

О МАКСИМАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ ПОРШКООБРАЗНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ГОРЮЧЕГО В ЗОНЕ ОБРАТНЫХ ТОКОВ

Егоров А.Г.

Тольяттинский политехнический институт

Применение порошкообразного алюминия ($A\ell$) в качестве горючего двухкомпонентного гетерогенного топлива для двигателей летательных аппаратов и специальных энергетических установок связано с решением многих проблем, одной из которых является стабилизация пламени в высокоскоростном газодисперсном потоке. Время пребывания (τ_{np}) частиц топлива в зоне обратных токов (ЗОТ) является одним из основных параметров, определяющих стабилизацию пламени в потоке гомогенной смеси. Так как через соотношение времени пребывания смеси в ЗОТ τ_{np} и временем ее сгорания τ_c характеризуется тепловое состояние ЗОТ. При исследовании стабилизации пламени на режиме обеднения при подаче жидкого топлива под стабилизатор в [1] было получено, что увеличение мелкости распыла и τ_{np} капель топлива внутри ЗОТ приводит к расширению "бедной" границы срыва. Наряду с этим также было отмечено, что большое значение имеет и характер распределения частиц топлива по длине ЗОТ. По аналогии с бензовоздушными смесями для расширения "бедной" границы срыва алюминиево-воздушной смеси (АВС) наилучшим вариантом распределения частиц $A\ell$ в ЗОТ, был бы такой, при котором зоны максимальной концентрации частиц наименьшего диаметра совпадали бы с областями наибольших локальных времен пребывания τ_{mix} .

Поскольку аэрозвесь $A\ell$ представляет собой двухфазную смесь, следовательно, τ_{np} в ЗОТ газовой (воздух) и твердой ($A\ell$) фаз будет различным. Если влияние параметров основного потока U_0 и ε_0 на τ_{np} воздуха (окислителя) в ЗОТ будет в полной мере отвечать закономерностям, полученным в [2], то для частиц $A\ell$ (горючего) они неизвестны. Если τ_c частиц $A\ell$ при атмосферном давлении подчиняется закону $\tau_c \sim d^2$ [3], следовательно τ_c полидисперсной АВС в ЗОТ будет определяться размером частиц самой крупной фракции. В связи с этим наряду со средним временем пре-

бывания τ_{cp} определенный интерес представляет максимальное время пребывания частиц Al в ЗОТ (τ_{max}).

Цель настоящей работы – исследовать зависимость τ_{max} частиц Al в ЗОТ от таких параметров, как степень внезапного расширения r^* , среднего размера d_{cp} и формы частиц, скорости U_0 и турбулентности ε_0 основного потока АВС.

Экспериментальные исследования проводились на моделях КСВР из тугоплавкого стекла "Пирекс" с использованием установки и методики описанной в [4]. Модели КСВР представляли собой осесимметричные каналы с внезапным расширением диаметром $D_{KC} = 0,04 \div 0,09$ м и с относительными геометрическими параметрами: $L_{KC}/r_0 = 12 \div 15$ и $r^* = 2,0 \div 4,5$. Схема модели КСВР и картина течений в ней представлены на рис.1. Изменение уровня начальной турбулентности ε_0 воздушного потока осуществлялось перфорированным диском (ПД) с коэффициентом живого сечения (0,65), который устанавливался во входном канале на различных расстояниях от плоскости внезапного расширения ($l_{пд}$). Измерения скорости и турбулентных характеристик воздушного потока в КСВР производились с помощью комплекта термоанемометрической аппаратуры DISA-55M.

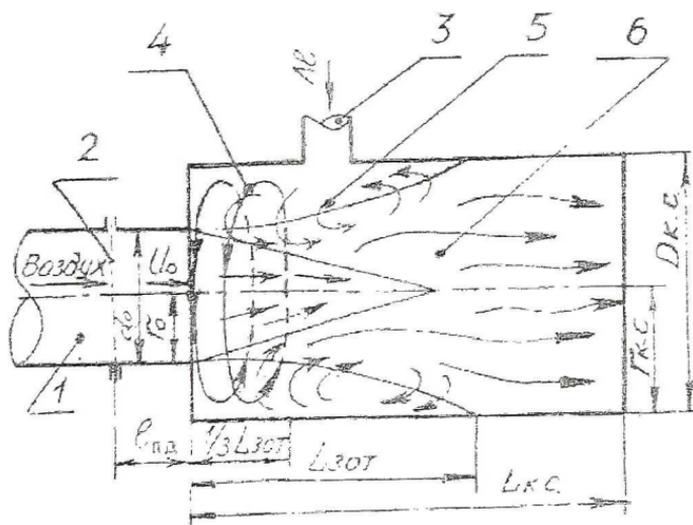


Рис. 1. Схема модели КСВР и картина течений в ней:
 1- входной канал; 2- перфорированный диск; 3- штуцер для подачи порошка Al ; 4- донное вихревое течение с закруткой; 5- ЗОТ; 6- основной поток

