

СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Сейсенова А.Б.^{1,2}, Акназаров С.Х.^{1,2}, Байракова О.С.², Капизов О.С.^{1,2}

¹Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

²НПТЦ «Жалын», г.Алматы, Казахстан

Ключевые слова: высокоэнергетические материалы, топливо, окислители, горючее-связующее, металлическое горючее, отвердитель, скорость горения, закон скорости горения.

Системы с высокими энергетическими характеристиками – ЭКС (энергетические конденсированные системы) – эффективный источник энергии для техники и новых технологий. Специальные ЭКС позволили создать уникальные и весьма актуальные технологии. К современным и перспективным композициям высокоэнергетических материалов предъявляется ряд требований, включающих высокие значения энергетических и физико-химических характеристик, технологичность при формировании зарядов, длительный срок хранения, возможность регулирования скорости горения, минимальное содержание токсичных компонентов в продуктах сгорания и др. Одновременное выполнение указанных требований проблематично, поэтому при разработке компонентных составов высокоэнергетических материалов приходится искать компромиссные решения, выбирая приоритетные характеристики исходя из целей использования высокоэнергетических материалов. [1].

В качестве твердого топлива, которое способно к самостоятельному горению используют чаще всего смесь полимерного горючего, окислителя, порошкообразного металлического восстановителя (чаще всего алюминия) и добавок [2].

Основная задача при создании топлива заключается в получении наиболее высокого импульса, достигаемого при наиболее высокой температуре и наименьшего молекулярного веса продуктов сгорания.

При выборе состава энергетических конденсированных систем учитываются как основные показатели получаемого топлива – его

энергетические, кинетические характеристики, так и доступность и низкая цена исходных компонентов, их экологичность.

Технологический процесс приготовления включает в себя подготовку: смесей порошкообразных компонентов, связующего (вакуумирование, смешивание с алюминием), топливной массы и формование и полимеризация заряда с последующим бронированием.

В работе образцы изготавливали путем механического перемешивания исходных компонентов ручным способом не более 15 г топливной массы за одну мешку. Для получения качественных образцов навеску окислителя делили на три части, одну из которых предварительно тщательно перемешивали с технологическими добавками (отвердителем и катализатором).

Навеску СКДМ-80 полностью помещали в фарфоровую чашку. Две порции окислителя перед внесением в топливную массу перемешивали с частью металлического горючего. Время перемешивания каждой порции 10-15 минут.

Затем в связку постепенно добавлялись сыпучие компоненты топлива и после каждой добавки смесь тщательно перемешивались. Отвердитель вносился в готовую топливную массу с последующим перемешиванием.

При изготовлении топливной смеси строго контролировали дисперсность исходных компонентов. Использовался нитрат аммония с размером частиц 160-315 мкм, перхлорат аммония размером частиц 160-200 мкм.

В качестве металлического горючего использовался порошок алюминия АСД-6 ($d=10\text{мкм}$) и алюминиевая пудра ПАП-1. Отвердитель ди-N-оксид-1,3-динитрил-2,4,6-триэтиленбензол вводился в систему в количестве 0,3 масс. % от веса ГСВ. [3].

Полученную топливную массу формовали с помощью фторопластовой сборки в виде цилиндрических образцов диаметром 10 мм, высотой 30-40 мм. Через сутки, полимеризованные (температура полимеризации 25-30⁰С) образцы выпрессовывались. Затем образцы взвешивали, измеряли высоту и диаметр (с точностью до 0,05мм) и определяли плотность. Плотность образцов одного состава должна отличаться не более чем на 0,02 г/см³. Хранили образцы в эксикаторе.

Подготовка образцов топлива для проведения экспериментов. Образцы на торцевом и боковом срезах не должны иметь раковин и

трещин. Обеспечение необходимой механической прочности достигается бронированием образцов. В работе в качестве бронирующего агента использовался эпоксидная смола.

Введение металлического горючего увеличивает скорость горения высокоэнергетической системы при $\alpha=0,5$ от 0,6 мм/сек без алюминия до 3,0 мм/сек – с алюминием в составе композиции, как для смесового горючего, так и для горючего из моноокислителя. Исползовании высокоактивного алюминия увеличивает скорость горения в 2,6 раз, коэффициент K_u ($K_u=K_1/K_0$) увеличивается до 5,0. Повышение избытка окислителя $\alpha=0,9$ приводит к увеличению скорости горения как для систем с алюминием марки АСД-6, так и для композиций с ПАП-1 и его смеси с АСД-6. [4,5].

Исходя из эквивалентных формул выбранных топливных композиций были рассчитаны коэффициенты избытка окислителя α . В зависимости от величины α рассчитывается необходимое количество ГСВ. В проведенных экспериментах избыток окислителя составил 0,5 и 0,9.

