

правильность всех сделанных предположений о равновесной, тепловой природе излучения при взрыве смеси  $C_2N_2 + O_2$ .

Итак, в результате проведенного исследования получены количественные данные о световых и спектральных характеристиках излучения при взрыве смесей дициана с кислородом. Как и в соответствующих пламенах, основными излучающими частицами среди продуктов взрыва являются радикалы CN и  $C_2$ . По своей природе излучение при взрывах смесей  $C_2N_2 + O_2$  имеет равновесный, тепловой характер.

Авторы выражают глубокую благодарность Г. И. Дрозду и Н. П. Ярмаку за синтез и очистку дициана, а также В. М. Васильеву и Ю. М. Петрову за составление программ и помощь при выполнении термодинамических расчетов.

Поступила в редакцию 29/X 1981

#### ЛИТЕРАТУРА

1. J. E. Chester, R. M. Dagnall, M. R. G. Taylor. Anal. Chim. Acta, 1971, 55, 47.
2. Е. Б. Гордон, М. С. Дроздов и др. ФГВ, 1980, 16, 2.
3. N. Thomas, A. G. Gaydon, L. Brewer. J. Chem. Phys., 1952, 20, 369.
4. J. B. Conway, R. H. Wilson, A. V. Grosse. J. Amer. Chem. Soc., 1953, 75, 499.
5. E. M. Bulewicz. 12-th Simp. (Intern.) on Combustion. Pittsburgh, 1969.
6. A. G. Gaydon. The Spectroscopy of Flames. London: Chapman and Hall, 1974.
7. C. L. Smith, E. Homentowski, C. Stokes. Appl. Optics, 1967, 6, 1130.
8. Е. Б. Гордон, М. С. Дроздов и др. Письма в ЖЭТФ, 1973, 18, 560.
9. L. V. McCarthy. US Pat. 3116623, Cl. 431—95, 1964.
10. Термодинамические свойства индивидуальных веществ/Под ред. В. П. Глушко. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
11. В. А. Каменщиков, Ю. А. Пластинин и др. Радиационные свойства газов при высоких температурах. М.: Машиностроение, 1971.
12. R. W. B. Pearse, A. G. Gaydon. The Identification of Molecular Spectra. London: Chapman and Hall, 1976.
13. Е. Ф. Гиппиус, Е. М. Кудрявцев и др. ТВТ, 1964, 2, 181.
14. Л. Б. Ибрагимова. ЖПС, 1978, 28, 612.
15. Л. В. Гурвич и др. Энергии разрыва связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону. М.: Наука, 1974.

### ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИЯ ЧАСТИЦ ОКИСИ АЛЮМИНИЯ В ПРОДУКТАХ ДЕТОНАЦИИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

А. А. Гончаров, В. Е. Неделько, Ю. П. Федько  
(Москва)

Создание износостойкости покрытий с помощью детонационных волн в газовых смесях (детонационное напыление) происходит в результате взаимодействия частиц порошкового материала, нагретых и ускоренных в стволе детонационной установки, с поверхностью напыляемой детали (подложкой). На формирование и качество покрытий влияют в первую очередь температура и скорость частиц перед ударом о подложку [1]. Значительные пластические деформации, претерпеваемые частицами, а также наличие сфероидизированных частиц в специально проведенных опытах свидетельствовали о достижении материалом температуры плавления [2]. В работе [3] сообщается об определении температуры частиц порошка  $Al_2O_3$  (температура плавления  $\sim 2050^\circ C$ ) с помощью термометра сопротивления — пластины из фольги, помещенной в газодисперсный поток. Однако необоснованность принятых допущений о характере теплообмена между покрытием, пластиной и окружающей средой, а также пренебрежение неравномерностью нагрева чувствительного элемента не позволяют принимать во внимание полученные результаты (температура частиц  $600-1400^\circ C$ ).

Наиболее перспективным для определения степени нагрева частиц представляется применение цветового метода оптической пирометрии, с помощью которого можно получить информацию об их температуре  $T(t)$  и относительной концентрации  $n(t)$  в течение времени напыления  $t$  за один выстрел. Определение температуры гетерогенных излучателей, которыми являются частицы порошка, имеет специфические особенности, связанные с дисперсией света. Для вычисления истинной температуры по яркостной и цветовым температурам необходимо знать константы, характеризующие эти процессы [4]. Однако для частиц  $Al_2O_3$  задача существенно упрощается, так как их излучение идентично излучению серого тела [5] в области длин волн  $\lambda$  видимого света. Это позволяет отождествить их истинную температуру с цветовой, которая легко определяется по спектральным интенсивностям свечения ( $I_\lambda$ ) вещества на двух длинах волн.

