

ЛИТЕРАТУРА

1. D. Prentice. Comb. Sci. and Technol., 1970, 1, 5.
2. R. Bourianne, N. Manson. Compt. rend. Acad. Sci. Paris, 1971, 274, 817.
3. R. Bourianne, A. Hardy, N. Manson. Compt. rend. Acad. Sci. Paris, 1971, 272, 561.
4. В. М. Гремячкин, А. Г. Истратов, О. И. Лейпунский. ФГВ, 1975, 11, 3.
5. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Статистическая физика. М.: Наука, 1964.
6. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания/Под ред. В. Е. Алемасова и др. Т. 1. М.: ВИНТИ, 1971.
7. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочник/Под ред. В. П. Глушко. Т. 1, 2. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
8. В. М. Гремячкин, А. Г. Истратов, О. И. Лейпунский.— В кн.: Физические процессы при горении и взрыве. М.: Атомиздат, 1980.
9. Таблицы физических величин. Справочник/Под ред. И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГОРЕНИЯ ПЛАВЯЩИХСЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ

В. И. Юхвид, И. П. Боровинская, А. Г. Мержанов
(Черноголовка)

При самораспространяющемся высокотемпературном синтезе литых тугоплавких неорганических соединений [1—3], а также в ряде металлотермических процессов [4, 5] горение при атмосферном давлении может сопровождаться сильным разбросом реагирующего расплава и даже протекать в форме взрыва [5]. Такой характер горения не позволяет получать при атмосферном давлении многие полезные материалы, например тугоплавкие металлы и их соединения.

В данной работе исследуется возможность управления с помощью избыточного давления процессом горения высокоэкзотермических гетерогенных систем (см. таблицу). Расчетная температура горения T_r смесей 1—6 намного превышает температуру плавления исходных компонентов и конечных продуктов [1].

Эксперименты проводились в бомбе при постоянном давлении аргона $p_0 = 0 \div 100$ атм. В большинстве опытов смеси массой $M_0 = 20 \div 30$ г и относительной плотности 0,5—0,6 сжигались в кварцевых стаканчиках диаметром $d = 2$ см и высотой 5 см. Линейную стационарную скорость горения u_0 измеряли с помощью фоторегистрации, а глубину разброса смеси η_p определяли по формуле $\eta_p = (M_0 - M_k)/M_0$, где M_k — масса продуктов в стаканчике после горения. Продукты горения всех смесей в стаканчиках $d = 2$ см имели вид застывшего расплава.

На рис. 1 показано влияние p_0 на η_p для смесей 1—3. Здесь и ниже составы и кривые для них на графиках имеют одинаковый номер. Из рисунка следует, что для составов 1 и 2 при атмосферном давлении

Исходная смесь		Характеристика неметалла	
состав	плотность, г/см ³	вид	дисперсность, мкм
1. CrO ₃ : Al : C → 0,617 : 0,333 : 0,050	1,7	Графит	400—500
2. WO ₃ : CoO : Al : C → 0,660 : 0,124 : 0,182 : 0,034	2,5	»	40—45
3. NiO : Ti → 0,7 : 0,3	1,3	»	—
4. CrO ₃ : Al : B → 0,568 : 0,308 : 0,123	1,4	Бор аморфный	0,1
5. WO ₃ : Al : C → 0,758 : 0,194 : 0,048	2,4	Сажа	0,1
6. CrO ₃ : Cr ₂ O ₃ : Al : C → 0,309 : 0,342 : 0,288 : 0,061	1,7	Графит	400—500

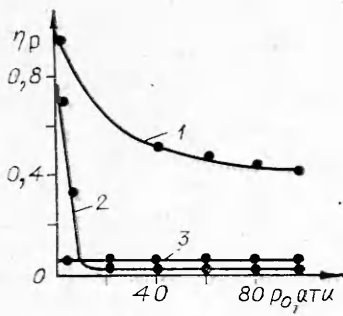


Рис. 1.

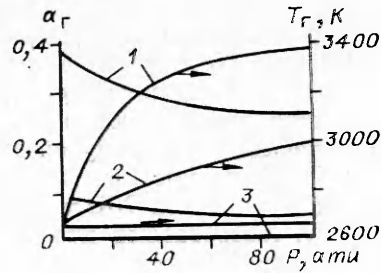


Рис. 2.

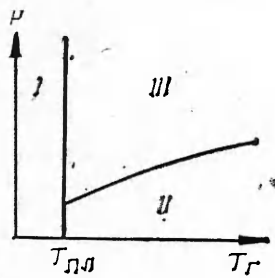


Рис. 3.

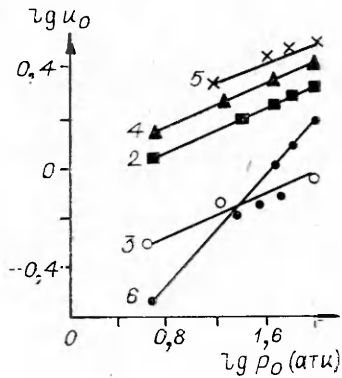


Рис. 4.

большая часть расплава выбрасывается из стаканчиков в процессе горения. С увеличением p_0 для обоих составов η_p уменьшается, но характер влияния различен. При понижении температуры горения состава 1 с помощью разбавления инертными или малоэнергетическими добавками зависимость η_p от p_0 принимает вид, аналогичный кривой на рис. 1. В отличие от смесей 1 и 2 для состава 3 разброс практически отсутствует как при повышенном, так и при атмосферном давлении.

