высокотемпературного деформирования на данном этапе развития СВС-технологий представляется весьма закономерным. По сравнению с альтернативными методами, основанными на традиционных методах порошковой металлургии, СВС-экструзия способна наиболее экономично получать компактные материалы и изделия на основе тугоплавких соединений, сохраняя при этом высокодисперсную структуру. Такие материалы востребованы во многих отраслях промышленности.

Однако до настоящего времени проблемы деформирования при СВС изучены мало. Имеющейся информации недостаточно для практического использования предлагаемой технологии. Поэтому представленная работа, посвященная разработке научных и технологических основ процессов СВС в условиях сдвигового высокотемпературного деформирования для получения материалов и изделий на основе тугоплавких соединений с заданными функциональными характеристиками, представляет большой интерес как с научной, так и прикладной точек зрения.

Актуальность работы подтверждается выполнением её в рамках 2 грантов Президента РФ, 5 грантов РФФИ, 3 проектов ФЦП и некоторых других программ и хозяйственных договоров с предприятиями РФ.

## **Оценка содержания диссертации, научной новизны и практической значимости.**

Для решения поставленных задач в работе автором был использован широкий спектр современного технологического и исследовательского оборудования, разнообразные методики исследования. Так, изучение структуры материалов осуществлено на рентгеновском микроанализаторе JCXA-733 «Superprobe», автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе сверхвысокого разрешения Zeiss Ultra plus на базе Ultra 55 и LEO 1450 VP, инвертированном универсальном металлографическом микроскопе Axiovert 200 MAT/M, дифрактометрах ДРОН-3М, ARL X'TRA. Механические свойства определены с использованием универсальной испытательной машины Instron 1195, универсального твердомера ИТ 5010-01 и ПМТ-3М-01. Трибологические характеристики получены на трибометре Nanovea TRB-1 и Tribometer. Всего использовано более около 2-х десятков современного высокотехнологичного оборудования. В процессе работы использовалась статистическая обработка экспериментальных данных, математическое моделирование наиболее важных процессов и осуществлялось сопоставление численных и экспериментальных исследований.

Представленная диссертационная работа является весьма многоплановой и охватывает большой круг вопросов: анализ современного состояния СВС-технологий и перспектив их развития; модернизацию оборудования и разработка специальной пресс-оснастки; теоретические и экспериментальные исследования процессов синтеза широкого спектра композиционных материалов на основе тугоплавких соединений, полученных по трем основным направлениям – СВС-экструзия, свободное СВС-измельчение, СВС-прессование. Изделия из разработанных материалов прошли апробацию в условиях промышленных производств.

При изучении процессов СВС-экструзии автором установлено, что за счет регулирования процессами горения исходных компонентов в сочетании со сдвиговым высокотемпературным деформированием в условиях СВС-экструзии, возможно получение материала с наноразмерной структурой. Теоретически и экспериментально установлено, что в условиях высокотемпературного сдвигового деформирования при СВС-экструзии,

реализуется эффект измельчения зерна до 2,5 раз, обусловленный действием растягивающих напряжений и сдвиговых деформаций. Разработаны рациональные технологические и конструкционные параметры метода СВС-экструзии для получения длинномерных образцов диаметрами 1-10 мм и длиной до 450 мм. Нарботаны опытные партии из более 50 различного состава новых материалов на основе керамических материалов с наноразмерной структурой, МАХ-фаз состава Ti-Al-C, карбидов, боридов и др.

При изучении СВС-прессования впервые разработаны принципы и приемы получения крупногабаритных изделий из композитных керамических материалов при сдвиговом высокотемпературном деформировании при использовании гидравлических прессов с малыми усилиями (менее 50 МПа). Получены крупногабаритные плиты, пластины на основе МАХ-фазы системы Ti-Al-C, материалов группы СТИМ, керамических материалов с наноразмерной структурой, интерметаллидов. Изучена структура, физико-механические и эксплуатационные характеристики изделий из указанных материалов, которые свидетельствуют о перспективности метода для получения макрослойных материалов.

Большой интерес представляет и результаты исследования процессов СВС-измельчения в условиях воздействия давления со сдвигом в реакторах, реализующих принципы ограниченного и непрерывного воздействия на продукты горения для получения порошковых материалов. Установлено влияние давления со сдвигом на свойства и качество синтезированных порошков на основе TiC, TiB, TiB<sub>2</sub>, MoSi<sub>2</sub>. Показано, что, сдвиговые нагрузки при СВС уменьшают размер зерна до 15-20 раз, изменяют морфологию агломерированных частиц.

