

**О Т З Ы В**

официального оппонента Крупкина Владимира Герцовича на диссертацию

**БАЖИНОЙ АРИНЫ ДМИТРИЕВНЫ****«РАЗРАБОТКА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ СЛОИСТЫХ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МОНОБОРИДА  
ТИТАНА И МАХ-ФАЗ СИСТЕМЫ TI-AL-C В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОГО  
СВС-СЖАТИЯ»,**

по специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв,  
физика экстремальных состояний вещества, представленную на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

**Актуальность** избранной диссертантом темы не вызывает сомнений. Предметом исследования диссертационной работы является ряд проблем, связанных с технологией производства слоистых композиционных материалов, состоящих из чередующихся слоев металла и керамики, оригинальным методом свободного СВС-сжатия, объединяющего процесс самораспространяющегося высокотемпературного синтеза со сдвиговым деформированием. Этот технологический процесс позволяет получать компактные композиционные материалы на основе тугоплавких неорганических соединений и изделия из данных материалов в одну стадию на одном оборудовании, не разделяя данные процессы в пространстве и времени. Полученные новые материалы могут иметь улучшенные физико-механические свойства, а изделия из них увеличенный ресурс и надежность. Технология также обеспечивает снижение себестоимости изготовления материалов и изделий. Существенный объем диссертации посвящен исследованию структуры переходных зон в многослойных СВС-материалах.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.** Диссертантом разработаны оригинальные методики и усовершенствованы известные методики проведения экспериментов. Достоверность экспериментальных результатов и выводов подтверждается использованием современных аттестованных методов и методик при исследовании фазового состава, структуры, физико-механических и трибологических свойств полученных металлокерамических слоистых композиционных материалов, а также

подтверждается физически обоснованными экспериментальными результатами. Полученные научные результаты проведенных экспериментов хорошо воспроизводимы, согласуются с теоретическими данными, сопоставимы с научными результатами других исследователей.

Для анализа свойств исходных порошков и конечных продуктов использовался набор разнообразных методик – рентгенографический анализ для исследования кристаллических структур, сканирующий электронный микроскоп для исследования микроструктуры конечных продуктов, измерение предела прочности изделий при изгибе на машине сжатия РЕМ-20А и механических характеристик (микротвердость, модуль Юнга) на твердомере ТН500-01, коэффициент интенсивности напряжений осуществлялся с помощью металлографического инвертированного микроскопа «Альтами МЕТ 1С», для определения износостойкости и коэффициента трения скольжения полученных образцов проводились испытания на трибометре TRIBOMETER фирмы CSM Instruments. Такой широкий спектр методик подтверждает достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. В аналитическом обзоре литературы диссертантом критически проанализированы известные достижения и теоретические положения других авторов – по вопросам технологии получения слоистых композиционных материалов на различных основах TiB/Ti, TiB/TiAl/Ti, МАХ-фаз - их свойствам, видам и компонентам, особое внимание уделено достижениям СВС-технологий. Список литературы содержит 198 наименований.

В качестве **новых научных результатов**, полученных диссертантом, можно выделить

– исследование с помощью термопарных измерений особенностей температурных профилей, возникающих при горении и последующем деформировании в условиях свободного СВС-сжатия различных составов (TiB- Ti, МАХ-фаз составов  $3\text{Ti-Al-2C}$  и  $2\text{Ti-1,5Al-C}$ ), расположенных на титановых подложках;

– экспериментально установленная возможность использования свободного СВС-сжатия в качестве нового способа получения слоистых композиционных материалов на основе МАХ-фаз  $\text{Ti}_3\text{AlC}_2$  и  $\text{Ti}_2\text{AlC}$  на титановой подложке;

- доказанная возможность, путем изменения состава шихты и условий синтеза, получать при горении и высокотемпературном сдвиговом деформировании слоистые композиционные материалы с МАХ-фазами с заданным размером зерна, дополнительно упрочненные карбидными и интерметаллидными частицами;

– впервые показано, что переходная зона между металлокерамическими слоями на основе TiB/Ti и МАХ-фаз ( $Ti_2AlC$  и  $Ti_3AlC_2$ ) и титановой подложкой формируется за счет диффузии и конвективного перемешивания продуктов синтеза. Граница раздела между металлокерамическим материалом и титаном имеет волнообразную структуру и регулируется технологическими параметрами свободного СВС-сжатия.