В данной работе в экспериментах с помощью фотомножителей (ФЭУ) регистрировались яркости свечения  $I_{\lambda_1}$  и  $I_{\lambda_2}$  газодисперсной среды, испускаемого областью  $S_m = 3 \text{ мм}^2$  на двух длинах волн:  $\lambda_1 = 633$  и  $\lambda_2 = 420$  нм. Учитывая, что яркость свечения  $I_\lambda$  зависит не только от температуры, но и от концентрации порошка  $n(t) = S(t)/S_m$  на единицу площади потока продуктов детонации (ПД), выражение для закона излучения Вина можно записать в виде

$$I_\lambda = \varepsilon C_1 \lambda^{-5} e^{-C_2/\lambda T(t)} S(t)/S_m,$$

где  $\varepsilon$  — коэффициент черноты излучения порошка;  $S(t)$  — текущее значение площади, занятой порошком в пределах области  $S_m$ . Температура  $T(t)$  определяется по значениям  $I_{\lambda_1}$ ,  $I_{\lambda_2}$ , пропорциональным напряжениям на ФЭУ  $U_{\lambda_1}(t)$  и  $U_{\lambda_2}(t)$

$$T(t) = K_\lambda / (K_0 + \ln U_{\lambda_1}/U_{\lambda_2}),$$

где  $K_\lambda = C_2 (\lambda_2^{-1} - \lambda_1^{-1})$ ;  $K_0 = \ln U_{\lambda_2}^0/U_{\lambda_1}^0 + C_2 [(\lambda_2 T_{\lambda_2}^0)^{-1} - (\lambda_1 T_{\lambda_1}^0)^{-1}]$ ;  $T_{\lambda_1}^0$ ,  $T_{\lambda_2}^0$  и  $U_{\lambda_1}^0$ ,  $U_{\lambda_2}^0$  — температуры эталонной лампы и напряжения, генерируемые ФЭУ при градуировке пирометра. Относительная концентрация  $n(t)$  вычислялась по отношению  $U_{\lambda_1}/U_{\lambda_2}$  и температуре  $T(t)$ .

Эксперименты проводились на напылительной установке (рис. 1), предназначенной для нанесения покрытий с помощью детонации ацетилено-кислородных смесей. Установка состояла из ствола 2, системы газопитания 1, порошкового дозатора 3 инжекционного типа и подложки, удаленной от ствола на расстояние  $L = 150$  мм. Покрытие формировалось из порошка окиси алюминия марки М40 (ГОСТ 3647-71). Поле видимости  $S_m$  цветового пирометра 5 находилось на различных расстояниях  $l$  от среза ствола. Скорость детонации контролировалась с помощью пьезоэлектрических датчиков давлений 4.

На рис. 2 показаны осциллограммы напряжений с ФЭУ  $U_{\lambda_1}$ ,  $U_{\lambda_2}$  и рассчитанные по ним температура  $T$  и концентрация  $n$ . Кривые  $T$  и  $n$  имеют начало в момент возникновения свечения частиц порошка в пре-

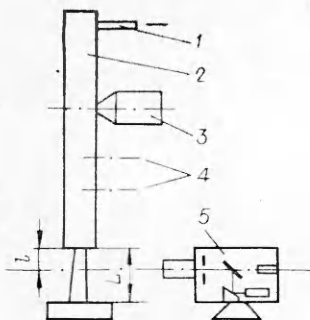


Рис. 1.

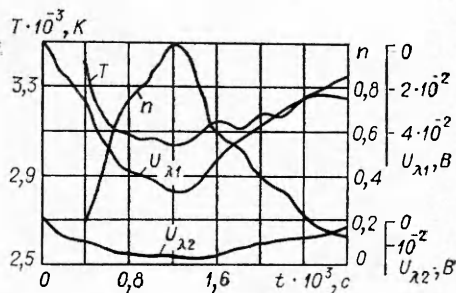


Рис. 2.

делах  $S_m$  ( $t_0 \approx 0,4 \cdot 10^{-3}$  с). До этого момента регистрируемое свечение связано с излучением ПД. Ошибка  $\Delta T$  при определении температуры обусловлена методическими и приборными погрешностями. Ниже приведена относительная погрешность  $\Delta T/T$ , которая достигает минимального значения  $\sim 20\%$  одновременно с максимумом яркостей свечения порошка.

$t \cdot 10^3, \text{ с}$	$\Delta T/T$	$t \cdot 10^3, \text{ с}$	$\Delta T/T$	$t \cdot 10^3, \text{ с}$	$\Delta T/T$	$t \cdot 10^3, \text{ с}$	$\Delta T/T$
0,4	0,280	1,0	0,205	1,4	0,200	2,0	0,242
0,6	0,220	1,2	0,199	1,6	0,216	2,2	0,277
0,8	0,210			1,8	0,226		

Столь значительная величина  $\Delta T/T$  связана в первую очередь с использованием осциллографа (С1-33) в качестве регистрирующего прибора на обеих стадиях эксперимента: при градуировке установки и исследовании процесса. Погрешность определения амплитуды только одного сигнала по осциллограмме всегда выше 10%, а при вычислении  $T(t)$  используются четыре осциллограммы ( $U_{\lambda 1,2}^0$  и  $U_{\lambda 1,2}$ ).

