

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 536.46:662.61

DOI: 10.17223/00213411/64/4/3

А.Г. КОРОТКИХ, И.В. СОРОКИН

ВЛИЯНИЕ БОРА НА ПАРАМЕТРЫ ГОРЕНИЯ ВЭМ И ОКИСЛЕНИЕ
НАНОПОРОШКОВ Al/B, Ti/B *

Представлены результаты термодинамического расчета влияния содержания бора на параметры горения высокоэнергетического материала (ВЭМ) на основе перхлората аммония, бутадиенового каучука, порошка алюминия и титана, а также данные термического анализа нанопорошков Al, Ti и механосмесей Al/B, Ti/B. Получены значения температуры горения, удельного импульса и массовой концентрации конденсированных продуктов сгорания ВЭМ в зависимости от соотношения содержания металла и бора. Установлено, что с увеличением концентрации бора в составе ВЭМ, содержащем Al, температура горения и удельный импульс снижаются на 16 и 3.3% соответственно, в то время как для состава ВЭМ, содержащего Ti, удельный импульс возрастает на 7.7% при соотношении компонентов Ti/B = 20/80. Проведенный термический анализ нанопорошков металлов в воздухе показал, что значение максимальной скорости окисления Al/B и Ti/B растет при увеличении содержания бора в механосмеси.

Ключевые слова: высокоэнергетический материал, алюминий, титан, бор, температура горения, удельный импульс, скорость окисления.

Введение

Основными характеристиками горения применительно к энергосиловым установкам являются зависимость линейной скорости горения топлива от давления, температура горения в камере сгорания, единичный импульс [1], равный приросту величины тяги, реализуемому при сгорании единицы массы твердого топлива, а также химический и гранулометрический состав конденсированных продуктов сгорания. Для определения значений единичного импульса существуют множество экспериментальных методик [1]. Наиболее простым методом является расчетно-теоретический, реализованный в программных комплексах («Астра», «Terra», «Real») [2]. В работах [3–6] авторы использовали программы термодинамического расчета энергетических характеристик топливных композиций и параметров равновесного состояния для определения оптимального компонентного состава высокоэнергетического материала (ВЭМ).

Одним из способов улучшения характеристик горения ВЭМ является применение в составе твердых топлив катализаторов горения или порошков металлов и их оксидов [7–9]. Эффективным методом повышения энергетических характеристик ВЭМ служит использование порошков бора и боридов металлов, которые обладают высокими значениями удельной энергии, выделяемой в процессе их окисления и горения [10–11]. Порошки боридов получают путем восстановления оксида металла смесью бора и углерода, карбидом бора, бором при температуре 1500–2000 °С либо на основе взаимодействия металла и борсодержащих соединений в условиях низкотемпературной плазмы. Среди боридов металлов можно выделить бориды алюминия и титана, которые имеют высокую плотность и удельную теплоту сгорания.

В работе [11] авторы исследовали двухкомпонентную аэрозвесь Ti/B, которая моделировала соединение TiB₂, и отметили, что температура воспламенения аэрозвеси Ti/B на 100–150 °С выше, чем у чистого титана, но при этом на 400–500 °С ниже, чем для диборида титана. Кроме того, температура воспламенения аэрозвеси частиц диборида титана практически совпадает с температурой зажигания частиц бора, и лимитирующим фактором в процессе воспламенения частиц TiB₂, как и бора, является скорость образования оксидного слоя B₂O₃ и скорость его испарения. В случае воспламенения частиц диборида алюминия AlB₂ в воздухе температура на 50–150 °С выше температуры воспламенения одинаковых по размеру частиц бора и алюминия в аналогичных условиях. Авторы предполагают, что наличие на поверхности частиц AlB₂ жидкого оксидного слоя B₂O₃ способствует «залечиванию» трещин и дефектов, образующихся при нагреве частиц, покрытых оксидным слоем Al₂O₃, что препятствует окислению активного металла.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-33-90015.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>