Для исследования влияния величины α на скорость горения топливной смеси были проведены эксперименты со значением α – 0,3; 0,4; 0,5; 0,9. Топливная система состояла из инертного горючего, нитрата аммония и алюминия АСД-6 и высокоактивного алюминия ПАП-1. На рисунке 1 приведена зависимость скорости горения от коэффициента избытка окислителя.

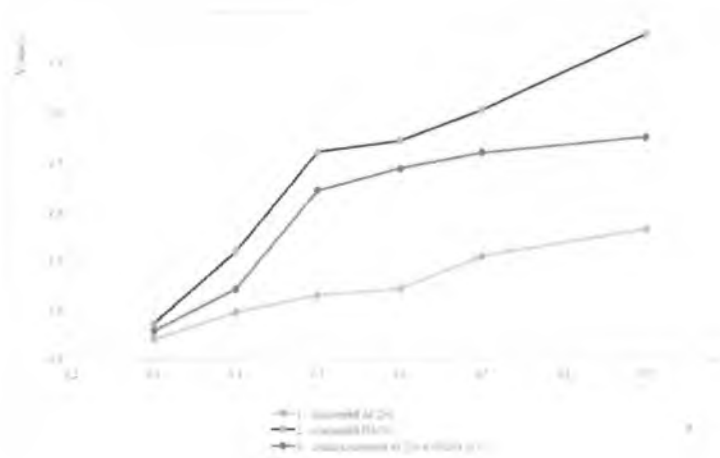


Рисунок 1. Зависимость скорости горения от коэффициента избытка окислителя

Увеличение коэффициента избытка окислителя способствует увеличению скорости горения системы, уменьшению выделения дыма, но приводит к снижению прочности топливных образцов, уменьшению пластичности, при выпрессовке они могут разрушаться (образуются сколы, трещинки).

Влияние использования высокоактивного алюминия ПАП-1 вместо АСД-6 или его совместного применения в соотношении 1:1 на увеличение скорости горения исследуемой композиции хорошо прослеживается на рисунке 1. При использовании ПАП-1 вместо АСД-6 скорость горения при $\alpha=0,5$ увеличивается более чем в два раза (2,26), при $\alpha=0,9$ – в 2,1 раза, при смешении металлического горючего 1:1 скорость увеличилась при $\alpha=0,5$ в 1,92 раз, а при $\alpha=0,9$ увеличилась в 2,1 раз, что говорит об эффективности частичной или полной замены алюминия АСД-6 на высокоактивный алюминий марки ПАП-1.

Одним из факторов, влияющих на скорость горения высокоэнергетической системы является содержание металлического горючего в составе композиции.

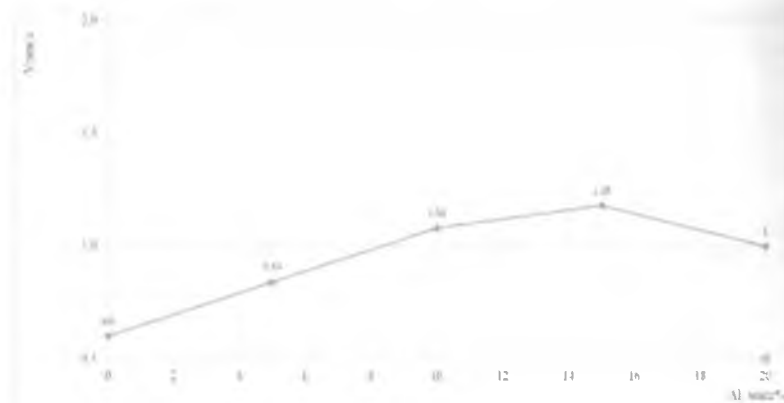


Рисунок 2. Зависимость скорости горения от количества алюминия в смеси.

Исследовано влияние количества АСД-6 на скорость горения системы на основе нитрата аммония и инертного горючего. На рисунке 2 приведена зависимость скорости горения топливной смеси от количества алюминия, $\alpha=0,5$.

Максимальная скорость горения прослеживается при содержании алюминия 15%, увеличения до 20% приводит к снижению скорости процесса и температуры. Вероятной причиной является, что избыток алюминия в системе выступает в роли балласта.

Во всех проводимых экспериментах общий вес приготовляемой топливной смеси брался 15г. Из этого количества готовилось три образца весом 4,2-4,7 г. Плотность образца подбиралась опытным путем и составляет от 1,69 до 1,8 г/см³. Образцы с меньшей плотностью имеют более высокую скорость горения, но более низкую прочность. Анализ огарков показал, что огарки образцов с низкой плотности имеют в своем составе не прореагировавшие компоненты смеси.