В качестве горючего использовались порошки Al марок АСД и ПА, окислителем служил воздух с температурой $T = 293$ К.

Для определения τ_{np} частиц Al в ЗОТ применялся оптический метод с использованием высокоскоростной киносъемки, который позволял производить покадровое исследование, т.е. с высокой точностью делать пространственно - временные измерения.

Визуализация гидродинамики течения в ЗР показала наличие в донной области закрученного потока, который занимает $\sim 1/3$ всей длины ЗОТ. В работе [5] дана точная математическая формулировка проблемы спонтанной закрутки, т.е. возникновение вращательного движения жидкости при отсутствии явных источников вращения. В донном вихревом потоке с закруткой наблюдалась поперечная миграция частиц, которая приводила к увеличению концентрации наиболее крупных частиц в пристенной области.

В итоге визуальных наблюдений и проведенного анализа киноматериалов было выявлено, что τ_{np} и концентрация частиц по длине ЗОТ неравномерны. Так в КСВР с $r^* = 4,5$ при $U_o = 90$ м/с и трубной турбулентности значение τ_{np} частиц Al порошка марки АСД-1 в донной области ЗОТ ($1/3 L_{ЗОТ}$) составило $33,4 \cdot 10^{-3}$ с, тогда как в остальных $2/3$ длины ЗОТ оно было только $11,4 \cdot 10^{-3}$ с. При установке ПД во входном канале на $\ell_{no} = 20$ мм т.е. увеличении ϵ_o с 5 до 22% локальные значения τ_{np} частиц в ЗОТ соответственно были $17,5 \cdot 10^{-3}$ с и $7,5 \cdot 10^{-3}$ с.

Полученные результаты экспериментов показали, что при $U_o = \text{const}$

с ростом r^* τ_{max} увеличивается (рис.2). Выявлено, что τ_{max} частиц Al , имеющих форму пластин, больше, чем равновеликих сферических частиц (рис.3). Это объясняется тем, что коэффициент сопротивления C_r зависит не только от числа Рейнольдса, но и от параметра формы ψ , кото-

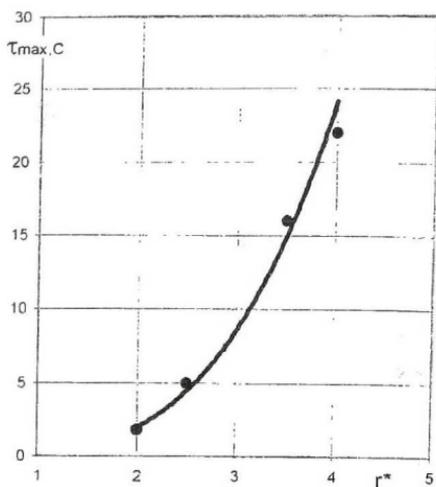


Рис. 2. Зависимость максимального времени пребывания частиц Al в ЗОТ τ_{max} от степени внезапного расширения r^*

рый принято называть коэффициентом сферичности [6]. Увеличение U_0 приводит к уменьшению τ_{max} при равных прочих условиях. Влияние начальной скорости U_0 и турбулентности ε_0 основного потока на τ_{max} частиц Al в ЗОТ показано на рис.4. На основе аппроксимации экспериментальных данных получена эмпирическая формула для расчета τ_{max} частиц Al в ЗОТ:

$$\tau_{max} = \frac{20,2(d_{cp} + 12,3) \cdot (r^* - 1)^{2,27} (1 - 0,67\varepsilon_0 + 0,136\varepsilon_0^2)}{u_0^{(0,05\varepsilon_0^2 - 0,25\varepsilon_0 - 1,17)}}$$

где d_{cp} - размер частицы Al , определяемый световым сечением ячейки сита; r^* - степень внезапного расширения; ε_0 - интенсивность турбулентности воздуха на входе в КСВР, в %; U_0 - скорость воздуха на входе в КСВР.

