

видно из рис. 6, скорость распространения фронта горения меньше скорости фронта для чистого горючего, что связано с понижением температуры в зоне реакции, обусловленного инертностью теплопроводящих элементов. Тем не менее скорость горения увеличивается с ростом коэффициента теплопроводности элементов при сохранении остальных характеристик. При этом область неединственности сокращается. Влияние на процесс начальной температуры и теплотворной способности отражено на рис. 6, б. С ростом начальной температуры и теплового эффекта скорость фронта горения и область существования высокотемпературного режима увеличиваются.

Поступила в редакцию 25/1 1984

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. П. Ивлева, П. М. Кришеник, А. Г. Мержанов и др. Хим. физика, 1983, 9, 1259.
2. Т. П. Ивлева, А. Г. Мержанов, К. Г. Шкадинский. Докл. АН СССР, 1981, 256, 4, 897.
3. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1941, 1, 159.
4. Я. Б. Зельдович, Д. А. Франк-Каменецкий. ЖФХ, 1938, 12, 1, 100.
5. Б. В. Новожилов. Докл. АН СССР, 141, 1, 151.

О ВЛИЯНИИ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ И ДОБАВКИ ВОДЫ НА ГОРЕНИЕ СМЕСИ НИТРАТА АММОНИЯ С БИХРОМАТОМ КАЛИЯ

А. А. Шидловский, В. В. Горбунов
(Москва)

Термическое разложение NH_4NO_3 начинается с диссоциации его на NH_3 и NO_2 . Далее происходит окисление аммиака HNO_2 и окислами азота и, как следствие этого, возникает низкотемпературное ($< 800 \text{ K}$) беспламенное горение.

Термическое разложение и горение нитрата аммония изучалось многими исследователями [1—4], однако пока не удалось осуществить самораспространяющееся горение без добавок даже при 100 МПа. Устойчивое горение NH_4NO_3 достигается при введении 5—10% некоторых веществ, не увеличивающих теплоту горения, условно называемых катализаторами. Наиболее эффективны из этих веществ — хроматы и бихроматы щелочных металлов, в присутствии которых нитрат аммония горит уже при атмосферном давлении. Механизм действия катализаторов горения не вполне ясен. Предполагается, что они способствуют образованию продуктов более энергично окисляющих NH_3 , чем HNO_2 или NO . Отметим также, что сильное каталитическое действие соединений хрома (VI) обуславливается малым изменением энергии при переходах $\text{Cr(VI)} \rightleftharpoons \text{Cr(III)}$. Можно предположить, что ведущая реакция при горении NH_4NO_3 протекает в газовой фазе; на это указывает, в частности, отсутствие влияния плотности заряда на массовую скорость горения.

Для выяснения роли процессов, протекающих в газовой фазе, поставлены опыты по горению смеси 90% NH_4NO_3 + 10% $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ при пониженном давлении или при добавлении воды. Определялись критический диаметр, скорость и максимальная температура горения. Использовались нитрат аммония и бихромат калия марки х. ч. с размером частиц менее 100 и 50 мкм соответственно. Опыты проводили с уплотненными зарядами смеси ($\delta = 0,75 \div 0,85$), полученными прессованием под давлением 35—45 МПа; при добавлении воды такая же относительная плотность заряда достигалась при уплотнении вручную. Заряды помещали в стеклянную оболочку и воспламеняли электроспиралью. Опыты при пониженном давлении проводили в камере объемом около 0,05 м³, давление

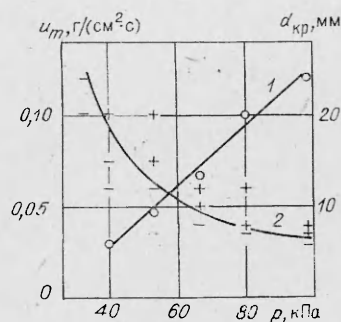


Рис. 1. Влияние начального давления на массовую скорость (1) и критический диаметр (2) горения смеси 90% NH_4NO_3 + 10% $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

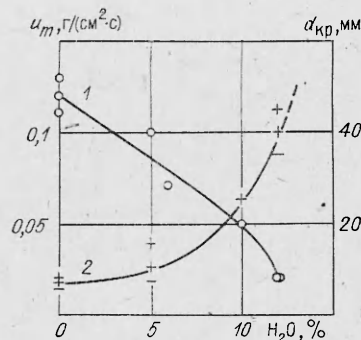


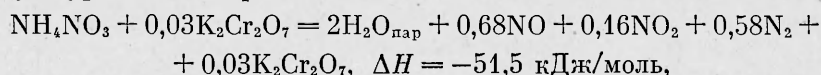
Рис. 2. Зависимость массовой скорости (1) и критического диаметра (2) горения от процентного содержания воды в смеси.

в ней измеряли ртутным манометром. При горении даже максимальных зарядов (6,5 г) давление повышалось не более чем на 2,7–2,9 кПа. Время перемещения фронта горения по участку определенной длины (обычно 6–7 мм) измеряли секундомером. Максимальную температуру горения определяли с помощью медь-константановых термопар диаметром 100 мкм, термо-ЭДС записывали на потенциометре КСП-4.

