

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Трусова Германа Валентиновича  
«Научные основы высокотемпературного синтеза наноструктурированных  
микросфер Ni из реакционных аэрозолей и создания высокопористых материалов  
путем искрового плазменного спекания микросфер»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
1.3.17– химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний  
вещества

Синтез материалов в процессах горения – основное направление научных исследований Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН. Фундамент этого направления был заложен более 50 лет назад академиком А. Г. Мержановым. Сравнительно новая ветвь «синтеза горением» (Combustion Synthesis, CS) – получение наноматериалов. Эта научная область обладает большими перспективами, и учёные ИСМАНа занимают в ней одну из лидирующих позиций. Широко известны работы А. С. Рогачева и его коллег по синтезу наноструктурированных металлов, интерметаллидов, керамик с помощью различных модификаций CS. Диссертационная работа Г. В. Трусова – итог достаточно длительных исследований интересной и результативной комбинации двух методов получения наночастиц – горения в растворах и пиролиза аэрозолей.

Рассматриваемая диссертационная работа весьма актуальна. В ней содержатся результаты исследования закономерностей синтеза наноструктурированных полых микросфер никеля указанным выше методом, а также изучения механических, электромагнитных, теплофизических и каталитических свойств пористого никелевого материала, полученного из микросфер методом искрового плазменного спекания. Эти исследования показывают, что микросферы наночастиц никеля в чистом виде или внедрённые в матрицу оксида алюминия, полученные методом горения микрокапель растворов, могут найти применение в самых различных технических областях – как поглотители СВЧ-излучения, конструктивные материалы, теплоизоляционные материалы, катализаторы.

Достоинствами работы Г. В. Трусова являются разнообразие использованных методов анализа процессов синтеза микросфер никеля и тщательность, с которой этот анализ был произведён. Г. В. Трусовым установлены закономерности образования микроструктуры и атомно-кристаллической структуры реакционного геля, механизм его пиролиза. Очень интересны данные о динамике образования кристаллических фаз продуктов реакции *in situ* в волне горения частиц реакционного геля, полученные с помощью динамической рентгенографии. Среди методов анализа свойств полученного материала оригинальностью выделяется определение прочности на сжатие отдельных микросфер методом наномеханического индентирования с одновременным наблюдением в просвечивающем электронном микроскопе. Полученные данные позволили автору диссертации построить детальную многостадийную картину образования целевого продукта и определить оптимальные условия синтеза. Необходимо отметить, что предложенный в работе многостадийный механизм синтеза микросфер, по-видимому, может быть частично перенесён и на синтез микросфер других металлов.



В работе Г.В. Трусова есть дискуссионные моменты. В частности, в коротком отзыве хотелось бы всё-таки остановиться на термодинамическом анализе реакции горения в системе «нитрат никеля – глицин». Вызывает возражение утверждение автора диссертации о том, что максимальная температура горения возникает при эквивалентном отношении  $\varphi=1,5$  (автор использует термин «отношение молей горючего к окислителю»). В теории горения является общепринятым, что максимуму температуры соответствует  $\varphi=1$ , что означает полное потребление обоих топлива и окислителя; при  $\varphi \neq 1$  один из реагентов находится в избытке и образует инертный балласт, понижающий температуру горения. При горении некоторых газов (этилен, СО, ацетилен) максимум температуры действительно достигается при небольшом превышении  $\varphi$  единицы, и это объясняется либо высокотемпературной диссоциацией продуктов горения, либо самопроизвольным разложением при высокой температуре, как у ацетилена. Таким образом, отклонение адиабатического температурного максимума от  $\varphi=1$  связано тем, что уравнение реакции не соответствует равновесному составу продуктов. По-видимому, такая же ситуация имеет место и для рассмотренного в диссертации процесса, только указанное несоответствие количественно проявляется намного сильнее, чем при горении газовых систем.

Необходимо также отметить, что в автореферате присутствуют опечатки и неудачные стилистические обороты. Однако, по существу, сделанные замечания не изменяют общую положительную оценку работы.

В целом, работа Г.В. Трусова соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества за новые научные экспериментальные и теоретические результаты по синтезу наноструктурированный микросфер металлов методом горения растворов в аэрозольных каплях.

Главный научный сотрудник  
Лаборатории радиационно-конвективного теплообмена  
Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова  
Национальной академии наук Беларуси,  
доктор физико-математических наук



О.С. Рабинович

Адрес: 220072, Беларусь, г. Минск, ул. П. Бровки, 15  
Тел.: +375(17)350-21-36  
E-mail: orabi@hmti.ac.by

07.06.2023

Подпись Рабиновича О.С. заверяю  
Заместитель директора  
ИТМО НАН Беларуси



Данилова Третьяк С.М.