

РОЛЬ СТЕФАНОВСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ЗАЖИГАНИЯ, ГОРЕНИЯ И САМОПРОИЗВОЛЬНОГО ПОГАСАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ В ВОЗДУХЕ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Калинчак В.В., Черненко А.С., Семенов К.И., Копыт Н.Н.,
Шанюк С.А., Михалев В.В.

Украина, Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

При рассмотрении поведения движущихся раскаленных металлических частиц в холодных газовых смесях, представляющие собой пожарную опасность, малоизученными остаются вопросы о механизме одновременного возникновения плотного и пористого окислов, роли теплотерь на излучение, стефановского течения и диффузионного сопротивления в процессах зажигания, горения и самопроизвольного погасания таких частиц.

В работе на примере частицы железа принята схема образования плотного окисла FeO и его последующего доокисления до пористого окисла Fe_3O_4 . В результате окисления металла при образовании конденсированных окислов вблизи поверхности частицы возникает стефановское течение, которое направлено к поверхности частицы. Стефановский поток увеличивает массоперенос кислорода к поверхности частицы и, следовательно, увеличивает скорости образования плотного и пористого окислов. Впервые для этого случая получено выражение для массовой скорости стефановского течения у поверхности частицы.

Целью работы стало анализ временных зависимостей температуры частицы, толщин окислов и диффузионно-кинетического отношения Se и получение в аналитическом виде условий зажигания и самопроизвольного погасания металлических частиц.

Для зажигания частицы данного диаметра в начальный момент времени необходимо превышения химического тепловыделения над общими теплотерями, что возможно только при превышении начальной температуры частицы определенного критического значения (температуры зажигания $T_{b,cr}$). Очевидно, что за условие вынужденного зажигания металлической частицы нужно принимать условие равенства временной производной по температуре нулю

$$\left. \partial T / \partial t \right|_{t=0} = 0 \quad \text{и} \quad q_{ch} \big|_{T_b=T_{b,cr}} = q_h \big|_{T_b=T_{b,cr}} . \quad (1)$$

Анализ (1) позволил оценить критические условия (диаметр и температура частицы, толщины окислов, температура газа,

концентрация кислорода), при изменении которых в **начальный момент времени** возможен рост температуры частицы со временем. То есть наблюдается ее зажигание. Именно учет теплотерь на излучение приводит к формированию верхнего предела области зажигания по диаметру, на величину которого дополнительно оказывают учет стефановского течения и массопереноса окислителя ($Se > 1$).

Начальная температура частицы определяет не только условие зажигания частицы данного размера, но (при условии $T_b > T_{b,cr}$) и влияет на время «жизни» фрикционной частицы и максимальную температуру горения.

На первой стадии (высокотемпературной) толщины оксидных слоев практически линейно растут со временем. Средняя скорость нарастания окислов для характерных размеров фрикционных искр существенна и имеет порядок 10-100 мкм/с. С нарастанием оксидной пленки растет диффузионное сопротивление движению ионов через оксидный слой. Температура частицы достигает максимального значения (т. **М**) и начинает уменьшаться, что характеризует начало погасания. Математически условие начало самопроизвольного погасания определяется как и (1). Длительность высокотемпературной стадии (время горения) определяется окончанием самопроизвольного погасания частицы и достижением точки **е**, которая характеризует минимум на зависимости временной производной температуры от времени.

Скорость роста окислов после точки **е** резко уменьшается на несколько порядков, что является признаком наступления самопроизвольного погасания. Окисление металла продолжает протекать в кинетической области ($Se \ll 1$) и толщины окислов практически изотермически медленно растут.

Проанализирована роль стефановского течения, теплотерь излучения на максимальные температуры и времена горения металлической частицы, толщины окислов после самопроизвольного погасания. Соответствующие расчетные значения рассматриваемых характеристик согласуются с имеющимися экспериментально наблюдаемыми значениями.