Результаты опытов по горению исследуемой смеси при пониженных давлениях представлены на рис. 1. При атмосферном давлении смесь легко воспламеняется и горит со скоростью 0,11–0,13 г/(см²·с) с выделением белого дыма. На поверхности заряда образуется слой полужидкой массы черного цвета. При понижении давления скорость горения уменьшается и растет критический диаметр. В условиях опытов горение смеси наблюдалось при $p \geq 40,0$ кПа. Газовая фаза при $p = 40$ кПа становилась почти прозрачной. При $p = 33,3$ кПа горение не распространялось при максимальном диаметре заряда 24 мм. Сделана попытка стимулировать горение увеличением начальной температуры заряда до 373 К. Однако и в этих условиях смесь не горела при диаметре заряда 24 мм и давлении 26,7 кПа. Наблюдалось только бурное кипение и разбрызгивание поверхностного слоя заряда. Максимальная температура горения при понижении давления от 98,1 до 40,0 кПа уменьшалась от 693 до 609 К.

Влияние добавки воды на горение смеси 90% NH_4NO_3 + 10% $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ представлено на рис. 2. Опыты проведены при атмосферном давлении на воздухе и содержании воды 5, 10, 12, 15% (сверх 100% основной смеси). Явления, наблюдаемые при горении, аналогичны безводной смеси. При увеличении содержания воды u_m уменьшается и возрастает $d_{кр}$. Устойчивое горение смеси удалось получить при максимальном содержании воды 12% и диаметре заряда 40 мм. При содержании воды 15% горение не распространялось при диаметре заряда 50 мм. Максимальная температура горения уменьшалась от 693 К для безводной смеси до 598 К для смеси с 12% воды.

Экспериментальная температура горения смеси ($T_r = 693$ К) соответствует уравнению горения



которое дает такую же расчетную температуру. Согласно этому уравнению, объем газообразных продуктов горения, неконденсирующихся при нормальной температуре, равен 0,36 м³/кг смеси. Увеличение давления в камере после сгорания заряда использовано для определения объема некоонденсировавшихся газов, который в различных опытах колебался в пределах 0,36–0,40 м³/кг смеси. Применение приведенного уравнения для расчета T_r смеси с добавкой 12% воды (NH_4NO_3 +

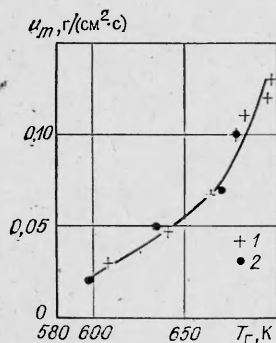


Рис. 3. Зависимость массовой скорости горения рассматриваемой смеси от T_r , уменьшение которой достигалось понижением начального давления (1) и введением воды (2).

$+ 0,03K_2Cr_2O_7 + 0,6H_2O = 2,6H_2O_{пар} + \dots$ и т. д.) дает температуру горения 643 К, что значительно выше экспериментальной (598 К). По-видимому, вода снижает T_r не только за счет затраты тепла на испарение, но и изменяет состав продуктов горения в сторону увеличения содержания более эндотермичных NO и N_2O .

Таким образом, уменьшение температуры горения смеси наблюдалось при понижении начального давления и при добавлении воды. Интересно отметить, что независимо от способа снижения температуры, ее влияние на скорость горения было одинаковым (рис. 3). Отметим в заключение, что не удалось осуществить горение изученной смеси при $p < 40$ кПа даже при повышении начальной температуры до 373 К и диаметре заряда 24 мм. Из этого следует, что при горении нитрата аммония процессы в газовой фазе играют значительную роль.

Поступила в редакцию 3/ХІ 1983,
после доработки — 9/ІІ 1984

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Глазкова. Катализ горения взрывчатых веществ. М.: Наука, 1976.
2. А. А. Шидловский. Тр. МХТИ им. Д. И. Менделеева. Вып. 22. М., 1956.
3. А. Р. Фрагина, Е. Я. Гольшева, А. А. Шидловский. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1966, 9, 3.
4. Г. Н. Беспалов, Л. Ф. Филатова, А. А. Шидловский. ЖФХ, 1968, ХІІ, 10.

ГОРЕНИЕ СИСТЕМЫ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В УСЛОВИЯХ МГД-УСТАНОВОК

А. М. Головин, В. Р. Песочин

(Москва)

В МГД-генераторах открытого цикла, работающих в базовом режиме, в качестве топлива будет применяться в основном уголь [1]. В камерах сгорания прямоточного или циклонного типа он будет сжигаться в пылевидном состоянии с предварительным подогревом воздуха до 2000 К под давлением порядка 10^6 Па [2]. Таким образом, условия сжигания угольной пыли в камерах сгорания МГД-генераторов будут отличаться от условий работы топочных камер парогенераторов электростанций [3], и возникает необходимость в проведении теоретического исследования горения системы угольных частиц в высокотемпературной среде.

В работе [4] описан приближенный метод расчета высокотемпературной камеры сгорания, работающей на угле. Стадией, определяющей горение угольной частицы, является, как известно [5—8], выгорание коксового остатка, которое в [4] рассматривается как гетерогенная реакция образования двуокси углерода в результате непосредственного взаимодействия углерода с молекулярным кислородом. Такая схема оправдана для горения пылеугольных частиц при относительно низких температурах, а при горении в высокотемпературной среде кислород не достигает поверхности угольной частицы, расходуясь полностью на догорание окиси углерода, образующейся при восстановлении двуокси