

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОДИНОЧНЫХ
 НАНОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ С УЧЕТОМ ЖИДКОЙ ФАЗЫ**

Проведено моделирование теплового воздействия наносекундного лазерного излучения на алюминий с учетом жидкой фазы. Построенная модель позволяет предсказывать форму кратеров, получающихся в результате воздействия одиночных импульсов. Показана динамика образования кратера и наплыва на поверхности при воздействии наносекундного лазерного излучения. Построен график зависимости высоты наплыва на поверхности алюминия в зависимости от энергии в импульсе.

N.V. GRECHIKHIN, A.S. SHCHEKIN, V.N. PETROVSKIY
 National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

**COMPUTATIONAL MODELLING OF THERMAL EFFECT OF SINGLE NANOSECOND LASER
 PULSES TAKING INTO ACCOUNT THE LIQUID PHASE**

The thermal effect of nanosecond laser radiation on aluminum is simulated taking into account the liquid phase. The constructed model allows predicting the shape of craters resulting from the action of single pulses. The dynamics of crater formation and buildup on the surface under the action of nanosecond laser radiation is shown. A graph of the buildup height on the aluminum surface as a function of pulse energy is constructed.

В лазерных технологиях моделирование позволяет предсказывать температурные поля в материале, геометрию обрабатываемой поверхности, а также получать параметры излучения для получения определенных топологических параметров обрабатываемых образцов. Особое значение имеет моделирование воздействия наносекундного лазерного излучения, поскольку лазеры данного типа широко используются для микрообработки [1]. Особенностью наносекундного воздействия на металлы является образование наплыва на поверхности из-за выплеска жидкой фазы. Для моделирования лазерного воздействия с образованием наплыва необходимо учитывать в модели жидкую фазу, что в свою очередь требует учета многих термических процессов и построение мультифизических моделей.

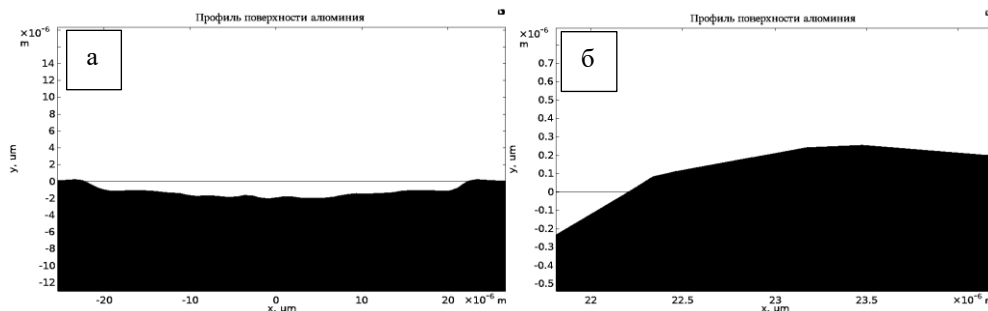


Рис. 1 - Профиль поверхности алюминия в момент времени $t = 50$ нс: а) общий вид кратера, б) приближенный вид границы кратера с образованием наплыва

Для учета испарения, а также необходимости отслеживать границу жидкость/тело – окружающая среда в работе был использован метод линий уровня (level-set), который заключается в использовании функции $\phi(x, y, t)$, которая определена во всей модели, и которая принимает нулевое значение в алюминии и единичное в воздухе. Значение $\phi(x, y, t) = 0,5$ отвечает границе раздела алюминий – воздух. Основное уравнение, которому подчиняется $\phi(x, y, t)$ в простейшем случае выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \rightarrow \nabla \phi + \gamma \cdot \nabla [\phi(1 - \phi)] - \epsilon \nabla \phi = 0, \quad (1)$$

где ϵ и γ – два параметра, отвечающих за размер области, в которой значение функции ϕ плавно изменяется от нуля до единицы и характерную скорость ламинарного потока соответственно.

Поверхность алюминия после воздействия импульса длительность 50 нс изображена на рисунке 1. Во время действия лазерного импульса происходит постепенное плавление, испарение (образование кратера) и выталкивание давлением отдачи жидкой фазы, что ведет к образованию наплыва. Также была определена зависимость высоты наплыва на поверхности алюминия от плотности мощности лазерного излучения. При увеличении плотности мощности высота наплыва увеличивается, что согласуется с тем, что при увеличении плотности мощности лазерного излучения давление паров отдачи, действующих на расплавленный материал возрастает.

Список литературы

1. Sugioka K., Michael M., Pique A. Laser Precision Microfabrication // Book. 2010. 311–335 p.