

Численное моделирование фазовых переходов и термоупругих волн в металлах под действием импульсных ионных пучков¹

И.В. Амирханов, Е.В. Земляная, И.В. Пузынин,
Т.П. Пузынина, Н.Р. Саркар, И. Сархадов
Лаборатория информационных технологий, ОИЯИ

В настоящее время активно изучаются возможности использования концентрированных потоков энергии (пучки ионов и электронов, лазерное излучение) для создания материалов, обладающих заданными физико-химическими свойствами. Воздействие мощных пучков заряженных частиц приводит к сверхбыстрому нагреванию поверхностных слоев мишени, плавлению и испарению материала с поверхности. Процесс термического расширения материала может привести к возникновению ударных волн напряжения. Тепловые процессы в поверхностных слоях облучаемых материалов, а также возникающие при этом волны напряжения приводят к серьезным структурным и фазовым изменениям и, как следствие, к изменению свойств облучаемого образца.

Таким образом, перспектива технологического применения импульсных потоков ионов для модификации и формирования новых физико-химических свойств материалов делает актуальным теоретическое и численное моделирование взаимодействия таких пучков со средой. Подобные исследования проводятся на протяжении уже более двадцати лет [1].

Моделирование взаимодействия потока частиц с частицами мишени при относительно низких энергиях обычно осуществляется на основе молекулярно-динамического подхода [2]. При высокой мощности облучения более адекватными считаются уравнения механики сплошных сред.

В наших работах [3, 4] в рамках механики сплошных сред было проведено численное моделирование распространения термоупругих волн в образце металла под действием мощного потока заряженных частиц. В работах [5, 6] моделировалось влияние характеристик источника ионов на фазовые переходы в облучаемом образце (плавление и затвердевание).

В работе [7] представлен метод численного решения однофазной задачи Стефана (испарение металла) для образца, облучаемого сильноточным импульсным источником ионов. Проведен численный анализ точности вычислительной схемы. Проведено компьютерное моделирование влияния условий облучения на процессы испарения, происходящие в образце.

Численное исследование показало:

1. При небольших интенсивностях источника ($q_0 \leq 60$) испарение образца не имеет существенного влияния на профиль температуры и динамику ее изменения в глубине образца.
2. При больших значениях интенсивности источника ($q_0 \gg 60$) испарением образца пренебрегать нельзя, так как значительная часть энергии источника расходуется именно на это испарение.

¹Работа поддержана РФФИ, гранты № 03-01-00657, № 05-01-00645-а.

3. При увеличении интенсивности источника амплитуда профиля температуры стремится к конечному значению, т.е. достигает насыщения. Это качественно согласуется с результатами, полученными в рамках молекулярной динамики.

4. Дальнейший рост интенсивности источника приводит к увеличению испарения образца, а затем к насыщению роста толщины слоя испарения. Это связано с поглощением энергии пучка в области слоя испарения.

В работе [8] представлены результаты численного моделирования влияния вязкости на распространение термоупругих волн в металлическом образце, облучаемом сильноточным источником ионов углерода.

По результатам численного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что наличие вязкости приводит к затуханию волны, и в области расположения волны температура среды возмущается.

2. Форма и амплитуда волны при заданной интенсивности источника зависят от скорости включения источника $\frac{\partial q}{\partial t}$ и достигают насыщения при ее увеличении.

3. Учет зависимости коэффициента вязкости от температуры приводит к изменению средней скорости распространения термоупругой волны.

Список литературы

- [1] Г.А. Блейхер, В.П. Кривобоков, О.В. Пашенко. Теплоперенос в твердом теле под действием мощных пучков заряженных частиц. Новосибирск, Наука, 1999.
- [2] Х.Т. Холмуродов, М.В. Алтайский, И.В. Пузынин, ЭЧАЯ, 2, №6, (2003), с. 235.
- [3] I.V.Amirkhanov, E.V.Zemlyanaya, I.V.Puzynin, T.P.Puzynina, I.Sarhadov. JCMSE, Vol.2, №1s-2s, 2002, p. 213-224.
- [4] И.В.Амирханов, Е.В.Земляная, И.В.Пузынин, Т.П.Пузынина, И.Сархадов. Сообщение ОИЯИ Р11-2002-24, Дубна, 2002.
- [5] И.В.Амирханов, Е.В.Земляная, И.В.Пузынин, Т.П.Пузынина, И.Сархадов. Сообщение ОИЯИ Р11-2001-164, Дубна, 2001.
- [6] И.В.Амирханов, Е.В.Земляная, И.В.Пузынин, Т.П.Пузынина, И.Сархадов. Сообщение ОИЯИ Р11-2002-78, Дубна, 2002.
- [7] I.V.Amirkhanov, E.V.Zemlyanaya, I.V.Puzynin, T.P.Puzynina, I.Sarhadov. Crystallography Reports, Vol. 49, Suppl. 1. 2004, pp. S123-S128.
- [8] И.В.Амирханов, Е.В.Земляная, И.В.Пузынин, Т.П.Пузынина, И.Сархадов. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2004, №10, с. 92-99.