

Влияние Y и T_0 (в °C) на адиабатическую температуру горения целлюлозы при $p=1$ атм, смесь кислород — азот

Y	T_r (°C) при T_0				Y	T_r (°C) при T_0			
	20	100	200	300		20	100	200	300
1,0	2901	2913	2924	2936	0,310	2401	2436	2468	2500
0,754	2819	2833	2847	2861	0,220	2158	2209	2257	2303
0,620	2752	2769	2785	2801	0,188	1983	2047	2106	2163
0,500	2668	2688	2707	2727					

срыву горения. Расчет коэффициентов теплопроводности смесей кислорода с инертными газами в зависимости от Y проводился по известной формуле Брокау [3]. Адиабатическая температура горения полимеров в смеси кислорода с инертным газом в зависимости от Y определялась термодинамическим расчетом. Отметим, что замена гелия в составе атмосферы на равное количество аргона не приводит к изменению адиабатической температуры горения. Теоретические зависимости $l^*(Y)$ для различных инертных газов в составе атмосферы определены с помощью формул (1) и (2) и результатов расчетов $\lambda(Y)$ и $T_r(Y)$ при $E = 20$ ккал/моль и $\omega = 1,5$ в соответствии с данными работы [4]. Теоретические кривые на рис. 2 удовлетворительно согласуются с экспериментом (точки).

Для сопоставления критерия (1) с опытными результатами по зависимости l^* от начальной температуры найдем выражение для температурного коэффициента предельного размера горения

$$\frac{d \ln l^*}{dT_0} = - \left(\frac{\omega}{2} + 1 \right) \frac{T_r - T_0}{T_r (T_r - T_0)} \frac{dT_r}{dT_0} - \frac{E}{2RT_r^2} \frac{dT_r}{dT_0}. \quad (3)$$

Наблюдаемое в опытах уменьшение температурного коэффициента с увеличением Y объясняется, согласно (3), соответствующим уменьшением производной dT_r/dT_0 . Уменьшение dT_r/dT_0 при возрастании Y , в свою очередь, является следствием увеличения степени диссоциации продуктов реакции при повышении температуры. Производная dT_r/dT_0 определялась термодинамическим расчетом (см. таблицу). Для целлюлозы при $p_0 = 1$ атм она уменьшается от 0,52 при $Y = 0,21$ до 0,125 при $Y = 1$. Теоретические зависимости $l^*(T_0)$, рассчитанные по формулам (1), (2), удовлетворительно согласуются с опытными данными (см. рис. 1).

Поступила в редакцию 21/IV 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Марголин, В. Г. Крупкин. Докл. АН СССР, 1981, 257, 6, 1369.
2. А. Д. Марголин, В. Г. Крупкин. ФГВ, 1978, 14, 2, 56.
3. Физический энциклопедический словарь. Т. 5. М.: Советская энциклопедия, 1966.

УДК 541.126+662.612+546.621+546.47

ТЕМПЕРАТУРА ЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ В МОМЕНТ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ГОРЕНИЯ

В. А. Ермаков, А. А. Раздобрев, А. И. Скорик, В. В. Поздеев, С. С. Смоляков

(Томск)

Температура частиц — важная характеристика процесса воспламенения и горения. В ряде работ [1—4] для ее определения предполагалось, что воспламенение частиц алюминия происходит при температуре плавления оксида. В [5] для расчета размеров зон горения сделано предположение о постоянстве температуры частицы в процессе ее горения. Имеющиеся данные по прямому измерению температуры частиц алюминия при воспламенении немногочисленны и противоречивы [5, 6]. Так, в [7] при измерении яркостной температуры алюминиевых проволочек, нагреваемых в атмосфере кислорода, обнаружено, что независимо от давления кислорода и толщины окисного слоя воспламенение наступает при $T = 2025$ К, $T = 2050$ К установлена в [6] при индуктивном нагреве частиц алюминия с исходным диаметром $d_0 = 3 \div 4$ мм со

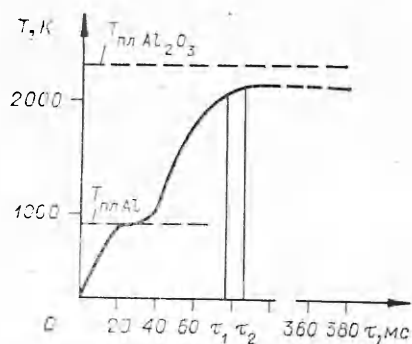


Рис. 1.

