

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
с элементами научной школы для молодых ученых



XXXIV

СИБИРСКИЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ СЕМИНАР,

посвященный 85-летию
академика А.К. Реброва

27 – 30 августа 2018 г.
Новосибирск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Новосибирск 2018

УДК 536.46

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧАГОВОГО ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ АЭРОВЗВЕСИ ПОРОШКА АЛЮМИНИЯ

Моисеева К.М., Крайнов А.Ю.

Томский государственный университет,
634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36

В настоящей работе выполнено численное исследование задачи очагового зажигания и распространения пламени в аэровзвеси порошка алюминия. Целью работы являлось определение видимой скорости распространения пламени в аэровзвеси порошка алюминия в зависимости от размера и массовой концентрации частиц алюминия.

Математическая постановка задачи формулируется на основе работ [1–2]. Предполагается, что в воздухе равномерно распределена монодисперсная взвесь порошка алюминия с массовой концентрацией частиц ρ_{kb} , размером частиц $r_{Al,0}$. В центре облака частиц расположен очаг зажигания радиуса r_0 . Правая граница области полагается бесконечно удаленной от источника зажигания. Коэффициенты диффузии и теплопроводности газа зависят от температуры [1]. Горение частиц алюминия описывается на основе экспериментальных данных [3], воспламенение частицы алюминия происходит при достижении ею температуры зажигания T_{kz} . Скорость гетерогенной химической реакции на частицах описывается с учетом массоотдачи [4]. Учитывается тепловое и динамическое взаимодействие между частицами и газом. Полагается, что при горении частицы алюминия радиус алюминия в частице r_{Al} уменьшается, радиус самой частицы r_k растет за счет нарастания оксидного слоя. До начала химических реакций в частице $r_k = r_{Al,0}$. Математическая постановка задачи для заданных допущений определяется системой уравнений, записанной в цилиндрической системе координат, и состоящей из уравнений неразрывности для газа, сохранения импульса и энергии для газа и частиц, баланса массы кислорода и частиц в смеси, уравнений счетной концентрации частиц и состояния газа.

В уравнениях, определяющих математическую постановку задачи правые части, отвечающие за химическое взаимодействие газа и частиц, определяются через радиус алюминия в частице. Слагаемые, определяющие инерционное и тепловое взаимодействие определяются через радиус самой частицы, состоящей из алюминия и оксидного слоя. Радиус частицы и радиуса алюминия, оставшегося в частице после выгорания, определялись согласно [2].

Задача решалась численно с использованием метода С. К. Годунова [5]. Слагаемые в правых частях уравнений, описывающие процессы переноса за счет теплопроводности и диффузии, аппроксимировались явно на трехточечном шаблоне. Решение уравнений для частиц проводилось с использованием алгоритма распада произвольного разрыва в среде, лишенной собственного давления [6]. Шаг по пространству в области источника зажигания (до координаты $r = 5 \cdot 10^{-3}$ м) задавался постоянным, $\Delta h_{const} = 2 \cdot 10^{-5}$ м. После координаты $r = 5 \cdot 10^{-3}$ м шаг по пространству

увеличивался в направлении правой границы по правилу $\Delta h_{i+1} = 1.005 \cdot \Delta h_i$. Шаг по времени определялся из условия устойчивости Куранта.

Из расчетов определялась видимая скорость распространения пламени в аэровзвеси порошка алюминия в зависимости от размера массовой концентрации частиц алюминия. На рис. 1 представлена зависимость видимой скорости горения аэровзвеси порошка алюминия от начальной массовой концентрации частиц алюминия для частиц размером $0.5 \cdot 10^{-6}$ и $3.25 \cdot 0.5 \cdot 10^{-6}$ м.

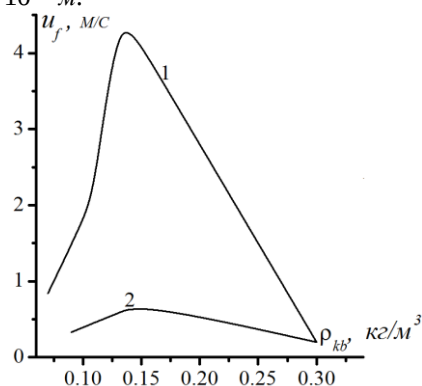


Рис. 1. Зависимость видимой скорости горения аэровзвеси порошка алюминия в воздухе от начальной массовой концентрации частиц алюминия. $r_{Al,0} = 0.5 \cdot 10^{-6}$ (кривая 1), $3.25 \cdot 10^{-6}$ (кривая 2) м

Из рис. 1 следует, что чем меньше радиус частиц, тем сильнее видимая скорость горения аэровзвеси частиц зависит от начальной массовой концентрации порошка алюминия. Полученные результаты качественно соответствуют экспериментальным данным, описанным в научной литературе.

Список литературы:

1. Krainov A.Yu., Moiseeva K.M. Influence of mixture content on the minimum sparkplug ignition energy of a coal dust suspension in the air// Journal of Physics: Conference Series, 2017, V. 899, № 4, 042005.
1. Порязов В.А., Крайнов А.Ю., Крайнов Д.А. Математическое моделирование горения пороха Н с добавлением порошка алюминия// Инженерно-физический журнал, 2015, Т. 88, № 1, С. 93-101.
2. Беляев А. Ф., Фролов Ю. В., Коротков А. И. О горении и воспламенении частиц мелкодисперсного алюминия// Физика горения и взрыва, 1968. Т. 4, № 3, С. 323–329.
3. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука, 1987.
4. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я., Крайко А.Н., Прокопов Г.П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. – М.: Наука, 1976.
5. Крайко А.Н. О поверхностях разрыва в среде, лишенной 'собственного' давления// Прикладная математика и механика, 1979, Т. 43, № 3, С. 500-510.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20011).