Основные результаты диссертации известны научной общественности, нашли отражение в 11 статьях в реферируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК, базы данных Web of Science и Scopus (в т.ч. Q1) и неоднократно докладывались и обсуждались на различных конференциях и симпозиумах, в том числе международных.

#### **Значимость для науки и практики полученных автором результатов.**

Разработанные в диссертации новые способы получения слоистых металлокерамических композиционных материалов и градиентных материалов на основе МАХ-фаз системы Ti-Al-C защищены патентами РФ. Разработаны технологические процессы для получения металлокерамических слоистых композиционных материалов методом свободного СВС-сжатия, получены опытные партии крупногабаритных СКМ с заданной структурой на основе TiB-Ti и Мах-фаз  $Ti_3AlC_2$  и  $Ti_2AlC$  на титановых подложках. Изучена закономерность влияния пропорции толщины слоев на предел прочности при трехточечном изгибе полученных СКМ на основе TiB/Ti. Установлено, что, начиная с отношения высоты титанового слоя к общей высоте СКМ равной 0,17, предел прочности полученных СКМ превышает прочность монолитного материала TiB/Ti. Полученные в диссертации результаты могут найти применение в машиностроительной, аэрокосмической, химической и других отраслях промышленности.

#### **Общие замечания по диссертационной работе:**

1. Известно, что большой цикл исследований реакционной способности химических органических соединений был проведен академиком Н.С.Ениколоповым и оценен как новое открытие (1984г.): «Закономерности твердофазной полимеризации органических веществ (мономеров) в условиях сдвига и высоких давлений». Эти работы являются весьма актуальными и для технологий

самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Было бы полезно указать на неформальную аналогию химических процессов в условиях ДС+ВД органических и неорганических материалов. В качестве оправдания следует отметить, что в литературном обзоре диссертации А.Д. Бажиной имеется ссылка [161] на работу Н.С.Ениколопова.

2. Важной технологической характеристикой процесса СВС-сжатия является время, в течение которого материал выдерживается под давлением. Однако автор не указывает численную величину этого времени в экспериментах.

Отмеченные замечания несколько снижают качество исследований, но они не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

**Заключение.** Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены результаты, позволяющие квалифицировать их как научное исследование, содержащее подходы к решению практических задач экспериментального определения основных закономерностей формирования структуры и фазового состава и их взаимосвязь с физико-механическими и трибологическими характеристиками слоистых композиционных материалов составов  $TiB - Ti$ , в том числе с промежуточным интерметаллидным слоем  $Ti_xAl$  (где  $x=1, 1,5, 3$ ), при использовании компактных титановых подложек, а также при использовании исходного слоя титана в виде порошка. В диссертации продемонстрирована возможность использования метода свободного СВС-сжатия в качестве нового способа для получения слоистых композиционных материалов на основе МАХ-фаз системы  $Ti-Al-C$  на титановых подложках. Полученные в диссертации результаты могут иметь существенное значение для применения в машиностроительной, аэрокосмической и других отраслях промышленности. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.


Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По работе в целом сделаны четкие выводы.

**Автореферат** соответствует основному содержанию диссертации.

**Таким образом,** диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее

автор **БАЖИНА АРИНА ДМИТРИЕВНА** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент

доктор физ.-мат. наук, главный научный сотрудник \_\_\_\_\_  В.Г.Крупкин

«Подпись официального оппонента заверяю»

Заместитель директора по научной работе \_\_\_\_\_  М.В. Гришин

Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова

Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН), г. Москва.

119991, г.Москва, ул.Косыгина, д.4; тел. +7 495 9397295

[krupkin@chph.ras.ru](mailto:krupkin@chph.ras.ru)

М.П.

«22» апреля 2024 г.