

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.092.02 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА СТРУКТУРНОЙ МАКРОКИНЕТИКИ И ПРОБЛЕМ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ им. А.Г. МЕРЖАНОВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК (ИСМАН) МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 5 декабря 2018 г, №1

О присуждении ЩУКИНУ Александру Сергеевичу, гражданину России, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование взаимодействия продуктов горения системы Ni-Al с тугоплавкими металлами W, Mo и Ta» по специальности 01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества принята к защите 24 сентября 2018 года, протокол № 7, диссертационным советом Д 002.092.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук (ИСМАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 142432 Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 8, Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации №252/нк от 03.03.2016 г.

Соискатель Щукин Александр Сергеевич, 1985 года рождения, в 2009 году окончил ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» по специальности «Технология неорганических веществ». После окончания университета в 2009 году был принят на работу в ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН. Обучение в аспирантуре не проходил. В настоящее время работает в должности научного сотрудника в лаборатории динамики микрорегетерогенных процессов.

Диссертация выполнена в лаборатории динамики микрогетерогенных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им А.Г. Мержанова» Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель

Кандидат технических наук Сычёв Александр Евгеньевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физического материаловедения.

Официальные оппоненты:

Первухин Леонид Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией высокоэнергетических методов обработки материалов, Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина, г. Москва.

Долгобородов Александр Юрьевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории ударно-волновых воздействий, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, г. Москва - дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное учреждение высшего профессионального образования Национальный исследовательский технологический университет МИСиС, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном ученым секретарем кафедры ПМиФП, доцентом кафедры ПМиФП, к.т.н. Лопатиным Владимиром Юрьевичем и ученым секретарем НУЦ СВС, в.н.с. НУЦ СВС, доцентом кафедры ПМиФП, к.т.н. Курбаткиной Викторией Владимировной, указали, что диссертационная работа Щукина А.С. является научно-квалификационной работой и содержит новые научные знания. По объему полученных результатов

и научной значимости диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Щукин Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, из них: – 8 работ опубликовано в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ; – 17 тезисов докладов в материалах Всероссийских и Международных конференций. Общий объем научных изданий 5 печатных листа. Автором выполнен анализ литературных данных, проведены все экспериментальные исследования и количественная обработка полученных данных.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Sytshev A.E. SHS in mechanoactivated Ni-Al-W blends: Some structural aspects / Sytshev A.E., Vadchenko S.G., **Shchukin A.S.** // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. 2013. Т. 22. №. 3. С. 166–169.
2. Sytshev A.E. Combustion synthesis in the Ni-Al-W system: Some structural features / Sytshev A.E., Vrel D., Kolobov Yu.R., Kovalev D.Yu., Golosov E.V., **Shchukin A.S.**, Vadchenko S.G. // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. 2013. Т. 22. №. 2. С. 110–113.
3. Сычев А.Е. Особенности структуро и фазообразования в системе Ni-Al-W в процессе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Сычев А.Е., Vrel D., Колобов Ю.Р., Ковалев И. Д., Голосов Е.В., **Щукин А.С.**, Вадченко С.Г. // Композиты и наноструктуры. 2013. №. 2. С. 51-58.
4. Щукин А.С. Особенности формирования микроструктуры в системе Ni-Al-W в процессе СВС / **Щукин А.С.**, Вадченко С.Г., Сычёв А.Е. // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2017. №. 2. С. 72–78.
5. Щукин А.С. Тонкая структура переходной зоны, образующаяся между расплавом NiAl и подложкой из W при самораспространяющемся

высокотемпературном синтезе / **Щукин А.С.**, Сычёв А.Е. // Письма о материалах. 2017. Т. 7. №. 3. С. 244–248.

