

## СИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ СЖИГАНИИ РДТТ

Качурина Е. С.

Омский государственный технический университет, г. Омск, Омская обл., Россия

В работе приведены результаты анализа технологий получения ультрадисперсных порошков. **Цель научной работы:** совмещение технологии получения нанопорошков на основе использования процессов происходящих при стендовых сжиганиях ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ), при одновременном снижении техногенного воздействия РДТТ на окружающую среду.

В последнее десятилетие в нашей стране и мире большое внимание уделяется вопросу экологической безопасности при эксплуатации ракетной техники, разработан ряд технологий по ликвидации различных изделий РКТ. Вторая, не менее важная практическая задача, выделение nano частиц из продуктов сгорания РДТТ и получение нанопорошков с улучшенными качествами.

Существует ряд технологий получения нанопорошков, самые популярные из них: золь-гель технология, механосинтез, электровзрыв и ударно-волновой синтез.

Золь-гель технология nano материалов, включающая получение золя с последующим переводом его в гель (в коллоидную систему, состоящую из жидкой дисперсионной среды в пространственной сетке, образованную соединившимися частицами дисперсной фазы).

Золь-гель процесс объединяет большую группу методов получения (синтеза) материалов из растворов, существенным элементом которых является образование геля на одной из стадий процесса. В основе наиболее известного варианта золь-гель процесса лежат процессы контролируемого гидролиза соединений, обычно алкоксидов  $M(OR)_x$  ( $M = Si, Ti, Zr, V, Zn, Al, Sn, Ge, Mo, W$  и др.) или соответствующих хлоридов, в водной или органической, чаще спиртовой, среде.

Недостатки: сложность аппаратного оформления, длительное время производства, возможное загрязнение продукта остаточным гидроксидом или углеродом, сохранение остаточных мелких пор.

Механический способ получения нанопорошков основан на дроблении материалов до крупных частиц, при этом расход энергии пропорционален объему разрушаемого тела, а при получении nano частиц работа измельчения пропорциональна площади образующейся поверхности. Для этого способа используются мельницы высокой мощности — аттриторы и симолойеры [1]. Это высокоэнергетические измельчительные аппараты с неподвижным корпусом — барабаном и мешалками, передающими движение шарам в барабане. Скорость вращения мешалок может достигать 3000 об/мин.

К недостаткам метода относятся возможность загрязнения измельчаемого порошка истирающими материалами, а также трудности получения порошков с узким распределением частиц по размерам и сложности регулирования состава продукта в процессе измельчения.

Электровзрыв - образование дисперсной фазы в экстремальных условиях (высокие температуры и скорость процесса) приводит к формированию неравновесной структуры частиц. В связи с этим применяют технологии, основанные на импульсных процессах с высокими скоростями изменения термодинамических параметров системы. Одним из таких методов является технология, основанная на процессе электрического взрыва проводника (ЭВП, ЭВП - технология). ЭВП реализуется при прохождении через металлическую проволоку импульса тока с большой плотностью. Из-за этого проволока нагревается до температуры плавления, затем плавится и в

конце концов взрывообразно разрушается. Явление это сопровождается яркой вспышкой света, резким звуком, ударной волной, распространяющейся в окружающей проводник среде. Разлетаясь с большой скоростью, продукты разрушения быстро охлаждаются, и образуется нано дисперсный порошок.

Главным образом, недостатки технологии ЭВП сводятся к конструктивным недостаткам оборудования, которые ограничивают надежность и производительность работы оборудования.

Ударно-волновой синтез (термоудар) — метод получения нанопорошков металлов, сплавов или химических соединений (оксидов, боридов, нитридов, карбидов) путем термического разложения элементов- и металлоорганических соединений, гидроксидов, нитратов, амидов, имидов и других соединений, которые при определенной температуре распадаются с образованием синтезируемого вещества и выделением газовой фазы. Одни из вариантов термоудара является разложение металлоорганических соединений в ударной трубе с последующей конденсацией свободных атомов металла из пересыщенного пара. Закрытая с обеих сторон длинная стальная труба перегораживается на две неравные части тонкой диафрагмой из маёларовой пленки или алюминиевой фольги. Более длинную часть трубы заполняют аргоном под давлением 1000–2500 Па с примесью 0,1–2,0 мол.% металлоорганического соединения. Другая часть трубы заполняется гелием или смесью гелия с азотом до тех пор, пока мембрана не прорвется. При разрыве мембраны возникает ударная волна, на фронте которой температура достигает 1000–2000 К. Ударный нагрев газа приводит к разложению металлоорганического соединения за несколько микросекунд после прохождения фронта волны, и свободные атомы металла образуют сильно пересыщенный пар, способный к быстрой конденсации.

Комбинацией термического разложения и конденсации является сверхзвуковое истечение газов из камеры, в которой поддерживаются повышенные постоянные давления и температура, через сопло в вакуум [2]. В этом случае тепловая энергия молекул газа трансформируется в кинетическую энергию сверхзвукового потока, а газ при расширении охлаждается и превращается в пересыщенный пар, в котором могут образовываться кластеры, содержащие от двух до миллиона атомов. Повышение первоначального давления в камере при неизменной температуре приводит к возрастанию пересыщения.

Основной недостаток термического разложения — малая селективность процесса, так как продукт реакции обычно представляет собой смесь целевого продукта и других соединений. Средний размер частиц порошков, полученных пиролизом, зависит от природы исходных реагентов и составляет от 50 до 300 нм.

На дальнейших этапах планируется использование РДТТ, как элемента описанной установки с системой отбора тепла и твердых фракций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Петров, Ю. И. Кластеры и малые частицы / Ю. И. Петров. - М.: Наука, 1986. – 368 с.
2. Шатров, Я. Т. Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности / Я. Т. Шатров. – Королев; М. : ЦНИИмаш, 2010. – 261с.