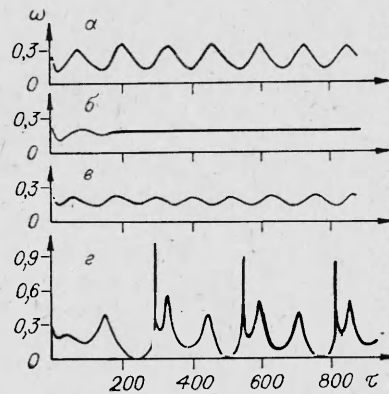


Рис. 3. Изменение скорости в процессе распространения фронта горения при различных температурах плавления; $q_2/q_1 = 8$, $\gamma = 0,14$, $\beta = 0,135$; $\Theta_{\text{п}} = 10$ (а), -2 (б), -4 (в) и -5 (г).



Функция $c(\Theta)$ моделировалась зависимостью

$$c(\Theta) = \begin{cases} 1 & (|\Theta - \Theta_{\text{п}}| > \varepsilon), \\ 1 + L/2\varepsilon & (|\Theta - \Theta_{\text{п}}| \leq \varepsilon). \end{cases}$$

Величина ε выбиралась достаточно малой, чтобы небольшие ее изменения не сказывались на результате расчета.

Решение системы (22) определялось на полуоси $\xi > 0$ при следующих граничных и начальных условиях:

$$\xi = 0: \Theta = \Theta_{\text{з}} \quad (0 < \tau < \tau_i), \quad \partial\Theta/\partial\xi = 0 \quad (\tau > \tau_i),$$

$$\tau = 0: \Theta = \Theta_{\text{н}} \equiv (T_{\text{н}} - T_{\text{г}})E/RT_{\text{г}}^2.$$

Дифференциальные уравнения (22) аппроксимировались разностными, которые решались методом прогонки с использованием подвижной адаптирующейся к решению неравномерной сетки. В результате решения задачи находились пространственно-временные распределения температуры $\Theta(\xi, \tau)$ и глубины превращения $\eta(\xi, \tau)$, а также скорость перемещения фронта горения ω , которая определялась как скорость перемещения точки с фиксированной температурой $\Theta_{\text{з}} = -1$.

Численное решение задачи подтвердило выводы приближенного анализа устойчивости. На рис. 3 представлены результаты расчетов нестационарного распространения фронта реакции при фиксированном отношении Q/L . При отсутствии ФП выбранным значениям γ и β отвечает автоколебательное распространение волны горения (см. рис. 3, а). Высокотемпературный ФП (см. рис. 3, б) подавляет пульсации скорости и переводит горение в стационарный режим. Уменьшение температуры плавления (см. рис. 3, в) ослабляет стабилизирующий эффект, горение вновь становится автоколебательным, хотя и с меньшей амплитудой, чем без плавления. Дальнейшее снижение температуры ФП приводит к увеличению амплитуды пульсаций скорости и к усложнению характера колебаний, что соответствует удалению в область неустойчивого горения [5], т. е. дестабилизации фронта.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Алдушин, А. Г. Мержанов. Докл. АН СССР, 1977, 236, 5, 1133.
2. Э. И. Максимов, К. Г. Шкадинский. ФГВ, 1974, 7, 3, 454.
3. Г. М. Махвиладзе, Б. В. Новожилов. ПМТФ, 1974, 5, 51.
4. Ю. М. Максимов, А. Т. Пак, Г. В. Лавренчук и др. ФГВ, 1979, 15, 3, 156.
5. К. Г. Шкадинский, Б. И. Хайкин, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1971, 7, 1, 19.

Поступила в редакцию 17/XII 1985,
после доработки — 11/VIII 1986

НОРМАЛЬНЫЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В СМЕСЯХ $\text{CO} - \text{O}_2 - \text{CO}_2$

Н. В. Андреева, А. И. Эльнатанов, И. И. Стрижевский
(Москва)

При атмосферном давлении и комнатной температуре максимальная скорость распространения пламени смесей $\text{CO}-\text{O}_2$ составляет 109 см/с (3,3% H_2O) [1-3], $\text{CO} - \text{воздух} - 47$ см/с (2,3% H_2O) [4].

