

10. А. И. Григорьев. Твердые ракетные топлива. М., Химия, 1969.
11. В. Е. Зарко, В. Я. Зырянов и др. Горение конденсированных систем. V симпозиум по горению, Черноголовка, 1977.
12. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1942, 12, 11—12.
13. П. Ф. Похил. Докт. дис. М., ИХФ АН СССР, 1953.
14. Я. М. Шапиро, Г. О. Мазинг, Н. Е. Прудников. Основы проектирования ракет на твердом топливе. М., Машиностроение, 1968.

О ГОРЕНИИ КАЛЬЦИЯ В НЕКОТОРЫХ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СМЕСЯХ

Г. В. Иванов, К. Ю. Мухамеджанов, В. М. Амосов,
Л. Р. Иванова

(Томск)

Закономерности горения кальция в пиросмесях до настоящего времени не изучались, хотя он широко используется в пирометаллургическом производстве ряда цветных и редких металлов как восстановитель и в этом качестве часто незаменим [1]. Причина состоит, по-видимому, в том, что в промышленности всегда использовали его только в виде крупных кусков или стружки. Однако в настоящее время стали актуальными задачи изучения пирометаллургических процессов с позиции горения и СВС.

В данной работе после многочисленных попыток получения порошка кальция различными методами (измельчение при температурах жидкого азота, плазменное распыление и др.) найден простой и производительный способ его получения в достаточных количествах, и стало возможным изучение закономерностей его горения в типичных пиросмесях. Суть способа — интенсивное виброистерание кусков кальция в модифицированной шаровой мельнице, заполненной аргоном. В качестве исходного материала брался кусковой кальций Черкасского завода химреактивов МРТУ-95-123-69. После отделения от шаров порошок рассеивали обычным способом на нужные фракции в боксе, заполненном аргоном, в нем же проводили все последующие операции со смесями, в данных экспериментах использовались фракции 250 мкм.

Исследования горения кальция проводили со смесями KNO_3 , KClO_4 , как наиболее часто используемые в пиротехнике, и с Fe_2O_3 как окисла, реакция которого с алюминием и магнием наиболее хорошо изучена. Дисперсность всех окислителей — менее 50 мкм. Стехиометрические смеси запрессовывались в плексигласовые трубки с внутренним диаметром 7 мм до относительных плотностей 0,6—0,9. Сжигание производилось в бомбе постоянного давления Б-150, давление создавалось аргоном, скорость горения регистрировалась фоторегистратором ФР-11.

Полученные результаты представлены на рис. 1, из которого видно, что для всех изученных смесей характерны скорости, значительно более высокие, чем у аналогичных смесей с другими металлами. Так как теплоты и температуры горения кальция не выше, чем у алюминия и магния, то повышенная скорость горения объясняется, очевидно, высокими скоростями его реакции с кислородом и большим тепловыделением в единицу времени.

Действительно [2], химическая активность кальция уникальна: он реагирует с водородом при 150°C, с кислородом при 200°C и даже с азотом при 350°C. Насыпной порошок кальция при воспламенении на воздухе сгорает весьма интенсивно, практически с хлопком. С точки зрения пиротехники необычно и сгорание кальция в промышленных реакторах в виде крупных кусков. Определение температуры вспышки смесей кальция с указанными выше окислителями показало, что она четко определяется температурой разложения окислителей: при 350°C смесь кальция не вспыхивала ни с одним из окислителей, при 470°C задержка вспышки с KNO_3 составляла 90 с, с KClO_4 — 30 с, с Fe_2O_3 — вспышки нет, при 630°C смесь $4\text{Ca} + \text{KClO}_4$ вспыхивает мгновенно, смесь с KNO_3 — с задержкой 12 с, смесь с Fe_2O_3 не вспыхивает и до воспламенения ее можно довести при температуре около 800°C.

Вид зависимости $u = f(p)$ для всех трех смесей достаточно типичен.

