



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»
(НИТУ «МИСиС»)

Ленинский проспект, 4, стр.1, Москва, 119049

Тел. (495)955-00-32; Факс: (499)236-21-05

<http://www.misis.ru>

E-mail: kancela@misis.ru

ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749

ИНН/КПП 7706019535/ 770601001

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям,
доктор технических наук, профессор

М. Р. Филонов



2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Бусуриной Марии Леонидовны

по теме: «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез, структура и свойства сплавов Гейслера на основе системы Ti-Al-Me (Me = Co, Fe и Cu)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.17 «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества»

Актуальность темы диссертационного исследования

Важнейшей задачей современного материаловедения является разработка и создание новых материалов с уникальными свойствами. Тройные интерметаллидные системы на основе алюминидов титана активно исследуются с целью получения на их основе сплавов, обладающих комбинацией таких характеристик, как низкая плотность, прочность, жаростойкость, устойчивость к окислению, благодаря чему они активно используются в аэрокосмической промышленности, в медицине, электронике, приборостроении и т.д. Практический интерес к исследованию тройных систем Ti-Al-Me (Me= Co, Fe, Cu) связан с получением на их основе сплавов Гейслера, перспективных материалов для электроники, а именно для активно развивающейся ее отрасли – спинтроники. Свойства и применения сплавов Гейслера весьма разнообразны - они проявляют свойства памяти формы, сверхупругости, магнитооптические, магнитокалорические, термоэлектрические свойства. Фазы Гейслера получают электроискровым легированием, лазерным спеканием, но в

большинстве случаев в промышленности эти сплавы получают в результате длительного процесса дуговой плавки в атмосфере аргона. При таких способах получения сплавов Гейслера трудно добиться высокой чистоты продукта из-за большой разницы в удельном весе и температур плавления составляющих компонентов.

В последние годы появились работы по применению метода СВС для получения термоэлектрических материалов на основе сплавов Гейслера с улучшенными свойствами в сравнении со сплавами, изготовленными традиционными способами. Однако получение спин-поляризационных сплавов Гейслера на основе системы Ti-Al методом СВС не изучено, так же, как и влияние на свойства получаемого продукта условий СВС-процесса (высоких скоростей реакции и температуры, неравновесности). Процессы, происходящие при фазо- и структурообразовании соединений Гейслера в процессе СВС, тоже представляют интерес для подробного изучения.

В связи с вышеизложенным актуальность диссертационной работы Бусуриной Марии Леонидовны, посвященной синтезу сплавов Гейслера методом СВС, исследованию механизмов фазо- и структурообразования в процессе СВС, а также детальному исследованию свойств синтезированных продуктов, не вызывает сомнения.

Структура и содержание диссертации

Диссертация Бусуриной М.Л. объемом 147 страниц состоит из введения, пяти глав, выводов, списка используемой литературы из 179 наименований и двух приложений.

Во введении диссертационной работы обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цели и задачи работы, представлены научная новизна и практическая значимость результатов, сформулированы защищаемые положения.

Глава 1 посвящена литературному обзору публикаций по теме диссертации. Дана краткая характеристика интерметаллидных сплавов, приведен сравнительный анализ основных методов получения интерметаллидов. Рассмотрены современные СВС-процессы и их классификация. Отдельное внимание уделено интерметаллидам

системы Ti-Al, а также тройным интерметаллидным системам Co-Ti-Al, Fe-Ti-Al, Cu-Ti-Al. Как пример уникальных сплавов на основе этих систем, приведено подробное описание свойств и применений сплавов Гейслера, как перспективных материалов для электроники и электротехники. Отмечено, что в литературе отсутствуют работы по получению методом СВС сплавов Гейслера на основе тройных интерметаллидных систем Me-Ti-Al, а также системные исследования структуро- и фазообразования сплавов Гейслера в процессе СВС.

Глава 2 представляет собой методическую часть работы, в которой описаны экспериментальные методики и установки, характеристики исходных компонентов для синтеза материалов, методы анализа свойств синтезированных продуктов.

