

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВОЙ
СРЕДЫ НА ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ В
ПРОЦЕССАХ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

П. В. Соболева

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А. Г. Князева
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: piovvere@rambler.ru

**NUMERICAL INVESTIGATION OF INFLUENCE OF OPTICAL PROPERTIES OF POWDER
MEDIUM ON THE CHARACTER OF DISTRIBUTION OF TEMPERATURE IN A TWO-
DIMENSIONAL MODEL IN THE PROCESSES OF LASER PROCESSING OF MATERIALS**

P. V. Soboleva

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A. G. Knyazeva
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: piovvere@rambler.ru

***Abstract.** Numerically investigated the influence of the optical properties of a powder medium on the character of the temperature distribution in a two-dimensional system in the processes of laser processing of materials. A computer program has been developed, on the basis of which results have been obtained that allows estimating the temperature distribution over the plate thickness. As a result, was plotted the dependence of the maximum temperature on the reflection coefficient as a function of the value of the absorption coefficient along the X and Y axes.*

Введение. Изучению оптических свойств порошков металлов посвящен некоторый ряд работ, например [1–3]. Лазерное воздействие на порошковые среды встречается во многих процессах, например, лазерное спекание, ионная обработка и в последнее время все чаще применяется в машиностроении для изготовления сложных деталей или медицине для изготовления протезов и имплантатов, и т.д. Экспериментальное определение оптимальных параметров обработки затруднительно в силу наличия большого числа управляющих параметров процесса. От этих параметров зависит будущий тип структуры, размер ее элементов и свойства получаемого материала [4]. В связи с этим актуальной является разработка математических моделей, позволяющих исследовать роль разных факторов.

Целью работы является численное исследование влияния оптических свойств порошковой среды на характер распределения температуры в процессе лазерной обработки материалов.

Материалы и методы исследования. Для решения поставленной задачи была сформулирована двумерная модель с движущимся источником тепла. Образец представляет собой пластину толщиной h_d с высокой теплопроводностью и с покрытием толщиной h_b . В результате математическая постановка задачи будет иметь вид:

$$c_A \rho_A \frac{\partial T_A}{\partial t} = \lambda_A \left(\frac{\partial^2 T_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_A}{\partial y^2} \right)$$

$$c_B \rho_B \frac{\partial T_B}{\partial t} = \lambda_B \left(\frac{\partial^2 T_B}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_B}{\partial y^2} \right) + (1 - f_B) q_0 \sigma_B \exp(-\sigma_B h_B) \exp \left[- \left(\frac{X - Vt}{a} \right)^2 \right]$$

Граничные и начальные условия можно записать следующим образом:

$$x = 0, x \rightarrow \infty, \frac{\partial T}{\partial x} = 0; t = 0, T = T_0$$

$$y = 0: \lambda_B \frac{\partial T_B}{\partial y} = \sigma \varepsilon (T^4 - T_B^4) = 0, .$$

$$y = h_A: \lambda_A \frac{\partial T_A}{\partial y} = \lambda_B \frac{\partial T_B}{\partial y} = (1 - f_B) q_0 \sigma_B \exp(-\sigma_B h_B) \exp \left[- \left(\frac{X - Vt}{a} \right)^2 \right],$$

$$y = h_A + h_B: T_A = T_B, \frac{\partial T_A}{\partial y} = 0.$$

Здесь ρ_A, ρ_B – плотность, c_A, c_B – удельная теплоемкость, λ_A, λ_B – коэффициент теплопроводности, σ_B – показатель поглощения, f_B – коэффициент отражения, a – эффективный радиус луча, X – пространственная координата, V – скорость луча вдоль поверхности, t – время, h_B – толщина порошка, h_A – толщина пластины, где σ – постоянная Стефана; ε – степень черноты.

В расчетах были выбраны в качестве материала подложки сталь3, а материала покрытия – порошок железа, которые характеризуются следующими свойствами:

$c_A=502$ Дж/(кг·К), $c_B=450$ Дж/(кг·К), $\lambda_A= 55$ Вт/(м·К), $\lambda_B=92$ Вт/(м·К), $\rho_A= 7800$ кг/м³, $\rho_B=7874$ кг/м³, $T_0=300$ К, $T_w=300$ К, $\sigma_B=20\dots200$, $f_B=0,3\dots0,9$, $a=0,01$ см, $V=0,2$ см/с, $h_A=0,001$ мм, $h_B=0,001$ мм, $\varepsilon_0=0,5$, $\sigma=5,67e-12$ Вт·м⁻²·К⁻⁴.

Результаты. Задача была решена численно. Использована неявная разностная схема и метод прогонки [5]. Составлена программа на языке Fortran. В ходе вычислений изменялись показатели поглощения σ_B и коэффициент отражения f_B , а также скорость движения луча.

