

УДК 621.375.8.

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Е.Л. Осетров

Научный руководитель – д.т.н., профессор С.П. Мурзин  
 Самарский государственный аэрокосмический университет  
 имени академика С.П. Королёва

При лазерной обработке наиболее значимыми факторами, влияющими на физико-механические свойства материалов, являются величина температуры и скорость ее изменения. Для расчета температуры при лазерной обработке материалов используют аналитические и численные методы. Целесообразно использовать метод контрольного объема, одним из важных свойств этого метода является точное интегральное сохранение величины энергии на всей расчетной области при любом минимальном числе узловых точек. Это позволяет значительно ускорить расчеты при экономии ресурсов памяти персонального компьютера. Нелинейное уравнение теплопроводности в частных производных при лазерной обработке в подвижной системе координат  $(x, y, z)$ , помещенной в центр энергетического источника, с начальными и граничными условиями второго и третьего рода, имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) - c_v(T) \left( \frac{\partial T}{\partial t} - v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = 0; \quad (1)$$

$$T(x, y, z, t = 0) = T_0(x, y, z); \quad (2)$$

$$\text{при } (x, y) \in \phi, z = 0: -k(T) \frac{\partial T}{\partial z} = A(T)q(x, y); \quad (3)$$

$$\text{при } (x, y) \notin \phi, z = 0: -k(T) \frac{\partial T}{\partial n_s} \Big|_{\delta S} = \alpha(T)(T - T_0), \quad (4)$$

где  $x, y, z$  – пространственные координаты;  $t$  – время;  $k(T)$ ,  $c_v(T)$ ,  $\alpha(T)$  – коэффициент теплопроводности, объемная теплоемкость и коэффициент полной поверхностной теплоотдачи;  $T_0$  – начальная температура исследуемого объекта;  $n_s$  – нормаль к поверхности исследуемого объекта, контактирующей с окружающей средой;  $\delta S$  – границы исследуемого объекта.

Для преобразования уравнения теплопроводности в частных производных (1) в систему линейных алгебраических уравнений относительно температуры в дискретных точках исследуемого объекта используются метод контрольного объема. Построена математическая модель формирования температурных полей в зоне обработки для движущегося полосового энергетического источника. Разработана схема бесконтактного контроля тепловых процессов, имеющих место на поверхности обрабатываемого материала. Лазерное излучение отражается фокусатором на изделие. Тепловое излучение контролируем инфракрасным термометром. Ответвленная часть лазерного излучения направляется в оптический блок тепловизора для определения распределения интенсивности излучения, при этом на экране наблюдаем форму температурного поля. Получены результаты расчета и экспериментальных исследований температурного поля, имеющего место на поверхности обрабатываемого материала при проведении терморазупрочнения деталей из титанового сплава ОТ4-1. Погрешность определения температуры разработанной системой контроля составляет не более 10...15%.