Зависимость $u = f(p)$ для смеси с KClO_4 линейная (см. рис. 1). Поскольку кальций — легкоокисляющийся металл, а KClO_4 при разложении выше 600°C выделяет кислород, то ведущей стадией может быть сгорание паров кальция в кислороде, скорость которого прямо пропорциональна давлению. Обратная зависимость скорости горения от плотности (рис. 2) указывает на важную роль процессов, протекающих в порах образца.

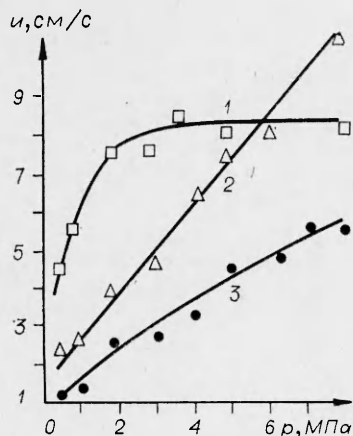


Рис. 1. Зависимость скорости горения смесей от давления.
1 — $\text{KClO}_4 + 4 \text{Ca}$; 2 — $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{Ca}$;
3 — $2 \text{KNO}_3 + 5 \text{Ca}$.

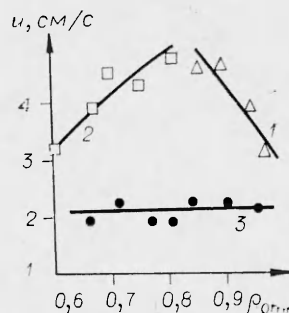


Рис. 2. Зависимость скорости горения смесей от их плотности при 15 атм (обозначения аналогичны рис. 1).

Ход зависимости $u=f(p)$ смеси с Fe_2O_3 совершенно аналогичен зависимости железо-алюминиевых и железо-магневых термитов [3], выход на плато кривой $u=f(p)$ свидетельствует о том, что ведущая стадия горения протекает без участия газовой фазы, и она сводится, вероятно, к взаимодействию расплавленного кальция с окисью железа. Вид кривой $u=f(\rho)$ (см. рис. 2) показывает, что уплотнение смеси улучшает контакт кальция с Fe_2O_3 и соответственно увеличивает скорость горения.

Смесь с KNO_3 характеризуется наименьшей из трех изученных систем скоростью; $T_{\text{плKNO}_3} = 340^\circ\text{C}$. Однако при этих температурах ни вспышки, ни экзотермической реакции (по данным ДТА) в смеси не наблюдалось. Дополнительные эксперименты показали, что кальций не реагирует с расплавом KNO_3 вплоть до температуры ее разложения (больше 400°C). При более высоких температурах плавится и испаряется кальций, скорость реагирования его паров с продуктами разложения KNO_3 в газовой фазе прямо зависит от давления, и эта стадия может быть ведущей. Температура плавления KNO_3 существенно ниже температуры поверхности горения, это приводит к образованию широкого слоя расплава, поэтому зависимости скорости горения от плотности нет (см. рис. 2).

Таким образом, горение кальция в пиротехнических смесях подчиняется общим закономерностям горения конденсированных смесей, однако его отличает более высокий уровень скоростей.

Поступила в редакцию
11/VII 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. У. Улкинсон. Получение тугоплавких металлов. М., Атомиздат, 1975.
2. Р. Рипан, И. Честяну. Неорганическая химия. Т. 1. М., Мир, 1972.
3. Н. Н. Бахмап, А. Ф. Белыев. Горение гетерогенных конденсированных систем. М., Наука, 1967.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ ЭРОЗИОННОМ ГОРЕНИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЕЩЕСТВ

В. И. Вилюнов, Ю. М. Исаев, А. Т. Кузнецов
(Томск)

Поток, протекающий параллельно горячей поверхности конденсированного вещества, изменяет его линейную скорость горения. Это явление, открытое О. И. Лейпунским и Я. Б. Зельдовичем, названо раздуванием или, по современной терминологии, эрозией. Возникают вопросы, как структура потока изменяет скорость горения, следует ли ее учитывать при масштабном переносе, на какие расстояния от