Методом СВС-измельчения наработаны опытные партии порошков на основе MoSi<sub>2</sub>, TiC, TiB, TiB<sub>2</sub> для их дальнейшего практического использования при создании жаростойких композиционных материалов и при магнитноабразивной обработке.

В качестве достоинства диссертации следует отметить большой объем иллюстративного материала и прекрасное рентгенофазовое и металлографическое сопровождение на различных этапах исследований (более 270 рисунков).

**Основная научная новизна** работы состоит в развитии нового научного направления - СВС в условиях сдвигового высокотемпературного деформирования, которое способствует развитию и созданию новых передовых технологий: СВС-экструзии, СВС-измельчения, СВС-сжатия для получения материалов и изделий на основе тугоплавких соединений.

Впервые выявлено различие в действии объемного сжатия продуктов горения при СВС-прессовании и высокотемпературного сдвигового деформирования при СВС-экструзии и свободного СВС-сжатия на структуру и свойства полученного материала. Установлен эффект дробления - уменьшению размера структурных составляющих в 2-5 раз.

**Практическая значимость работы** состоит в разработке новых способов получения материалов на основе тугоплавких соединений и изделий из них (8 патентов РФ), уже востребованные и внедренные рядом предприятий.

Получены крупногабаритные плиты, пластины и длинномерные цилиндрические стержни на основе МАХ-фазы системы Ti-Al-C, материалов группы СТИМ, керамических материалов с наноразмерной структурой, интерметаллидов.

Материалы исследования используются в учебном процессе.

**Достоверность и обоснованность** научных положений и выводов, полученных в работе, основывается на физическом обосновании проведённых экспериментов, использовании классических экспериментальных методов исследования материалов и высокоточного современного оборудования, воспроизводимости экспериментальных данных, качественном и количественном соответствии с результатами, полученными другими авторами в данной области исследования, и использовании классических методов математического и статистического анализа экспериментальных данных.

### **Замечания по работе:**

1. Пункты научной новизны в значительной мере констатируют что сделано в работе (выявлены закономерности, исследованы особенности, установлено влияние и т.д.). Но суть этих закономерностей и особенностей (что конкретно получено?), отражена не в полной мере. Ответ потребовалось искать в тексте диссертации;

2. Из текста диссертации не ясно, почему при установлении зависимости между давлением прессования и плотностью шихтовых заготовок (раздел 1.2) автор не воспользовался известными уравнениями прессования (например, М.Ю.Бальшина) и классической трактовкой 3-х стадий прессования: структурная деформация, упругая и пластическая. В результате упругая деформация в разделе 1.2 вообще не обсуждалась;

3. В главе 2 на странице 130 диссертации отмечается влияние марки порошка титана на процесс СВС-экструзии материалов на основе Ti-B и обеспечение наибольшей температуры горения. Однако при рассмотрении других композиций обоснование выбора исходных порошков отсутствует. Так, при СВС-экструзии материалов на основе интерметаллидов Ni-Al без обоснования использованы достаточно крупные порошки марок ПНЭ-1 и АСД-1;

4. В работе осуществлялась статистическая обработка результатов экспериментов. Однако она носила выборочный характер. В ряде случаев указывался доверительный интервал для измеряемого значения, чаще - разброс полученных значений, а в некоторых случаях представлены только средние значения измеряемых свойств (например, таблице 35 на стр. 167).

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

### **Заключение**

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и является законченной научно - исследовательской работой, вносящей существенный вклад в развитие нового научного направления – самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в условиях сдвигового высокотемпературного деформирования, способствующего развитию новых технологий для получения композиционных материалов и изделий на основе тугоплавких соединений и решающего таким образом важную экономическую задачу.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, обсуждены на 50 российских и международных конференциях, опубликованы в 124 печатных работах, в числе которых 70 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По научному уровню полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа 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 Бажин Павел Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.06 - «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Профессор кафедры Материаловедения и  
технологии обработки материалов, д.т.н.

 (С.Д. Шляпин)

*Подпись*  *С.Д. удостоверяю*



ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА  
КАДРОВОГО  
УПРАВЛЕНИЯ РАБОТНИКОВ  
ШЛЯПИНА Т.И.  
30.09.2019

**Шляпин Сергей Дмитриевич,**

Доктор технических наук, специальность 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы», профессор кафедры Материаловедения и технологии обработки материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3.

Тел.: 8(916) 686-92-62. E-mail: [sshliapin@yandex.ru](mailto:sshliapin@yandex.ru)