

## ОТЗЫВ

на автореферат докторской диссертации Д.Ю. Ковалева

### «Динамическая рентгенография материалообразующих процессов горения»

Понимание механизмов материалообразующих процессов является ключом к получению информации о стадийности, наличии интермедиатов реакций и лежит в основе прогнозирования результатов синтеза и выбора технологических аспектов получения материалов. Исследование реакций в конденсированных средах требует разработки методов с разрешением по времени, позволяющих получать *in situ* данные о кристаллической структуре, фазовом составе и агрегатном состоянии веществ непосредственно в момент их возникновения. Такие распространенные традиционные экспериментальные методы как термография, исследования веществ после закалки, спектрально-оптические методики не позволяют этого сделать. Впервые в 80-х годах прошлого века академиком Болдыревым В.В. с соавторами для изучения быстропротекающих твердофазных превращений, в том числе при горении, был успешно применен метод рентгеновской дифракции с разрешением по времени на основе синхротронного излучения, но малая доступность синхротронного излучения и технические сложности проведения экспериментов ограничивают широкое использование этого метода. В связи с этим, актуальной является решение проблемы разработки доступного лабораторного дифракционного метода с разрешением по времени – динамической рентгенографии, на основе использования в качестве источника излучения рентгеновской трубки и его применение для исследования материалообразующих процессов горения.

При решении этой проблемы диссертант получил ряд новых важных научных результатов.

1. Впервые разработан метод динамической рентгенографии и конструкция уникальной научной установки дифракции излучения рентгеновской трубки с разрешением по времени для исследования материалообразующих процессов горения гетерогенных сред, обеспечивающий получение *in situ* информации о процессах фазообразования с экспозицией от 100 мс.
2. При изучении многостадийного механизма горения порошков переходных металлов IV группы на воздухе получено прямое доказательство образования нитридов металлов на начальной стадии горения и следующий за фронтом реакции процесс образования метастабильных фаз оксинитридов металлов и их переход в равновесную оксидную фазу.
3. Исследована кинетика фазообразования при гидрировании и дегидрировании порошков Ti, Zr, Hf, показана роль образования твердого раствора водорода в металле, как процесса, ответственного за распространение волны горения при гидрировании.
4. Доказано, что высокотемпературная кристаллическая структура A2 интерметаллида NiAl, формирующегося при кристаллизации расплава после прохождения волны горения, характеризуется статистическим распределением атомов Ni и Al в кристаллической решетке.
5. Установлен механизм образования сверхпроводящей фазы MgB<sub>2</sub> при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе в режиме теплового воспламенения порошковой смеси Mg-2B, определяемый скоростью нагрева и газовой средой.



6. Изучена динамика образования наночастиц Ni, Ag, Fe и Co при низкотемпературном горении энергетических материалов на основе нитратов целлюлозы с полимерным связующим и карбонатами металлов. Установлен механизм образования наноразмерных частиц Ni при горении раствора Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> – глицин.

7. Продемонстрированы структурные отличия аморфных сплавов TiCu и Fe<sub>84</sub>B<sub>16</sub>, полученных методами спиннингования и высокоэнергетической механической обработки, выявлена различная динамика кристаллизации аморфных сплавов TiCu и Fe<sub>84</sub>B<sub>16</sub> в зависимости от способа получения неравновесного состояния.

Высокая практическая значимость полученных результатов исследований подтверждается тем, что разработанный метод динамической рентгенографии нашел достаточно большое практическое применение для анализа процессов синтеза неорганических веществ. Выполненные исследования более чем 30 многокомпонентных систем показали высокую эффективность созданной уникальной научной установки и аппаратно-методического подхода для разработки энергосберегающих технологий получения материалов.

Как замечание по содержанию автореферата следует отметить, что при его прочтении возникает впечатление о возможности применения разработанного метода динамической рентгенографии для исследования любых материалообразующих процессов горения. Вероятно, это не так, поэтому надо было бы привести ограничения по применению этого метода, позволяющие более обоснованно судить о возможностях его применения.

Однако это, скорее, не замечание, а пожелание, которое не имеет существенного значения. Работа выделяется своей уникальностью, созданием самого современного экспериментального метода исследования механизма материалообразующих процессов горения, с помощью которого уже получено большое число новых важных результатов и, несомненно, еще больше будет получено в будущем. Диссертация удовлетворяет требованиям к докторским диссертациям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Автор диссертации, Ковалев Дмитрий Юрьевич, достоин присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Автор отзыва дает согласие на обработку персональных данных.

Зав. кафедрой «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», доктор физико-математических наук (01.04.17 – Химическая физика, в том числе физика горения и взрыва), профессор



Амосов  
Александр Петрович

Тел. (846) 242-28-89. E-mail: [egundor@yandex.ru](mailto:egundor@yandex.ru).  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус.

Подпись А.П. Амосова удостоверяю  
Ученый секретарь ФГБОУ ВО «СамГТУ»  
доктор технических наук



Ю.А. Малиновская

24.02.2021г