Сухие составы CO — O₂ и CO — воздух имеют нормальные скорости распространения пламени 20 и 14,9 см/с [5].

Цель работы — определение нормальных скоростей распространения пламени в технологических смесях оксида углерода с кислородом и со смесью кислород — диоксид углерода, содержащих (по объему) 0,15—0,4% водяного пара, при комнатной температуре и давлениях $(1 \div 7) \cdot 10^5$ Па. Различные составы готовили по парциальным давлениям непосредственно в сферическом сосуде диаметром 140 мм, поджигали в центре переплавлением нихромовой проволоки диаметром 0,15 мм с энергией 5—10 Дж при атмосферном давлении и комнатной температуре. По диаграммам давление — время, полученным при помощи индукционного датчика ДД-10, усилителя ИД-2И и шлейфового осциллографа Н-115, определяли максимальное давление взрыва p_e , среднюю и максимальную скорости нарастания давлений.

Результаты опытов, приведенные в таблице, показывают, что по мере обогащения смесей оксидом углерода и кислородом максимальное давление взрыва плавно возрастает, достигая $(7,0 \div 7,4) \cdot 10^5$ Па. Это свидетельствует о распространении пламени по всему объему сферического сосуда, небольших тепловых потерях и дефлаграционном характере распространения пламени.

Расчитанные давления взрыва для CO — O₂ — CO₂ без учета диссоциации, которая не влияет вплоть до $T = 2500$ К, хорошо совпадают в большинстве опытов с экспериментальными данными. Расхождение этих величин до 30% в отдельных опытах объясняется значительными тепловыми потерями при горении смесей с малыми скоростями вблизи пределов.

На рис. 1 представлена зависимость от состава смеси давления взрыва p_e , значения которого расположены на поверхности, образованной точками, отвечающими максимальному давлению взрыва для каждого заданного состава. Проекция поверхности на соответствующую плоскость позволяют по известному содержанию оксида или диоксида

CO/O ₂	ξ, %			$p_e \cdot 10^{-5}$, Па		Δp, %	$\frac{dp}{dt} \cdot 10^{-5}$, Па/с		S_n , см/с, при $p \cdot 10^{-5}$, Па			
	CO	O ₂	CO ₂	Расчет	Эксперимент		Максимальная	Средняя	1	3	5	7
0,67	21,0	29,0	50,0	4,5	3,2	29	10	10	—	—	—	—
	24,0	36,0	40,0	4,7	5,1	—8	75	45	7,5	6	4	3*
	28,0	42,0	30,0	6,0	5,3	12	61	44	24,0	20	11	5*
	32,0	48,0	20,0	6,5	5,9	9	130	75	—	—	—	—
	36,0	54,0	10,0	6,3	6,4	—1	238	137	48,0	43	38	32*
	40,0	60,0	0	—	7,3	—	520	281	68,0	74	80	86
2	26,7	13,3	60,0	5,1	3,7	27	28	19	—	—	—	—
	33,3	16,7	50,0	5,9	5,3	10	67	48	11,0	8	5	3
	40,0	20,0	40,0	6,3	6,0	10	150	117	28,0	23	19	15*
	46,7	23,3	30,0	—	6,9	—	296	154	—	—	—	—
	53,0	27,0	20,0	—	7,0	—	650	206	50,0	52	55	57*
	60,0	30,0	10,0	—	7,2	—	594	286	87,0	92	97	103
66,6	33,4	0	—	7,4	—	743	336	101,0	105	110	115	
4	40,0	10,0	50,0	4,5	4,3	4	40	19	—	—	—	—
	48,0	12,0	40,0	5,2	5,0	4	66	39	—	—	—	—
	56,0	14,0	30,0	5,8	5,6	3	127	64	42,0	37	30	25*
	64,0	16,0	20,0	6,4	6,3	2	279	84	55,0	58	62	65*
	72,0	18,0	10,0	7,0	6,4	9	316	160	73,0	77	84	88*
	80,0	20,0	0	—	7,0	—	733	318	100,0	105	108	112*

Примечание. Δp — относительное различие экспериментальных и расчетных значений p_e ; ξ — объемные доли компонентов смеси; величины, помеченные *, получены экстраполяцией.

