

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ КОНДЕНСАЦИИ В АБЛЯЦИОННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ФАКЕЛАХ МЕТАЛЛОВ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

К.В. Козадаев

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: kozadaeff@mail.ru

В работе [1] продемонстрирована возможность адаптации модели Анисимова-Лукьянчука для описания общих процессов каплеобразования в абляционных лазерных факелах металлов при атмосферном давлении. Несмотря на кардинальные расхождения в протекании финальной стадии процесса конденсации для рассмотренных практических случаев, модель Анисимова-Лукьянчука при условии соответствующей доработки дает в целом хорошее согласие с экспериментальными данными, даже в отсутствии подгоночных параметров. Целью настоящей работы является исследование возможности описания кинетики конденсации лазерных абляционных факелов в условиях нормальной атмосферы при использовании основных положений модели Анисимова-Лукьянчука.

Согласно модели Анисимова-Лукьянчука [2] кинетика конденсации факела определяется поведением функций: $x(t) = g(t)v(t)$ на интервале времени от момента «впрыскивания зародышей» до момента их «закалки», где $x(t)$ – степень конденсации пара в факеле, $g(t)$ – размер кластера-капли в атомах, а $v(t)$ – количественная доля зародышей, соотнесенная с общим числом атомов пара. Соответственно для скорости конденсации имеем:

$$\frac{dx(t)}{dt} = g(t) \frac{dv(t)}{dt} + v(t) \frac{dg(t)}{dt}, x|_{t=t_e} = 0, \quad (1)$$

Скорость образования «жизнеспособных» зародышей (нуклеации) и скорость роста кластера могут быть оценены на основании решения дифференциальных уравнений [2]:

$$\frac{dv(t)}{dt} = k_{0v}(1 - x(t))\rho(t) \exp\left[-\frac{T_v}{T(t)\theta(t)^2}\right], v|_{t=t_c} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{dg(t)}{dt} = k_g g(t)^{2/3} \sqrt{T(t)} (1 - x(t)) \rho(t) \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{q}{T(t)} (\theta(t) - \alpha g(t)^{-1/3})\right] \right\}, \quad (3)$$

где $\rho(t)$, $T(t)$, $\theta(t)$ – временные зависимости плотности, температуры и степени переохлаждения факела соответственно, а k_{0v} , k_g , T_v , α – расчетные параметры.

Численное решение дифференциальных уравнений (2) в (3) применительно к ЭЛФ металла для центра факела позволяет получить типичные временные зависимости для $v(t)$ и $g(t)$, приведенные на рисунке

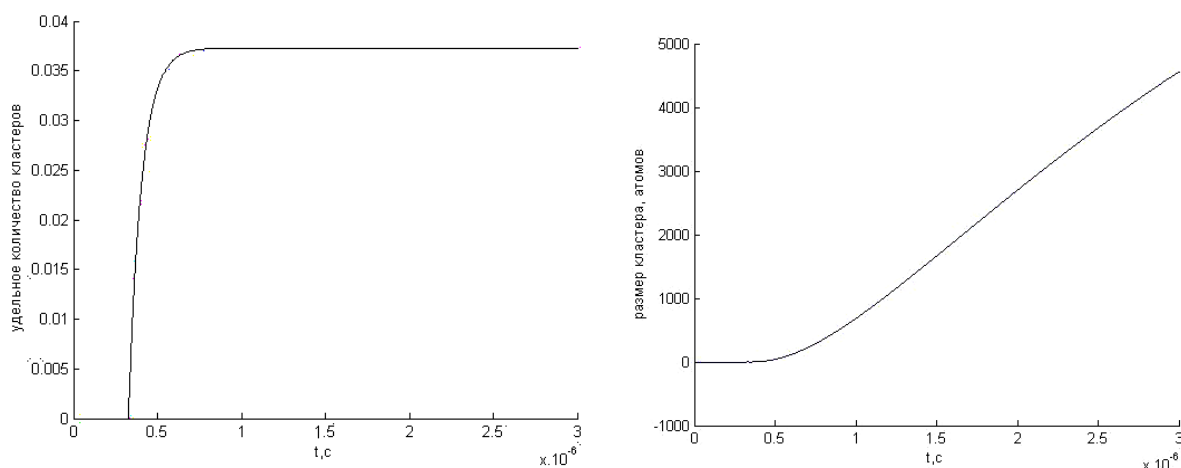


Рис. – Зависимости моделируемых величин для центра факела: (а) $v(t)$; (б) $g(t)$

В [3] рассмотрен пример аналогичного численного моделирования для расширения абляционных факелов Si, Ge и C в вакуум. Согласно этим данным после «впрыскивания зародышей» их количество (функция $v(t)$) практически не изменяется, при этом происходит рост их размеров в 2–3 раза за счет положительного баланса налипания-испарения атомов на поверхность зародышей, соответственно в сопоставимое раз возрастает значение $x(t)$. В результате «закалки» эти процессы приводят к формированию 10^{13} – 10^{14} кластеров со средними размерами 2–4 нм в зависимости от типа материала.

Полученные значения характерных размеров сконденсировавшихся кластеров, а также динамики их роста находятся в хорошем соответствии с данными моделирования [3], а также экспериментальными данными [4].

1. Козадаев К.В. // КЭ. 2016. № 1. С. 16–22.
2. Анисимов С.И., Лукьянчук Б.С. // УФН. 2002. № 3. С. 301–333.
3. Luk'yanchuk B.S. et al. // Proc. SPIE. 1999. № 3618. P.434–452.
4. Marine W., Luk'yanchuk B., Sentis M. // Le Vide Sci. Tech., Appl. 1998. № 288. P.440–458.