В главе 3 представлены результаты исследований процесса СВС в системе 2Co-Ti-Al. Описаны особенности горения прессованных образцов из реакционной порошковой смеси, а также микроструктурные исследования полученных образцов. Исследована эволюция структурных превращений в процессе СВС с помощью метода времяразрешающей рентгеновской дифрактометрии. Показана возможность получения плотного продукта с пористостью менее 3% по технологии силового СВС- компактирования. Также продемонстрирован способ получения порошкового продукта Co_2TiAl путем механоактивационной обработки реакционной смеси в течение 5 мин. Проведены исследования электрических и магнитных свойств синтезированного методом СВС продукта Co_2TiAl и показано соответствие свойств сплавам, синтезированным другими способами.

В главе 4 представлены результаты получения методом СВС сплава Гейслера в системе 2Fe-Ti-Al. Как показали результаты многочисленных экспериментов, фазообразование в системе 2Fe-Ti-Al довольно сложный процесс и в значительной степени зависит от условий эксперимента (размера частиц исходной смеси, исходной температуры и условий, теплопередачи и т.д.). Формирование интерметаллидного сплава Гейслера Fe_2TiAl стало возможным лишь при правильно подобранных условиях нагрева.

Пятая глава посвящена получению методом СВС сплава Гейслера в системе 2Cu-Ti-Al. Показано, что синтез сплава происходит во фронтальном режиме горения. Проведено исследование электрофизических свойств полученного продукта. На

температурной кривой электросопротивления обнаружен перегиб в районе 770-790 К. Представлены результаты исследований высокотемпературной стабильности синтезированного продукта, а также измерены магнитные свойства продукта синтеза. В заключении приведены основные выводы по диссертационной работе.

В приложении приведено положительное решение о выдаче патента РФ «Способ получения интерметаллидных сплавов Гейслера на основе системы Ti-Al-Me», а также акт об использовании результатов диссертационной работы.

По результатам диссертации опубликовано 17 научных работ в рецензируемых научных журналах и трудах конференций, из которых 10 статей входят в перечень журналов из списка ВАК. В базе данных Web of Science и Scopus представлено 5 публикаций.

Достоверность результатов

Достоверность и обоснованность и полученных результатов и выводов, приводимых в диссертации Бусуриной М.Л., подтверждается большим объёмом экспериментальных данных, полученных с применением современного аналитического оборудования для микроструктурного анализа, использованием аттестованных методик исследований свойств синтезированных продуктов, а также сопоставлением результатов с существующими литературными данными.

Научная новизна диссертационной работы

1. Методом СВС получены сплавы на основе тройных интерметаллидных соединений Co_2TiAl , Fe_2TiAl , Cu_2TiAl . Исследован их фазовый состав и микроструктура.

2. С помощью методов электронной микроскопии, динамической рентгенографии и проведением модельных экспериментов на слоевых образцах типа «сэндвич» изучены механизмы фазо- и структурообразования сплавов Гейслера Co_2TiAl , Fe_2TiAl , Cu_2TiAl в процессе СВС.

3. Измерены электрофизические и магнитные характеристики сплавов Гейслера Co_2TiAl , Fe_2TiAl , Cu_2TiAl , полученных методом СВС. Показано, что характеристики синтезированных материалов сравнимы со свойствами аналогичных

материалов, полученных другими методами. Исследованы физические характеристики материалов (плотность, пористость, микротвердость).

Практическая значимость работы

1. Продемонстрирована возможность производства с помощью метода СВС тройных интерметаллидных сплавов на основе фаз Гейслера Me_2TiAl ($\text{Me} = \text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}$).

2. Показана возможность синтеза интерметаллидного сплава Co_2TiAl с пористостью менее 3 % по технологии силового СВС-компактирования.

3. Определены возможности применения метода механического активирования (МА) реакционной смеси для синтеза сплавов Гейслера в системах 2Me-Ti-Al ($\text{Me} = \text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}$). При определённых условиях получение сплава Co_2TiAl возможно после 5 мин МА.

4. Определены оптимальные режимы синтеза для получения сплавов Гейслера Co_2TiAl , Fe_2TiAl , Cu_2TiAl .