Для понимания механизма влияния p_0 на η_p на БЭСМ-6 проведен термодинамический расчет состава конечных продуктов горения составов 1—3, 6. Он показал, что в составе конечных продуктов смесей 1, 2 и 6 имеется значительное количество газов (рис. 2, где a_g — суммарная концентрация газов). Основную долю газообразных продуктов составляют CO , Al_2O , Al_r . В случае состава 3, который горит без разброса, газообразные продукты отсутствуют. Следует отметить, что для смесей 2 и 6 (см. рис. 1, 2) в области $p_0 > 10$ атм, где разброс практически устранен, величина a_g все еще достаточно велика.

Очевидно, что вследствие малой растворимости газообразные продукты горения выделяются в реагирующем расплаве в виде пузырьков или газовых поршней. Последующее удаление пузырьков под действием подъемной силы или расширение газовых поршней приводит к разбросу расплава.

Анализ поведения a_g и T_g с ростом давления позволяет предположить, что причиной падения η_p с ростом p_0 является уменьшение объемной доли газа в расплаве (V_r) по закону $V_r = A/p_0$, где $A = \text{const}$.

В общем случае характер горения и состояние конечных продуктов зависят от p_0 и T_g (рис. 3). В области I горение протекает в стационарном режиме без разброса, а продукты горения не плавятся. В области II наблюдается сильный разброс ($0,1 < \eta_p \leq 1$), продукты горения плавятся. В области III горение протекает в стационарном режиме с плоским фронтом практически без разброса ($\eta_p < 0,1$), продукты горения плавятся.

Области I и II разделены условием $T_r = T_{пл}$, где $T_{пл}$ — температура плавления окисла металла восстановителя (Al_2O_3 , TiO_2). Области II и III условно разграничены кривой, для которой $\eta_p \approx 0,1$.

В области III изучено влияние p_0 на u_0 для систем 2—6 (рис. 4). Видно, что с увеличением p_0 величина u_0 возрастает. Зависимость u_0 от p_0 хорошо спрямляется в логарифмических координатах и, следовательно, описывается формулой $u_0 = Br^v$, где $v_2 = v_4 = v_6 = 0,2$; $v_3 = 0,3$, $v_5 = 0,6$. Следует отметить, что наиболее сильная зависимость u_0 от p_0 обнаружена для смеси $NiO + Ti$, у которой, согласно термодинамическому расчету, газообразных продуктов нет (см. рис. 3). Для этой системы проведен поиск неучтенных в термодинамическом расчете источников газа. Химический анализ показал, что используемый в работе Ti содержал 0,4% (по массе) растворенных H_2 и N_2 , которые при горении выделяются в реагирующем расплаве и образуют газовую фазу.

Рост u_0 с увеличением p_0 может происходить за счет изменения T_r (см. рис. 2) и плотности реагирующего расплава (уменьшение V_r).

Поступила в редакцию 18/VIII 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Мержанов, В. И. Юхвид, И. П. Боровинская. Докл. АН СССР, 1980, 225, 1.
2. В. И. Юхвид, Е. В. Околович, Г. А. Вишнякова, С. М. Муратов.— В кн.: Проблемы технологического горения. Т. II. Черноголовка, 1981.
3. А. Р. Качин, В. И. Юхвид, Г. А. Вишнякова.— В кн.: Проблемы технологического горения. Т. II. Черноголовка, 1981.
4. Н. П. Ляпишев, Ю. Л. Плинер, Г. Ф. Игнатенко, С. И. Лапко. Аллюминотермия. М.: Металлургия, 1978.
5. А. С. Дубровин.— В кн.: Процессы горения в химической технологии и металлургии. Черноголовка, 1975.

К ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ ОБДУВЕ

В. К. Булгаков, А. М. Липанов
(Ижевск)

Современные представления о механизме горения твердых топлив при обдуве основаны на тепловой модели Я. Б. Зельдовича [1], согласно которой эффект обдува выражается в увеличении суммарных коэффициентов переноса турбулентными слагаемыми. Исходя из тепловой модели, В. Н. Виллюнов предложил теорию эрозионного горения [2], в которой основным параметром, определяющим скорость эрозионного горения, является комплекс $Vi = U\rho/v_{кр} \cdot \sqrt{\lambda}$. Для области положительного эрозионного эффекта ($\varepsilon = v_{к2}/v_{к1} > 1$) теория В. Н. Виллюнова подтверждается экспериментом [3]. Эффект отрицательной эрозии $\varepsilon < 1$ моделью В. Н. Виллюнова не описывается.

Высказанные к настоящему времени гипотезы о сути отрицательной эрозии, например [3], объясняют ее воздействием турбулентности на зону химических реакций в газовой фазе.

Известные методики расчета эрозионной скорости горения [1, 2] используют недостаточно обоснованные упрощающие предпосылки. Так, для коэффициента турбулентной вязкости во всем диапазоне скоростей обдува принимается единая эмпирическая зависимость, имеющая ограниченную область применения; пренебрегается влиянием вдува; для области небольших значений параметра Vi (небольших скоростей обдува) принимается предположение об асимптотическом режиме течения [2].

Цель настоящей работы заключается в том, чтобы на основе более детальных представлений о структуре пограничного слоя у поверхности горения проанализировать особенности горения твердых топлив при об-