Типичное распределение температуры в для разных f_b показано на рис.1,2:

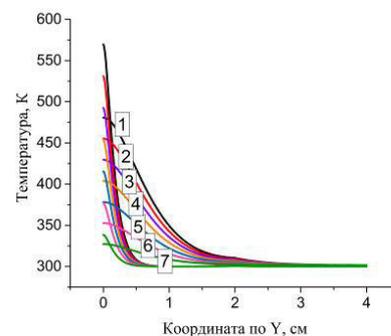
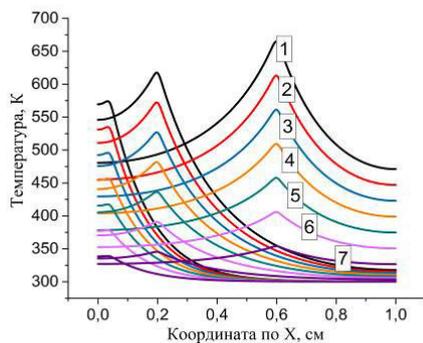


Рис. 1. Распределение температуры для разных значений показателя поглощения вдоль оси X при:

$\sigma_B=20$; 1 - $f_b=0,3$; $T=664$; 2 - $f_b=0,4$; $T=613$;
3 - $f_b=0,5$; $T=561$; 4 - $f_b=0,6$; $T=509$; 5 - $f_b=0,7$;

Рис. 2. Распределение температуры для разных значений показателя поглощения вдоль оси Y при:

$\sigma_B=20$; 1 - $f_b=0,3$; $T=569$; 2 - $f_b=0,4$; $T=530$;
3 - $f_b=0,5$; $T=493$; 4 - $f_b=0,6$; $T=454$; 5 - $f_b=0,7$;

$T=457; 6 - f_b=0,8; T=404; 7 - f_b=0,9; T=354.$

$T=415; 6 - f_b=0,8; T=377; 7 - f_b=0,9; T=338.$

Первая группа кривых на рис. 1 соответствует нестационарной стадии и моменту времени $t=0,2$ сек., другие группы кривых моментам времени $t=3,0$ и $t=10,0$ сек.

По результатам расчетов построены зависимости максимальной температуры от параметров модели. Зависимости максимальной температуры от коэффициента отражения при постоянных значениях показателя поглощения показаны на рис. 3 и рис. 4.

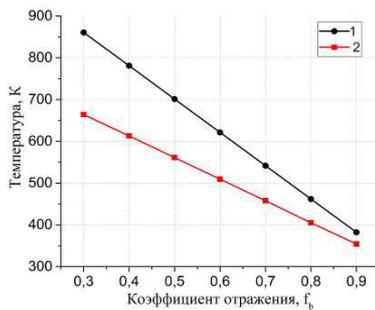


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры от коэффициента отражения f_b по оси X для разных значений показателя поглощения σ_b ; $\sigma_1=20$; $\sigma_2=200$.

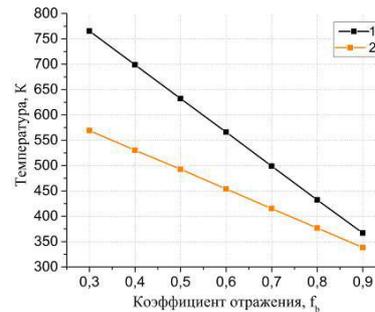


Рис. 4. Зависимость максимальной температуры от коэффициента отражения f_b по оси Y для разных значений показателя поглощения σ_b ; $\sigma_1=20$; $\sigma_2=200$.

Из графиков (Рис.3, Рис.4) видно, что при изменении f_b от 0,3 до 0,9 максимальная температура уменьшается. Также при изменении значения показателя поглощения σ_b от 20 до 200 температура в целом увеличивается при соответствующих значениях коэффициента отражения f_b .

Закключение. В работе представлена двухмерная модель лазерной обработки, в которой учитывается поглощение излучения в объеме по закону Ламберта-Бугера. Численно исследовано влияние оптических свойств порошковой среды на характер распределения температуры. В результате можно сделать вывод, что изменения показателей отражения и поглощения, которые зависят от вида порошка и способа его предварительной обработки, значительно влияют на распределение температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейнц Ю.Э., Землянов А.А., Панина Е.К. // Изв. вузов. Физика. 2010. Т. 53. № 4. С. 76–85.
2. Светличный В.А., Лапин И.Н. // Изв. вузов. Физика. 2013. Т. 56. № 5. С. 86–91.
3. Звекон А.А., Каленский А.В., Никитин А.П. и др. Моделирование распределения интенсивности в прозрачной среде с Френелевскими границами, содержащей наночастицы алюминия // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38. – № 4. – С. 749-756.
4. Харанжевский Е.В., Костенков С.Н. // Вестник Удмуртского университета. Сер. Физика. Химия. - 2012. - Вып. 3.-С. 33-43.
5. Knyazeva A.G. Introduction to difference methods of solution of thermal conductivity problems with examples. Part 1. – Tomsk: S-print Publishing House, 2015.