На рис. 3 показано распределение температуры, соответствующей максимуму концентрации частиц в сечениях при  $l = 35, 73, 109$  и  $143$  мм. Скорость детонации в опытах была различной:  $D = 2,10(1); 2,00(2)$  и  $1,34$  км/с (3). Соответствующий этим скоростям состав ацетилено-кислородных смесей не имеет смысла приводить, поскольку условия проведения опытов не гарантировали отсутствия в исходной смеси посторонних газов (воздуха и ПД, оставшихся от предыдущего выстрела). Данные, приведенные на рис. 3, свидетельствуют о том, что температура частиц, достигаемая в результате взаимодействия с продуктами детонации смесей различного состава, оказывается практически одинаковой. На это же косвенно указывает тот факт, что степень прогрева частиц не зависит от их местоположения в потоке ПД, который следует из анализа профиля температуры  $T(t)$ . Дело в том, что частицы, соответствующие различным точкам кривой  $T(t)$ , взаимодействуют с областями потока ПД, имеющими отличающиеся динамические параметры, аналогично ПД, образованным газовыми смесями различного состава. Для иллюстрации сказанного на рис. 4 показана микрофотография излома и части поверхности покрытия, на которой отчетливо различаются осевшие в конце потока частицы яйцеобразной формы, обусловленной их плавлением при взаимодействии с ПД.

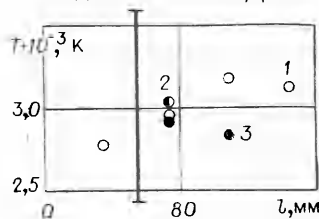


Рис. 3.

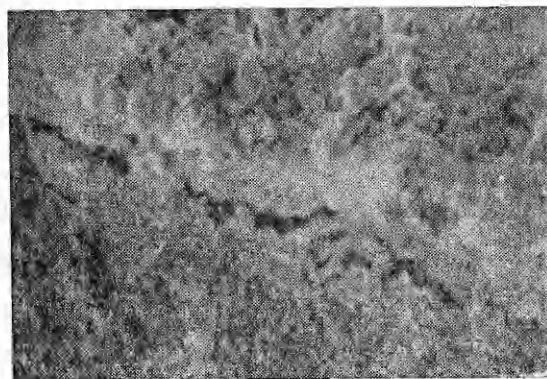


Рис. 4.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что в условиях проведенных экспериментов, отвечающих наиболее типичным условиям практического напыления, покрытие формируется из частиц окиси алюминия, поверхность которых нагрета выше температуры плавления. Сказанное справедливо для различных составов ацетилено-кислородной смеси и дистанций напыления. Отсюда следует необходимость исследований влияния скоростных характеристик частиц и степени их проплавления на качество формируемых покрытий.

Поступила в редакцию 31/III 1981, после доработки — 4/XII 1981

## ЛИТЕРАТУРА

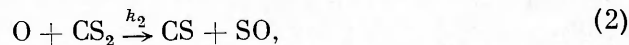
1. Ю. П. Федько.— В сб.: Неорганические и органосиликатные покрытия. Л.: Наука, 1975.
2. Е. А. Астахов, А. Н. Краснов и др.— В сб.: Защитные высокотемпературные покрытия. Л.: Наука, 1972.
3. В. С. Клименко, В. Г. Скадин и др. Порошковая металлургия, 1978, 6.
4. Ф. Ресслер.— В сб.: Физика быстропотекающих процессов. М.: Мир, 1971.
5. П. Ф. Похил, В. М. Мальцев, В. М. Зайцев. Методы исследования процессов горения и детонации. М.: Наука, 1969.

## О НИЖНЕМ ПРЕДЕЛЕ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ СМЕСЕЙ CS<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>

В. А. Дудкин  
(Москва)

Механизм самовоспламенения смеси CS<sub>2</sub>—O<sub>2</sub> при низких давлениях представляет большой интерес как с теоретической, так и с практической точки зрения. Однако вследствие многообразия кинетических процессов до недавнего времени процессы зарождения и развития цепей в реагирующей смеси CS<sub>2</sub>—O<sub>2</sub> детально не рассматривались. Лишь в работах [1, 2] экспериментальные закономерности, наблюдающиеся при самовоспламенении смесей сероуглерода с кислородом, связаны с теоретической моделью разветвленной цепной реакции.

Рассматриваемая в [1, 2] кинетическая схема включает следующие процессы:



Предполагается также, что существует некоторая малая скорость зарождения активных центров в реакционном объеме. В линейном приближении по концентрациям активных частиц O, S, SO и CS, а также в предположении квазистационарности по O, S и SO в [1, 2] получено кинетическое уравнение для радикала CS, из которого следует, что накопление радикалов идет по закону  $\sim e^{\varphi t}$ , где  $\varphi$  выражается через кинетические константы приведенных выше процессов следующим образом:

$$\varphi = k_6(\delta_{CS}v_{SO} - 1),$$

где  $\delta_{CS} = k_5[O_2]/k_6$ ;  $v_{SO} = k_3[O_2]/k_4$ . Отсюда следует, что граница полуострова самовоспламенения задается уравнением  $\delta_{CS}v_{SO} = 1$ , а условие  $\delta_{CS}v_{SO} \geq 1$  определяет критерий самовоспламенения смеси в линейном приближении.

Следует, однако, заметить, что процессы (2) и (5) имеют также другие каналы реакции [3, 4]