6. Щукин А.С. Влияние добавки NiO на взаимодействие в системе Ni-Al-W в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / **Щукин А.С.**, Сычев А.Е. // Физика горения и взрыва. 2018. Т. 54. №. 4. С. 55-63.
7. Щукин А.С. Синтез композита на основе системы W–Ni–Al методом электротеплового взрыва под давлением / **Щукин А.С.**, Щербаков А.В., Сычев А.Е., Щербаков В.А. // Письма о материалах. 2018. Т. 8 №. 3. С. 274-277.
8. Shchukin A.S. Interaction of NiAl intermetallic during SHS synthesis with Ta substrate / **Shchukin A.S.**, Vrel D., Sytschev A.E. // Advanced Engineering Materials. 2018. Т. 20. № 8. pp. 1701077.

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов. Все отзывы положительные; в некоторых имеются замечания. В них отмечается, что работа посвящена решению актуальной практической задачи, при этом имеет важное фундаментальное значение.

Замечания содержатся в следующих отзывах:

1. Отзыв из ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», подписан: д.ф.-м.н., профессором, заведующим кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» Амосовым А.П. Отзыв положительный. Содержит следующие замечания:

1) Не указаны размеры частиц порошковых компонентов и не исследовалось влияние этих размеров;

2) Не указаны параметры механической активации подложек тугоплавких металлов в смеси реакционных порошков.

2. Отзыв из ФГБУН «Томский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», подписан: д.ф.-м.н., в.н.с. отдела структурной макрокинетики Лапшиным О.В. Отзыв положителен. Замечаний нет.

3. АО «ОДК-Авиадвигатель», подписан: д.т.н., профессором, член-корреспондентом РАН, управляющим директором – генеральным

конструктором Иноземцевым А.А. Отзыв положительный. Содержит следующие замечания:

1) Не приведены термодинамические расчёты для систем с молибденом и танталом;

2) Не указаны размеры частиц порошковых компонентов и не исследовалось влияние этих размеров;

3) Отсутствуют данные о влиянии содержания W, Mo, Ta на физико-механические характеристики композитов при высоких температурах (~1600°C).

4. Отзыв из ФГБУН «Томский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», подписан: д.т.н., профессором, заслуженным деятелем науки РФ, главным научным сотрудником «Научно-исследовательский отдел структурной макрокинетики» Максимовым Ю.М. Отзыв положительный. Содержит следующее замечание:

- Глобулярные образования на поверхности подложки (рис. 8г) могут быть обусловлены травлением. Для сравнения необходимо было провести травление фольги до нанесения покрытия.

5. Отзыв из ФИЦ «Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук» подписан: д.ф.-м.н., доцентом, с.н.с. лаборатории когерентной оптики Института физики им. Л.В. Киренского Жарковым С.М. Отзыв положителен. Замечаний нет.

6. Отзыв из Института металлургии и материаловедения им. Фердинанда Тавадзе, Грузия, подписан: д.т.н., профессором, Академиком НАН Грузии, директором Тавадзе Г.Ф. и д.т.н., профессором, начальником отдела материаловедения Ониашвили Г.Ш. Отзыв положительный. Содержит следующее замечание:

- Известно, что при получении материалов методом СВС-тепловой взрыв, скорость нагрева существенно влияет на свойства получаемого продукта, в частности на фазовый состав и пористость. Установление автором оптимального значения скорости нагрева при синтезе методом ЭТВ тяжелого

сплава (90 масс. % W + 10 масс. % Ni+Al), по нашему мнению можно было получить более высокие значения физико-механических свойств.

7. Отзыв из ООО «Научно-производственный центр «Самара», подписан: к.т.н., директором по науке Юдиным П.Е. Отзыв положительный. Содержит следующие замечания:

1) Значение температур в Главе 3 указано с точностью до целого, при этом погрешность термопар второго класса точности, изготовленных из проволоки ВР5/ВР20 составляет 0,5%, следовательно, корректнее указывать значения с округлением до десятков;

2) Осталась не понятной фраза на стр. 15 абзац 2 автореферата «Рентгенофазовый анализ обработанных образцов показал, что образование интерметаллидов в покрытиях не обнаружено», при этом вся 4 глава посвящена нанесению интерметаллидной системы Ni-Al на подложку из Мо.