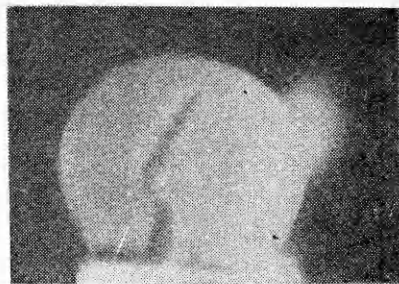


Рис. 2.

скоростью 377—695 град/с. Однако в [3] приведены данные о том, что алюминиевые проволоочки с $d_0 = 0,25—1,00$ м в среде аргон + кислород при давлении $p = 1$ атм и выше воспламенялись при $T = 2300—2400$ К. Температура горящей частицы, измеренная термомпарным методом, составляла в зависимости от темпа подвода тепла 2430—2540 К [6], приближаясь к температуре кипения алюминия.

В настоящей работе проведено измерение температуры сферических частиц алюминия с $d_0 = 400—1200$ мкм и цилиндрических с $d_0 = 680$ и высотой 700 мкм в воздухе при атмосферном давлении. Нагрев осуществлялся лазером непрерывного действия с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм [8]. Плотность потока падающего на частицы излучения составляла 1500—4500 Вт/см².

Температура измерялась вольфрам-рениевыми термопарами ВР 5/20, их спай (толщиной 18—20 мкм) находился в центре частицы. Термо-ЭДС регистрировалась шлейфовым осциллографом Н-700 с использованием усилителя с высокоомным входом. Синхронно с записью температуры частицы проводилась микрокиносъемка со скоростью до 4500 кадр/с. Синхронность регистрации позволила при дешифрировании экспериментальных результатов сопоставить температуру частицы с физическими явлениями, наблюдаемыми на ее поверхности.

На рис. 1 в качестве примера приведен характерный вид кривой нагрева частицы диаметром 680 мкм при плотности потока излучения $q = 4000$ Вт/см². Темп нагрева, определенный по наклону начального участка температурной кривой, составлял около $3 \cdot 10^4$ град/с. Отчетливо видна площадка, соответствующая плавлению алюминия, где температура $T_{пл} = 890$ К. Расхождение между измеренной и табличной величиной температуры плавления алюминия может служить характеристикой максимальной ошибки измерения температуры в настоящем опыте. Появление пламени в виде факела на ограниченном участке поверхности отмечено в момент $\tau_1 = 76$ мс, которому соответствует температура 2070+50 К. При последующем нагреве факел распространялся на всю поверхность частицы и к моменту $\tau_2 = 85$ мс формировалась отмеченная ранее в [8] картина горения, характеризующаяся устойчивой трехзонной структурой пламени. Температура частицы к этому моменту повышалась до 2170 К и сохранялась постоянной при последующем горении. По мере сгорания диаметр частицы уменьшался, термопара попадала в зону действия луча лазера и перегорала. Это происходило спустя 300 мс с момента воспламенения. Сопоставление результатов опытов показало, что температуры воспламенения и стационарного горения не зависят от размера частиц и плотности потока излучения в изученном интервале изменения этих параметров.

Дополнительно измерена яркостная температура частиц алюминия с $d_0 = 400$ мкм оптическим методом [9], который основан на сравнении интенсивности излучения исследуемого источника с эталонным по почернению киноматериала в стандартных условиях его экспонирования и обработки. В качестве эталонного источника использовали вольфрамовую банд-лампу СИ-10-300. Для выделения узких спектральных интервалов применяли интерференционные светофильтры с длиной волны 4,21 и 5,01 нм. Фотометрирование киноплёнок проводилось на микрофотометре МФ-2 по методике [10].

В момент воспламенения (возникновение факела пламени в некоторой ограниченной области поверхности частицы [8]) температура частицы определена в 40 точках ее поверхности, исключая зону пламени. Измерения показали, что температура поверхности одинакова во всех точках и составляла 2090 К. Эта температура хорошо согласуется с результатами термомпарных измерений.

Полученная в данных опытах температура воспламенения совпадает с результатами работы [6] и показывает, что воспламенение связано не с расплавлением окисной пленки, а является следствием нарушения ее целостности за счет термомеханических напряжений в процессе нагрева. Подтверждением этому служит фотография поверхности частицы в момент появления факела пламени (рис. 2). Она отчетливо иллюстрирует наличие трещин в пленке окиси и обнажение металла на поверхности в момент появления факела.

