

ОТЗЫВ

на автореферат кандидатской диссертации Д.С. Васильева «МАКРОКИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ТРОЙНЫХ СИСТЕМ Ti-C-Si, Ti-C-B, Zr-C-N ИЗ ГРАНУЛИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ»

Не вызывает сомнения актуальность научно-исследовательской деятельности, направленной на поиски новых и развитие уже существующих производительных, энергоэффективных методов получения порошковых многокомпонентных материалов с заданным химическим и фазовым составом. Альтернативой традиционным печным технологиям для получения многокомпонентных тугоплавких порошковых материалов является ресурсосберегающая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в режиме горения. Эффективным простым приемом получения мелкодисперсных порошков оказалось применение гранулирования исходной порошковой шихты и проведения горения в реакторе проточного типа с использованием фильтрации газа, в том числе примесного. Основные экспериментально-теоретические исследования такого режима СВС были проведены Б.С. Сеплярским с сотрудниками для получения двойных соединений карбидов и нитридов. В связи с этим не вызывает сомнения актуальность диссертации Д.С. Васильева, посвященной установлению макрокинетических закономерностей СВС более сложных тройных систем Ti-C-Si, Ti-C-B, Zr-C-N из порошковых и гранулированных смесей исходных реагентов насыпной плотности на основе результатов экспериментальных исследований и их анализа с помощью известных теоретических моделей.

При проведении диссертационных исследований Д.С. Васильевым получен ряд новых важных научных результатов. Впервые установлена зависимость скорости горения от содержания $5\text{Ti}+3\text{Si}$ в порошковых и гранулированных смесях насыпной плотности $(1-X)(\text{Ti}+\text{C})+X(5\text{Ti}+3\text{Si})$ при изменении свободного объема над шихтой. Показано, что изменение давления примесных газов над порошковой шихтой приводит к качественному изменению характера зависимости скорости горения от содержания $5\text{Ti}+3\text{Si}$. С применением конвективно-кондуктивной модели горения количественно оценено влияние примесного газовыделения на скорость горения порошковых смесей. Установлена зависимость скорости горения от содержания $\text{Ti}+2\text{B}$ в порошковых и гранулированных смесях насыпной плотности $(1-X)(\text{Ti}+\text{C})+X(\text{Ti}+2\text{B})$ при изменении направления фильтрации примесного газа и содержания связующей добавки. Экспериментальные исследования на системах Ti-C-Si и Ti-C-B установили, что существенным фактором, влияющим на скорость горения, является примесное газовыделение, в то время как конкуренция между реакциями неметаллических реагентов с расплавом титана не оказывает значимого влияния на скорость распространения фронта горения. Рассчитан коэффициент межфазового теплообмена для гранулированных смесей $(1-X)(\text{Ti}+\text{C})+X(\text{Ti}+2\text{B})$, горение которых протекает в конвективном режиме. Впервые исследованы макрокинетические закономерности горения гранулированной смеси $\text{Zr}+0.5\text{C}$ в потоке аргона. Обнаружен новый режим горения, характеризующийся неоднородностью фронта и образованием зазора на границе между шихтой и кварцевой трубкой. Предложена физическая модель, в рамках которой экспериментальные данные описываются теорией фильтрационного горения. Впервые исследованы макрокинетические закономерности горения гранулированных смесей $\text{Zr}+0.5\text{C}$ и $(\text{Zr}+0.5\text{C})+x\text{ZrCN}$ в потоке азота. Экспериментально-расчетным путем установлено, что в

смеси $Zr+0.5C$ реализуется конвективный режим при расходе азота более 300 л/ч, а в смесях $(Zr+0.5C)+xZrCN$ – при расходе азота более 500 л/ч.

Практическая значимость полученных результатов исследований заключается в установлении фазового состава продуктов синтеза: в системе $Ti-C-Si$ он представлен целевыми фазами TiC и Ti_5Si_3 , а в системе $Ti-C-B$ – TiC и TiB_2 . Показано, что в гранулированных смесях $(1-X)(Ti+C)+X(Ti+2B)$ необходимо строго контролировать содержания примесного водорода в исходных порошковых реагентах. Также показано, что коэффициент теплообмена газа с гранулами, определенный по экспериментальным данным, может на порядок превышать значения, рассчитанные по известным из литературы формулам для теплообмена газа в зернистой среде, что должно учитываться при расчетах и проектировании реакторов с зернистым слоем катализатора. Экспериментально доказана принципиальная возможность синтеза карбонитрида циркония ZrC_xN_y в реакторе проточного типа из гранулированной шихты при перепаде давления до 2 атм с максимальным содержанием азота в продукте до 5.1 мас. %.

По содержанию автореферата возникли следующие замечания.

1. Соответствие диссертации паспорту научной специальности «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества» необходимо было проводить не по устаревшему паспорту специальности со старым шифром 01.04.17, а по новому паспорту для физико-математических наук этой специальности с новым шифром 1.3.17.
2. В диссертационном исследовании учитывался только объем примесного газовыделения, но не определялся его химический состав с применением хроматографического анализа.

Однако эти недостатки не имеют существенного значения. В целом работа выполнена на высоком научном уровне и имеет большое научное и практическое значение. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, в том числе п. 9, к кандидатским диссертациям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. Автор диссертации, Васильев Дмитрий Сергеевич, достоин присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17. 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. Е-mail: egundor@yandex.ru.
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус.

12.01.2026

Подпись А.П. Амосова удостоверен
Ученый секретарь ФГБОУ ВО «СГТУ»
доктор технических наук



Ю.А. Малиновская