

**IX Всероссийская школа-конференция молодых ученых  
"КоМУ-2011"**

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ**

---

7-10 ноября 2011 года

Ижевск

#### **Сборник тезисов докладов:**

IX Всероссийская школа-конференция молодых ученых "КоМУ-2010" – Ижевск: ФТИ УрО РАН, ИжГТУ, 2011 – 125 с.

Сборник содержит тезисы устных докладов молодых ученых и аспирантов, представленных на IX Всероссийской школе-конференции молодых ученых "КоМУ-2010" (г. Ижевск, 7-10 ноября 2011 г.).

Опубликованные работы отражают результаты научных исследований по направлениям: нанотехнология; физика и химия поверхности материалов; электронная и атомная структура поверхностных слоев и наноразмерных систем; природа и свойства неравновесных метастабильных состояний; процессы разрушения и деформации материалов, магнитные явления; сканирующая зондовая микроскопия и т.д. Тезисы докладов посвящены теоретическим и экспериментальным исследованиям, конструкторским разработкам, разработкам методик изучения свойств материалов, а также методам физико-технических измерений.

Все работы публикуются в авторском издании. Редакторами была проведена только техническая корректура без изменения содержания и смысла тезисов докладов.

Ответственный редактор – к.т.н. А.В. Жихарев

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ СПЕКАНИИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Е. Анкудинов, Г.А. Гордеев

E-mail: vladimir@ankudinov.org

ФГБОУ ГПО Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

Расширение способа высокоскоростной лазерной обработки в область наплавки порошковых материалов на поверхность деталей (подложек) позволяет получить качественные изменения в структуре и свойствах слоев по сравнению с известными методами наплавки или спекания (рис.1). Основное отличие такой обработки заключается в осуществлении концентрированного локального воздействия на субмикро- и наночастицы порошка. Процесс формирования структуры в этих условиях носит сильнонеравновесный характер [1, 2].



а) Порошковый слой, припечённый лазером к толстой металлической подложке;  
б, в) Структура порошка Fe-Ni после обработки  
(ширина изображения 1мм и 200 мкм соответственно)

Рис.1.

В нашей работе металлический порошок (Fe – 5 вес.% Ni) сканируется импульсным лазером с высокой плотностью мощности. В связи с тем, что лазерный луч частично отражается, а частично рассеивается над поверхностью образца, в модели вводится коэффициент поглощения, зависящий от скорости испарения металла с поверхности и глубины воздействия [4].

Моделирование нестационарных тепловых полей выполнено с помощью модели двухфазной зоны [3], расширенной с учётом высоких скоростей нагрева материала и переноса тепла физически различными механизмами переноса. Для разработки наиболее общего метода расчета был выбран бинарный сплав Fe – 5 вес.% Ni, соответствующий экспериментальному составу порошка [1]. При решении использовался устойчивый алгоритм решения с двумя переменными: температуры  $T$  и удельной энтальпией  $H$ . Уравнение теплопроводности в системе с

фазовыми переходами, подвергнутой лазерному нагреву, может быть сведено к системе уравнений модели двухфазной зоны с двумя переменными:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial T}{\partial H} \frac{\partial H}{\partial t} \\ \frac{\partial H}{\partial t} = k \nabla^2 T + F, \end{cases}$$

где  $k$  – коэффициент теплопроводности,  $F$  – объёмный источник лазерного излучения. Обработка поверхности лазером была учтена в виде объёмного источника  $F$ . Это связано с высоким проникновением лазерного излучения в вещество, где поглощение излучения пористой средой описывается законом, аналогичным закону Бугера:

$$J = adsor_{\text{eff}} J_0(l) \exp(-\alpha z),$$

где  $J$  – плотность потока лазерного излучения на глубине  $z$ ,  $J_0$  – исходный поток лазерного излучения на поверхности образца,  $\alpha$  – коэффициент проникновения энергии в объеме,  $adsor_{\text{eff}}$  – эффективный коэффициент поглощения излучения.

В ходе работы проводились теоретические эксперименты по моделированию распространения тепловых полей в 2D и 3D геометрии с различной пористостью. Было проанализировано поведение системы при увеличении пористых газовых включений, выполнено сравнение аналитических моделей с численными [1]. Основной характеристикой, анализируемой в данных расчетах является  $h$ , максимальная глубина на которую будет оплавлен порошковый слой, так как именно от нее зависит эффективность метода спекания порошковых материалов. Результаты расчетов выявили, что коэффициент  $\alpha$  проникновения лазерного излучения существенно влияет на  $h$ . При изменении  $\alpha$  меняется так же и форма проплавленной зоны.

- [1] Е.В. Харанжевский, А.Г. Ипатов, И.Н. Климова, С.Н. Стрелков Лазерное спекание ультрадисперсных порошковых материалов на основе железа // ФММ. 2009. – Т.108, №5. С. 534-540.
- [2] М.Д. Кривилёв, Г.А. Гордеев, В.Е. Анкудинов, Е.В. Харанжевский Нестационарный теплоперенос при фазовых переходах в пористых материалах // Вестник Удмуртского университета. Физика и химия. – 2010. – Вып.1. – С.42-53.
- [3] В.Т. Борисов Теория двухфазной зоны металлического спитка – М.: Металлургия, 1992. – 224 с.
- [4] А.В. Лыков Теория теплопроводности. – М.: Изд-во "Высшая школа", 1967. – 600 с.