

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ЗАЖИГАНИЕ КРУПНЫХ И МЕЛКИХ ЧАСТИЦ МАГНИЯ

Калинчак В.В., Черненко А.С., Ефимов В.С.

Украина, Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

При теоретическом обосновании экспериментальных данных по воспламенению и зажиганию крупных и мелких частиц магния обычно не учитывается при переходе в результате плавления изменение кинетики химической реакции окисления, высокотемпературного теплообмена, стефановского течения и теплообмена излучением.

Касселем и Либманом [1] установлено, что температура воспламенения с ростом диаметра частицы (15-55 мкм) уменьшалась (рис. 1а) и была выше $T_{\text{плав}}$ (принадлежит интервалу 920-1070 К). Без учета теплообмена излучением, но с учетом испарения металла для описания критических условий воспламенения мелких частиц магния нами была получена следующая приближенная зависимость (при $Se \ll 1$):

$$d_i = \frac{\lambda_g Nu \cdot RT_g^2 / E}{Qk_0 \exp(-E / RT_g) \rho_g C_a} \cdot \frac{(1 + B \exp(L / E))}{e}, \quad (1)$$

$$B = \frac{LD_m p_0 E}{R^2 T_g^3 \lambda_g} \exp\left(\frac{L}{R} \left(\frac{1}{T_{\text{эв}} - T_g} - \frac{1}{T_g}\right)\right).$$

Для более крупных частиц размером от 0.6 до 1.6 мм температура воспламенения убывает в интервале 895 – 925К [2] и была ниже температуры плавления $T_{\text{плав}}$ (рис.1б). Аналогичные качественные результаты Валовым и соавторами [3] получены для частиц с размером от 50 до 300 мкм. Энергия активации 44 кДж/моль, рассчитанная в [3], не соответствует энергиям активации тепловых химических реакций. Аналогично можно сказать и об энергии активации 584 кДж/моль [3].

Для крупных частиц при описании критических условий воспламенения (при $Se \ll 1$) нами получена формула (2), которая не учитывает испарение металла, но учитывает теплопотери на излучение:

$$d_i = \frac{\lambda_g Nu \cdot RT_i^2 / E}{Qk_0 \exp(-E / RT_i) \rho_g C_a - 4\epsilon\sigma T_g^3 RT_i^2 / E}, \quad (2)$$

$$T_i = \frac{E}{2R} \left(1 - \sqrt{1 - 4RT_g / E}\right).$$

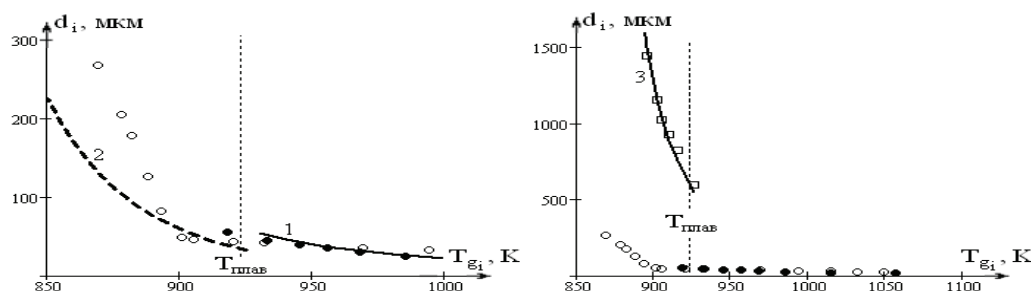


Рис.1. Зависимость температуры воспламенения а) мелких и б) крупных частиц магния от их размера. Экспериментальные данные: ● – [1], ○ – [2], □ – [3].

- 1 – расчет по (1) $k_0 = 0.86 \cdot 10^9$ м/с, $E = 189.5$ кДж/моль.
- 2 – расчет по (2) $k_0 = 0.86 \cdot 10^9$ м/с, $E = 189.5$ кДж/моль,
- 3 – расчет по (2) $k_0 = 0.065 \cdot 10^9$ м/с, $E = 189.5$ кДж/моль.

Теоретически определение критических условий самовоспламенения происходит путем поиска экстремумов на стационарной зависимости диаметра от температуры частицы. Учет стефановского течения, позволяет уточнить значение предэкспоненциального множителя. К значительным ошибкам приводит не учет испарения металла и теплопотерь излучением.

Переход от твердой частицы к жидкой приводит к увеличению предэкспоненциального множителя на порядок, что объясняется в первую очередь увеличением числа активных центров в виде оксида MgO.

В воздухе комнатной температуры частицу магния можно зажечь путем увеличения ее начальной температуры выше температуры зажигания. Для крупных частиц (выше 2 мм) температура зажигания меньше температуры плавления магния (причем $Se < 1$), что говорит о зажигании частицы на поверхности твердой фазы.

При зажигании мелких частиц (вблизи предельных диаметров частицы области зажигания) диффузионно-кинетическое отношение $Se \approx 1$, что объясняет необходимость учета стефановского течения.

Литература

1. Casell Н. М. The cooperative mechanism in the ignition of dust dispersions / Н. М. Casell, I. Liebman // Combustion and Flame. 1959. V. 3, № 3. P. 467-475.
2. Валов Л. Е., Гусаченко Е. И., Шевцов В. И. Влияние давления окислительной среды и концентрации кислорода на воспламенение одиночных частиц магния // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27, № 4. С. 3-7.
3. Ежовский Г. К. Воспламенение и горение частиц магния / Г. К. Ежовский, А. С. Молчанова, Е. С. Озеров // «Горение и взрыв»: Материалы Третьего всесоюзного симпозиума по горению и взрыву. М., изд-во “Наука”. 1972. С. 234–240.