ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.
Томск, Россия

Томск – 2021
Издательство ТГУ

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-381

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ КОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Чепак-Гизбрехт М.В., Князева А.Г.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

В зависимости от длительности воздействия лазерного излучения (ЛИ) на материал наблюдаются: нагрев, плавление, абляция, деформация, химические превращения. При кратковременных воздействиях следует иметь в виду волновой характер переноса тепла и массы. Роль перекрестных эффектов вследствие высоких градиентов температуры и концентрации изменяется на разных стадиях воздействия.

Моделированию процессов тепло- и массопереноса в таких условиях посвящено множество работ [1,2]. В литературе встречаются гиперболические модели тепло-и массопереноса, двухтемпературные модели теплопереноса для условий воздействии фемтосекундных лазерных импульсов, модели, построенные в рамках обобщенной теории термоупругости. Имеются и иные подходы к моделированию взаимодействия лазерного излучения с веществом, использующие методы молекулярной динамики, чисто теплофизические и гидродинамические модели. Ряд моделей учитывает, в каких условиях могут быть инициированы фотохимические и твердотельные реакции, когда важны десорбция с поверхности газов, возникновение эффекта Зеебека. Тем не менее, ряд нелинейных эффектов остаются неизученными и не представленными этих моделях.

В настоящей работе предложена нелинейная модель инициирования химической реакции в тонкой пленке лазерным излучением с учетом перекрестных эффектов – эффектов Соре и Дюфора. В общем случае модель включает гиперболические уравнения переноса тепла и массы и уравнение химической кинетики. Предполагается, что тонкая пленка характеризуется заданными оптическими и теплофизическими свойствами. Возможные химические превращения описываются суммарной реакционной схемой. Скорость реакции зависит от концентрации реагентов и от температуры. Модель представлена в безразмерных переменных для уменьшения числа параметров и получения наиболее общих результатов. В зависимости от соотношения масштабов в модели удается выделить частные варианты, которые представляют самостоятельный интерес.

Например, при достаточно малых временах явлениями переноса вообще можно пренебречь. В этом случае задача сводится в системе обыкновенных дифференциальных уравнений. Реакция активируется только в области воздействия. В некоторых предельных вариантах имеются точные аналитические решения. Выявлены наиболее важные параметры, влияющие на величину зоны прогрева. Это время релаксации потока тепла, показатель поглощения и коэффициент отражения, а также параметр, характеризующий отношение тепла, поступившего от внешнего воздействия, и тепловыделения вследствие химической реакции. В этлом случае размер зоны прогрева зависит исключительно от характера распределения поглощенной энергии в радиусе пучка. Выявлено, что вид кинетической функции существенно влияет на динамику накопления продукта.

Другой предельный вариант задачи это однородный нагрев поверхности. В этом случае задача становится одномерной. Для малых времен важен гиперболический характер явлений теплопроводности и диффузии. При длительных временах вторыми производными по времени в уравнениях можно пренебречь, однако перекрестные эффекты остаются.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Госкорпорации «Росатом» в рамках научного проекта № 20-21-00064.

1. Жмакин А.И. Теплопроводность за пределами закона Фурье // Журнал технической физики. 2021. Т. 91, Вып. 1. С. 5-25.
2. Соболев С. Л. Локально-неравновесные модели процессов переноса // Успехи физических наук. 1997. Т. 167, № 10. С. 1095–1106.