8. Отзыв из ГНУ «Физико-технологический институт НАН Беларуси», подписан: д.ф.-м.н., доцентом, главным научный сотрудник лаборатории «Физика тонких пленок» Хиной Б.Б. Отзыв положительный. Содержит следующие замечания:

1) Эксперименты проведены на образцах малого размера (диаметром 3 мм и высотой 1 мм для системы 90% W + 10% NiAl) и на тонких фольгах Мо, W и Ta. Будут ли результаты существенно отличаться при масштабировании на большие размеры образцов?;

2) В автореферате имеется неточность: «Растворимость Al в Мо около 10 ат. % при температуре 1600°C, растворимость Мо в Ni составляет 28,4 ат. % при температуре эвтектики 1318°C» (стр. 15). На самом деле, согласно диаграммам равновесия Al-Мо и Ni-Мо, 10 ат. % - это растворимость Мо в твёрдом Al (который отсутствует при взаимодействии во время СВС), а растворимость Мо в жидком Al составляет около 36 ат. % при температуре СВС; 28,4 ат. % при 1318°C – это предельная растворимость Мо в твёрдом Ni (который также отсутствует при взаимодействии во время СВС), а растворимость Мо в жидком Ni (состав эвтектического расплава) – около 38 ат. %.;

3) Отсутствует объяснение экспериментально наблюдаемого факта, что декорирование поверхности зерен W на границе с NiAl частицами фаз W_2Ni и WNi наблюдается только при СВС в смесях Ni-Al-(1-5) ат.% W и отсутствует при добавлении в смесь 1-5 ат.% NiO. Как отмечено выше, фазы W_2Ni и WNi могут возникать только за счёт твердофазного взаимодействия на границе W/NiAl. Поэтому приведенная на стр. 12 оценка, основанная на значении коэффициента диффузии W в твёрдом Ni, не имеет отношения к процессу, поскольку твердый Ni при взаимодействии отсутствует. По моему мнению, речь может идти о диффузионном взаимодействии W с NiAl, а скорость диффузии металлических примесей в интерметаллидах, состоящих из 2-х подрешеток, сильно зависит от количества вакансий в каждой из подрешёток. Последние величины сильно (на порядки) изменяются при изменении состава соединения. При недостатке Al в NiAl по сравнению со стехиометрией $Ni_{0,5}Al_{0,5}$ концентрация структурных вакансий V_{Ni} в подрешетке Ni снижается примерно на 2 порядка, и она при этом на 3 порядка выше, чем концентрация вакансий V_{Al} в подрешётке Al, т.е. именно концентрация V_{Ni} в фазе NiAl определяет коэффициент диффузии примеси. Возможно причина именно в этом, поскольку при добавлении в шихту NiO часть Al расходуется на восстановление NiO до Ni, т.е. состав получаемой фазы NiAl будет смещаться в сторону концентрации Al.

9. Отзыв из РГП «Институт проблем горения», Казахстан, подписан: д.х.н., профессором, генеральным директором Мансуровым З.А. и к.х.н., заведующим лабораторией «СВС-новых материалов» Фоменко С.М. Отзыв положительный. Содержит следующее замечание:

- В качестве замечания можно отметить, что данные по механическим свойствам в частности, прочности скрепления собственно никель-алюминиевого покрытия (сварного шва) к подложке из тугоплавкого металла несомненно усилило бы работу.

10. Отзыв из ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», подписан: д.т.н, профессором, заслуженным деятелем науки РФ, заведующим

кафедры «Технология машиностроения» Морозовым В.В. и к.т.н., доцентом кафедры «Технология машиностроения» Аборкиным А.В. Отзыв положительный. Содержит следующие замечания:

1) В тексте автореферата не представлены данные о режимах механической активации, используемых для нанесения порошковых смесей на подложки из тугоплавких смесей;

2) Отсутствуют данные о влиянии режимов механической активации на структурно-фазовый состав формируемых покрытий.