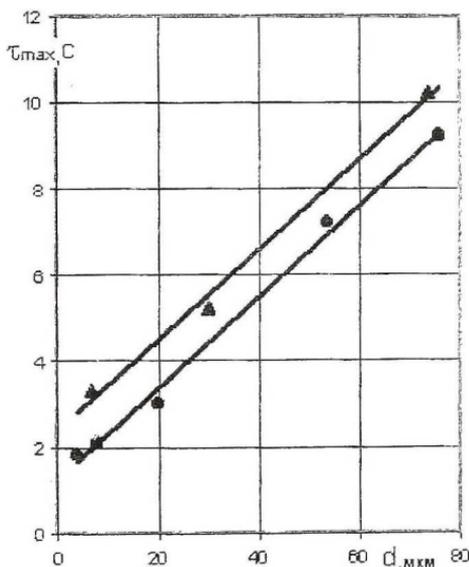


Рис. 3. Зависимость τ_{max} от размера и формы частиц Al :
1 - плоские частицы;
2 - сферические частицы

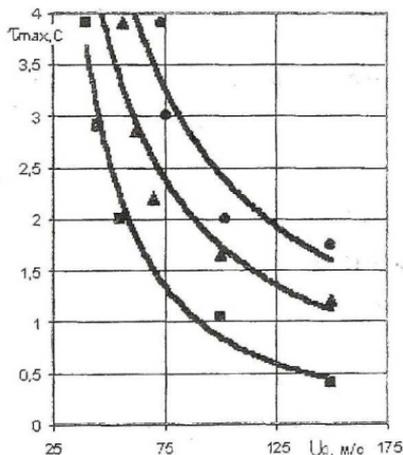


Рис. 4. Влияние U_0 и ε_0 воздушного потока на τ_{max} :
1 - без ПД;
2 - с ПД на $\ell_{пд} = 57$ мм;
3 - с ПД на $\ell_{пд} = 20$ мм;
точки - эксперимент,
линии - расчет

При анализе и сравнении результатов настоящей работы с экспериментальными данными других авторов было выявлено совпадение характера влияния скорости и турбулентности основного потока на τ_{max} частиц Al и τ_{cp} частиц дыма в ЗОТ при внезапном расширении канала [7].

Таким образом, на основании полученных результатов исследования можно сделать следующие выводы.

1. Гетерогенное топливо (аэрозоль $A\ell$) в ЗОТ неоднородно как по фазе, так и по концентрации, а локальные времена пребывания τ_{np} частиц $A\ell$ по длине ЗОТ не одинаковы.
2. τ_{max} частиц $A\ell$ в ЗОТ увеличивается с ростом степени внезапного расширения r^* и размера частиц, уменьшается с увеличением скорости U_0 и турбулентности ε_0 основного потока и зависит от формы частиц.
3. На основании экспериментальных данных получена эмпирическая формула для расчета τ_{max} частиц $A\ell$ в ЗОТ КСВР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскин В.И., Груздев В.Н. Стабилизация пламени на режиме обеднения при подаче жидкого топлива под стабилизатор// Горение в потоке: Межвуз.сб. -Казань, 1976. –С. 18-21.
2. Бовина Т.А. Исследование обмена между зоной рециркуляции за стабилизатором и внешним потоком и некоторые вопросы стабилизации пламени// Горение при пониженных давлениях и некоторые вопросы стабилизации пламени. –М.: Изд-во АН СССР, 1961. С.58-70.
3. Похил П.Ф., Беляев А.Ф., Фролов Ю.В., Логачев В.С., Коротков А.И. Горение порошкообразных металлов в активных средах. -М.: Наука, 1972. 294 с.
4. Егоров А.Г. Стабилизация пламени псевдожидкого топлива в камере сгорания с внезапным расширением.: Дис. канд. техн. наук. – Казань. 1993. – 150с.
5. Губарев Ю.Г., Луговцев Б.А. О спонтанной закрутке в осесимметричных течениях// Математические проблемы механики сплошной среды. Тезисы докладов Международной конференции.-Новосибирск: СО РАН ин-т гидродинамики им. М.А. Лаврентьева, 1995, - С.69.
6. Белоусов В.В. Теоретические основы процессов газоочистки. -М.: Металлургия, 1988. 256 с.
7. Малая Э.М. Аэродинамика, процессы горения и теплообмена в ограниченных струйных течениях. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1987. 160 с.