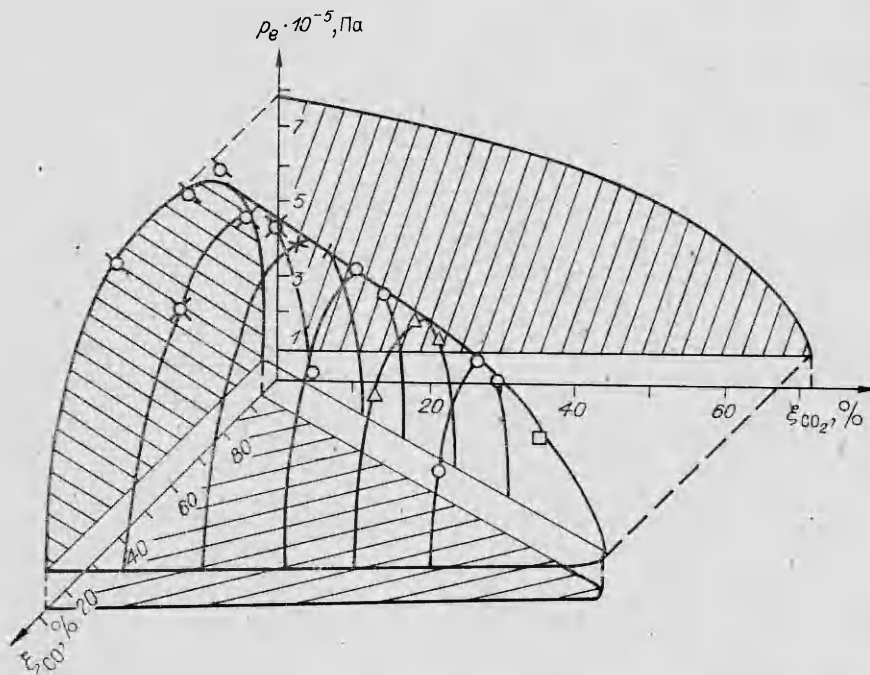


Рис. 1. Зависимость максимального давления взрыва смеси CO—O₂—CO₂ от состава.

углерода находить максимальные давления взрыва и концентрационные пределы воспламенения.

Нормальные скорости распространения пламени рассчитывали по методу Льюиса [6] при $p = 0,3; 0,5$ и $0,7$ МПа, а при $p = 0,1$ МПа вычисляли методом графического экстраполирования без учета изменения температуры несгоревшей смеси на начальной стадии распространения пламени. Температуру несгоревшей смеси и нормальную скорость рас-

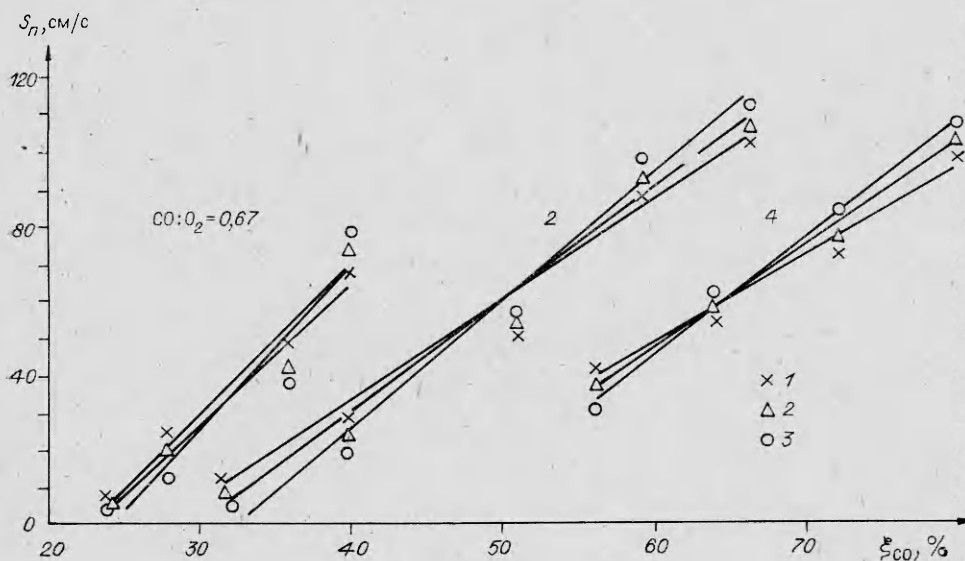


Рис. 2. Зависимость нормальной скорости распространения пламени от давления и состава.