Постоянство температуры частицы на участке стационарного горения подтверждает справедливость предположения, сделанного в [5]. Отсутствие зависимости стационарной температуры горения частиц алюминия от интенсивности подвода тепла извне в отличие от [6], по-видимому, связано с особенностями нагрева металла лазерным излучением [11], которое может экранироваться продуктами факела.

Поступила в редакцию 9/II 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Friedman, A. Masek. Comb. and Flame, 1962, 6, 9.
2. А. Меллор, И. Гласмен.— В сб.: Гетерогенное горение. М.: Мир, 1967.
3. D. Kuehl. Pyrodynamics, 1965, 3, 65.
4. R. Friedman, R. Nugent. 6-th Symp. (International) on Comb. N. Y., Reinhold Publishing Corp., 1957.
5. R. Bonrianes. Comb. Inst. Fur. Symp. 1973. London — New York, 1973.
6. Е. М. Деревяга, Л. И. Стесик, Э. А. Федорин. ФГВ, 1977, 13, 6.
7. Т. Бржустовский, И. Гласмен.— В сб.: Гетерогенное горение. М.: Мир, 1967.
8. А. А. Раздобреев, А. И. Скорик, Ю. В. Фролов. ФГВ, 1976, 12, 2.
9. Ю. Е. Нестерихин, Р. И. Солоухин. Методы скоростных измерений в газодинамике и физике плазмы. М.: Наука, 1967.
10. А. Н. Зайдель, Г. В. Островская, Ю. И. Островский. Техника и практика спектроскопии. М.: Наука, 1972.
11. Г. С. Романов, К. Л. Степанов. ЖПС, 1968, 8, 753.

УДК 621.43.019.7 : 546.26

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ САЖЕОБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ГОРЕНИЯ ГОМОГЕННОЙ СМЕСИ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 2 МПа

Ф. Г. Бакиров, Н. Х. Баширов, В. М. Захаров, И. З. Полецук, Э. Г. Шайхутдинов
(Уфа)

Механизм и количественные характеристики сажеобразования в пламенах при высоких давлениях изучены недостаточно [1], что связано со значительными методическими трудностями в организации экспериментов. Закономерности процесса наиболее удобно исследовать при горении однородных топливно-воздушных смесей, когда отсутствует влияние таких факторов, как испарение топлива и смешение. Сложность задачи обусловлена тем, что необходимо создать условия для полного испарения и смешения с воздухом углеводородного топлива при одновременной гарантии отсутствия самовоспламенения и предотвратить возможность проскока пламени из реакционной зоны в систему предварительной подготовки топливно-воздушной смеси. Кроме того должно быть разрешено противоречие между необходимостью обеспечения стабилизации пламени в горелке и поддержанием достаточно высокой скорости потока с целью развертки хода процесса во времени. Ниже рассматривается методика исследований сажеобразования при давлениях до 2 МПа.

Основные требования, принятые во внимание при разработке и создании экспериментальной установки (рис. 1): однородность и однородность по составу топливно-воздушной смеси перед реакционной зоной, достаточно широкий диапазон изменения давления, состава смеси, времени пребывания, а также теплоотвода из зоны горения, обеспечение удовлетворительной точности результатов экспериментов. Помимо установки ГС-1 экспериментальный комплекс включал в себя системы подогрева и подачи топлива и воздуха, отбора продуктов сгорания, дистанционного управления режимами работы установки, контрольно-измерительную аппаратуру и др. Горение богатых однородных смесей происходило в реакционной трубе с внутренним диаметром 0,038 м, устанавливаемой после стабилизирующей решетки с 32—40 отверстиями диаметром 0,0005 м. Применение реакционных труб различной длины, выполненных из различных материалов (кварц, керамика, псевдосплав ВНС-1), а также охлаждаемых водой или воздухом стальных труб позволяло варьировать условиями теплоотвода из реакционной зоны и временем пребывания.

Оптимальные условия для полного испарения впрыснутого через пневматический распылитель топлива и смешения с воздухом в карбюраторе подобраны на основе серии предварительных расчетов на ЭВМ ЕС-1020: максимальный диаметр капель топлива 60—70 мкм, длина испарительного участка 1 м, время пребывания смеси в карбюраторе $\tau_{пр} \geq 0,1$ с, температура смеси на выходе из него не ниже 150—160°C при сжигании *n*-гексана и не ниже 200°C при работе на керосине ТС-1. Контроль однородности топливно-воздушной смеси в начальном сечении реакцион-