Для исследования состава огарков готовилась серия образцов различного состава и с $\alpha=0,5$ и $\alpha=0,9$. Анализ проведен методом РФА. На рисунке 3 представлена рентгенограмма образца №26.

Результаты полуколичественного анализа

Formula	%
Na(AlO ₂)	51.1
CaO	6.3
CaAl ₂ O ₇	5
NaAlH ₂ O ₇	2.4

Несколько пиков не идентифицированы

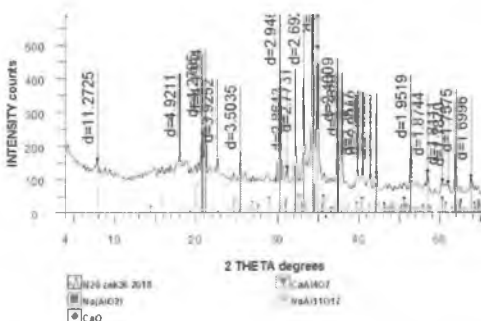


Рисунок 3. Рентгенограмма образца №26.

Проведен волюметрический анализ образца огарка. Установлено, что максимальное количество не прореагировавшего алюминия осталось в огарке композиции содержащей АСД-6. В образце 26 в огарке отсутствует алюминий, что подтверждено волюметрическим анализом.

Наличие кальция в огарке связано с содержанием его в исходном каучуке.

Лучший результат по составу огарка получен для образцов 21, 25 и 26. В образцах 21-25 количество не прореагировавшего алюминия составляет 0,2 и 0,6%, а в образце 26 алюминий в огарке вообще отсутствует, что вероятно, связано с более высокой окислительной активностью нитратов натрия и калия.

Анализ образцов топлива после горения с использованием алюминия АСД и высокоактивного показал, что при использовании высокоактивного алюминия в топливных образцах происходит полное сгорание исходных компонентов, как при $\alpha=0,9$, так и $\alpha=0,5$. В огарке остаются только соединения алюминия с кальцием, присутствующем в каучуке.

Заключение. На основании анализа выбраны компоненты для высокоэнергетических композиций экологичные, доступные и обеспечивающие высокую скорость горения в самораспространяющемся режиме. Таким компонентом топлива является алюминиевая пудра марки ПАП-1, имеющая низкую температуру возгорания и горения в самораспространяющемся режиме.

Рассчитаны коэффициенты избытка окислителя из числа выбранных – нитрата аммония и нитрата калия. Рассчитаны эквивалентные формулы всех составляющих смеси, рассчитаны эквивалентные формулы высокоэнергетических смесей и состав композиций.

Исследовано влияние количества избытка окислителя на скорость горения. Установлено, что с увеличением α увеличивается скорость горения системы.

Исследовано влияние количества металлического горючего на скорость горения. Оптимальное количество алюминия в высокоэнергетической смеси составило 15 %.

Установлено, что замена алюминия АСД-6 на алюминий марки ПАП-1 увеличивает скорость горения композиции в 2,5-3 раза.

Установлено, что использование алюминия ПАИ-1 вместо АСД-6 повышает температуру процесса. Измеренная температура горения образцов с АСД-6 составила 920 °С, а с алюминием ПАИ-1 того же состава – 1970-1980 °С.

Список использованных источников

1. Жуков Б.П. Краткий энциклопедический словарь / Б.П. Жуков // Энергетические конденсированные системы. – М.: Янус-К, 2000. – С. 5
2. Термодинамические и термофизические свойства продуктов сгорания / Под. ред. Глушко В.Х. – М.:1971. – 265 с.
3. Бестужева В.В., Душенко С.А., Ищенко М.А., Каркулин И.В., Сиротинкин Н.В., Васильев А.В. Полимерные связующие энергетических конденсированных систем // Технология высокомолекулярных соединений. – СПб.: ГТУ, 2013. – Т21. – С. 93-10
4. Seisenova A.B., Aknazarov S.KH., Juan Maria Gonzalez-Leal, Golovchenko O.YU., Bairakova O.S., Kapizov O.S. Synthesis of solid high-energy compounds // Сбор. труд. X Международного симпозиума «Физика и химия углеродных материалов и наноэнергетических материалов», – Алматы, 10-12 Сен., 2018. – С. 30-32
5. Сейсенова А.Б., Акназаров С.Х., Juan Maria Gonzalez-Leal, Байракова О.С., Головченко О.Ю., Капизов О.С. Синтез твердых соединениях с высокими энергетическими характеристиками // Сбор. труд. XXV Всероссийского семинара по струйным, отрывным и нестационарным течениям. – Санкт-Петербург, 11-14 Сен., 2018. – С. 209-210