Выбор официальных оппонентов, доктора технических наук Л.Б. Первухина и доктора физико-математических наук А.Ю. Долгобородова и ведущей организации обосновывается публикациями оппонентов и тематикой структурного подразделения ведущей организации, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

показана возможность создания неразъемного соединения тугоплавких металлов W, Mo и Ta с интерметаллидом NiAl с помощью метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) при температуре ниже температуры плавления металлических подложек;

выявлены особенности структуро- и фазообразования в продуктах взаимодействия тугоплавких металлов с интерметаллидами системы Ni-Al в процессе СВС;

предложен способ получения методом СВС наноразмерных нитей и волокон тугоплавких металлов (W, Mo);

показана возможность создания на поверхности Ta подложки пористого покрытия на основе фазы Лавеса TaNiAl методом СВС в сочетании с селективным химическим травлением;

синтезирован тяжелый сплав состава 90 масс. % W + 10 масс. % (Ni+Al) методом электротеплового взрыва (ЭТВ) под нагрузкой, полученный сплав обладает плотностью 15,7 г/см³, пористостью менее 0,2 %, высокими

механическими свойствами, такими как прочность на сжатие 2400÷2600 МПа и микротвёрдость 4820 МПа.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что в результате проведенных исследований выявлена сложная картина формирования микроструктуры продуктов горения системы Ni-Al с тугоплавкими металлами (W, Mo, Ta) в процессе СВС;

обнаружена двухстадийная структура волны горения реакционных составов ((Ni+Al) + 5 ат. % W + 1÷5 ат. % NiO);

обнаружено формирование интерметаллидной фазы с составом, близким к соединению $Ta_5Ni_2Al_3$, присутствующей в образцах в виде переходного слоя субмикронной толщины между Ta и TaNiAl в переходной зоне, которая образуется при взаимодействии Ta подложки и продуктов горения системы Ni-Al;

обнаружено сопряжение кристаллических решёток волокна (Mo) и матрицы (NiAl) в стержневидной псевдобинарной эвтектике, формирующейся при взаимодействии Mo и продуктов горения системы Ni-Al.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

продемонстрирована возможность получения методом СВС наноразмерных нитей и волокон тугоплавких металлов (W, Mo), которые имеют перспективы при создании компонентов современных высокотехнологичных устройств;

предложен способ модификации поверхности подложек из тугоплавких металлов W и Ta методом СВС в сочетании с селективным химическим травлением, имеющий широкие перспективы в практическом применении.

Результаты работы могут быть реализованы в организациях, занимающихся исследованиями в области СВС, в частности в учреждениях Российской академии науки и научно-исследовательских институтах (ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения СО РАН», г. Томск; ФГБУН «Институт химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН», г Москва; Отдел структурной макрокинетики ФГБУН Томского научного центра СО РАН, г. Томск; ФГБУН «Институт проблем химической физики РАН», г Черноголовка) и вузах

(ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва; ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск; ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара).

Оценка достоверности результатов экспериментальных исследований выявила:

результаты получены с использованием современного оборудования, показана воспроизводимость экспериментальных результатов и соответствие их с известными литературными данными, что подтверждает обоснованность и достоверность основных положений и выводов диссертации.

Личный вклад соискателя состоит в анализе литературных данных, проведении экспериментов, выполнении микроструктурных исследований и аналитической обработке полученных результатов. Все изложенные в диссертационной работе результаты получены автором лично или при его непосредственном участии. Постановка задач, интерпретация полученных результатов и формулировка выводов исследования осуществлялись совместно с научным руководителем и соавторами публикаций. Результаты исследований неоднократно докладывались диссертантом на всероссийских и международных конференциях.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация Щукина Александра Сергеевича представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, и на заседании 5.12.2018 года принял решение присудить **Щукину Александру Сергеевичу** ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек (19 человек из постоянного состава в 24 человека), из них 5

докторов наук по специальности 01.04.17, технические науки, участвовавших в заседании, проголосовали:

за присуждение учёной степени **19**,
против присуждения учёной степени **0**,
недействительных бюллетеней **0**.

Председатель
диссертационного совета Д 002.092.02
д.т.н., член-корр. РАН

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.092.02
к.т.н.



Алымов М.И.

Петров Е.В.

05.12.2018