$p \cdot 10^{-5}$, Па: 1—1, 2—3, 3—5.

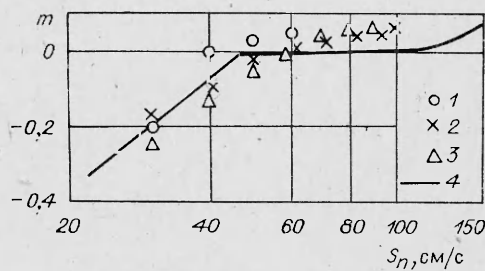


Рис. 3. Влияние давления на нормальную скорость распространения пламени.

CO : O₂ = 0,67 (1), 2 (2), 4 (3); 4 — данные [8].

пространения пламени рассчитывали по формулам

$$T_{\text{н}} = T_0 (p/p_0)^{(\gamma-1)/\gamma},$$

$$S_n = (dr_i/d\tau) (r_i/r_b)^2 (p_0/p)^{1/\gamma},$$

где T_0 — начальная температура смеси; $T_{\text{н}}$ — температура несгоревшей смеси; p_0 — начальное давление; S_n — нормальная скорость распространения пламени; r_i , r_b — радиусы несгоревшего газа и пламени, γ — отношение удельных теплоемкостей; τ — время.

По диаграммам давление — время определяли τ , соответствующее данному p , и величины максимального давления взрыва, которые использовали для расчета r_i и r_b по формулам, приведенным в [6]. Результаты расчета нормальных скоростей распространения пламени приведены в таблице. Сравнение полученных значений с данными работ [6, 7] показало хорошее совпадение результатов.

В области ξ_{CO} вдали от пределов воспламенения, где скорости распространения пламени заведомо выше предельных, зависимость S_n от состава и давления при постоянном отношении CO : O₂ линейная. Из рис. 2 видно, что по мере повышения давления при больших значениях S_n разброс точек от прямой несколько увеличивается.

Рост давления вызывает уменьшение S_n , когда $S_n < 50$ см/с при $p = 1 \cdot 10^5$ Па, и увеличение — для смесей с нормальной скоростью распространения пламени более этого значения.

Известно, что $S_n \sim p^m$ (m — барический коэффициент). Значения m нанесены на рис. 3, где приведены также результаты работы [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Payman, R. V. Wheeler. Nature, London, 1934, 133, 257.
2. T. W. Reynolds, M. Gerstein. 3-th Symp. on Combustion (Intern.). Baltimore. The Williams and Wilkins Co., 1949.
3. W. A. Bone, J. Bell. Proc. Roy. Soc., London, 1933, 143, 1.
4. C. Franze, H. G. Wagner. Z. Electrochemie, 1956, 60, 6, 525.
5. G. Mc. Donald. J. Chem. Phys., 1947, 20, 1497.
6. Б. Льюис, Г. Эльбе. Горение, пламя и взрывы в газах. М.: Мир, 1968.
7. W. A. Strauss, R. Edse. 7-th Symp. on Combustion, London, Butterwords Scientific Publication, 1959.
8. Р. С. Бабкин, Л. С. Козаченко, И. Л. Кузнецов. ПМТФ, 1964, 3, 145.

Поступила в редакцию 5/XI 1984,
после доработки — 8/VII 1986

СТРУКТУРА ОПТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВНУТРИ СФЕР И ТЕПЛОЙ ВЗРЫВ ЧАСТИЦ

Н. Н. Белов

(Москва)

Окись алюминия широко распространена в природе (входит в состав атмосферного аэрозоля), широко применяется в технике (основа катализаторов, шлифматериалы, активные вещества рубиновых лазеров и т. д.). Этим объясняется достигнутая глубина исследования свойств Al₂O₃. В свою очередь полнота знания свойств корунда и его доступность сделали Al₂O₃ эталонным материалом во многих областях научных