5. Измерены магнитные и электрофизические характеристики сплавов Гейслера Me_2TiAl ($\text{Me} = \text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}$), синтезированных методом СВС.

Диссертация Бусуриной М.Л. по содержанию и представленным результатам соответствует паспорту специальности 1.3.17 «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества»:

– по формуле паспорта специальности, т.к. в диссертации рассматриваются вопросы применения материалобразующего метода, основанного на использовании энергии/ тепла экзотермической реакции в режиме распространения волны либо в режиме теплового взрыва с образованием продуктов горения в виде соединений, представляющих практическую ценность и обладающих ценными характеристиками.

– по областям исследования паспорта специальности, в частности:

пункту 1 (пункту 1) «...механизмы химического превращения и экспериментальные методы исследования химической структуры и динамики химических превращений»;

пункту 2 (пункту 1) «...поведение веществ и структурно-фазовые переходы в экстремальных условиях»;

пункту 7 (пункту 4) «Закономерности и механизмы распространения, структура, параметры и устойчивость волн горения, связь химической и физической природы веществ и систем с их термохимическими параметрами, характеристиками термического разложения и горения».

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. При проведении температурных измерений термопары располагались на боковой поверхности образцов. Чем это обусловлено, и что можно сказать об однородности нагрева образца и температурном градиенте в печи?

2. Приведены магнитные и электрические свойства консолидированных продуктов СВС. Однако отсутствуют сравнительные данные магнитных свойств порошковых продуктов, полученных методом механического активирования.

3. Для регистрации фазовых превращений в волне горения в работе использован метод динамической дифрактографии. Однако в диссертации приведены результаты только для системы Co-Ti-Al и отсутствуют для систем Fe-Ti-Al и Cu-Ti-Al.

4. В работе не дано объяснение причин, по которым не удалось получить однофазный продукт в системах Fe-Ti-Al и Cu-Ti-Al, а также о влиянии примесных фаз на свойства синтезированных продуктов.

5. В тексте диссертации единицы измерения температуры различаются. На каких-то графиках температура указана в Кельвинах, на других – в градусах Цельсия.

6. Некоторые ссылки в списке литературы приведены не на оригинал, а на переводное издание на английском языке (например, ссылки 88, 109).

Заключение

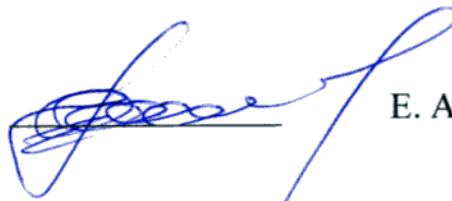
Указанные замечания не снижают ценности и значимости диссертационной работы Бусуриной М.Л. Работа является законченным исследованием, выполнена на высоком научном уровне, выводы по результатам работы обоснованы и аргументированы, автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Бусуриной М.Л. является научно-квалификационной работой и содержит новые научные знания. По объёму полученных результатов и научной значимости диссертационная работа является законченным научным

исследованием. По целям и задачам, методам исследования, содержанию и новизне диссертация удовлетворяет требования п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Бусурина Мария Леонидовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.17 «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

Отзыв составлен на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций соискателя, обсуждения доклада Бусуриной М.Л. на объединённом заседании Кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий (ПМиФП) и Научно-учебного центра СВС (НУЦ СВС) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (протокол № 4 от «19» октября 2021 г.).

Заведующий кафедрой ПМиФП,
директор НУЦ СВС,
доктор технических наук, профессор



Е. А. Левашов

Ученый секретарь кафедры ПМиФП,
старший преподаватель,
научный сотрудник,
кандидат технических наук



М. Я. Бычкова

Ученый секретарь НУЦ СВС,
ведущий научный сотрудник,
доцент кафедры ПМиФП,
кандидат технических наук



В. В. Курбаткина

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4, стр.1

Тел.: 7 (495) 638-45-00, Факс: 7 (499) 236-52-98, E-mail: vvkurb@mail.ru



Подписи Левашова Е.А.; Бычковой М.Я.; Курбаткиной В.В.
завещаю
Зам. начальника Кузнецова А.Е.
отдела кадров МИСиС

«21» октября 2021 г.