

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЕЩЕСТВА ОТ ВИДА ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ

У. В. Ключко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель П. С. Шаповалов

Решено уравнение у теплопроводности и получено распределение температуры при круговом гауссовом пучке и кольцевыми гауссовыми пучками. Найдены более оптимальные формы пучков при резке и наплавке вещества.

Ключевые слова: круговой лазерный пучок, нагрев лазером, распределение температуры при лазерном нагреве.

В промышленном производстве лазерные пучки находят применение для разных производственных операций [1]. Лазеры применяются в технологических процессах, которые более эффективны, чем классические методы, и когда невозможно использовать другие процессы. Использование лазера зачастую упрощает производственный процесс и дает большую производительность.

Для оптимального использования лазеров необходимо знать распределение температуры в веществе, в поперечном сечении лазерного пучка. Особенно это важно, если лазеры используются для резки материалов, для локального плавления и наплавки. При нагреве лазерным излучением вещества распределение температурного поля в материале зависит от формы используемого лазерного пучка. Знание температурного поля в веществе позволяет выбрать наиболее эффективные и оптимальные способы обработки материалов.

В качестве исходного уравнения для нахождения распределения температуры в веществе, при нагреве мощным лазерным световым пучком, используем неоднородное эллиптическое уравнение теплопроводности [2]. Так как применяемый лазерный пучок обладает круговой симметрией, то при расчете температуры запишем уравнение теплопроводности в полярной системе координат, которое в этом случае примет вид:

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = -\frac{1}{\lambda} I, \quad (1)$$

где T – искомая функция распределения температуры в веществе; λ – теплопроводность вещества; I – интенсивность лазерного светового пучка; r – радиус в полярной системе координаты.

Рассмотрим лазерный пучок с круговой симметрией, следовательно, и тепловой источник, получаемый при поглощении света веществом, обладает круговой симметрией. Зависимость интенсивности используемого лазерного пучка от поперечной координаты r запишем в виде круговой гауссовой функции:

$$I = (C_0 + C_1 \cdot r^2) \exp\left(-\frac{2r^2}{w^2}\right). \quad (2)$$

Здесь w – поперечный радиус пучка. Если $C_0 \neq 0, C_1 = 0$, мы имеем гауссово распределение поля, если $C_0 = 0, C_1 \neq 0$, то в этом случае кольцевое гауссово распределение температуры.

С учетом стоящей задачи граничные условия для решения уравнения (1) запишем в следующем виде:

$$T(r = b) = 0; \tag{3a}$$

$$\frac{dT(r = 0)}{dr} = 0. \tag{3б}$$

Из граничного условия (3а) следует, что нагреваемая энергия в виде тепла сконцентрирована в диапазоне $r \in [0, b]$. Второе граничное уравнение (3б) – следствие осевой симметрии используемых лазерных тепловых источников для нагрева вещества.

Тогда обыкновенное дифференциальное уравнение (1) запишется в следующем виде:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = -\frac{1}{\lambda} (C_0 + C_1 \cdot r) \exp\left(-\frac{2r^2}{w^2}\right). \tag{4}$$

После первого интегрирования дифференциального уравнения (1), при учете граничного условия (3б), получим следующее уравнение:

$$\frac{dT}{dr} = C_0 \frac{w^2}{4\lambda} r e^{-\frac{2r^2}{w^2}} + C_1 \frac{w^4}{8\lambda} r^3 e^{-\frac{2r^2}{w^2}}. \tag{5}$$

Интегрируя повторно с учетом граничного условия (3а), получим решение через специальные эллиптические функции:

$$T = -\frac{\lambda w^2}{8} \left(C_0 - C_1 \frac{w^2}{2} \right) \left[\left(Ei\left(\frac{2r^2}{w^2}\right) - Ei\left(\frac{2b^2}{w^2}\right) - 2 \ln\left(\frac{r}{b}\right) \right) \right]. \tag{6}$$

При численном расчете решений (5), (6) использовались как круговые, так и кольцевые гауссовы пучки (рис. 1).

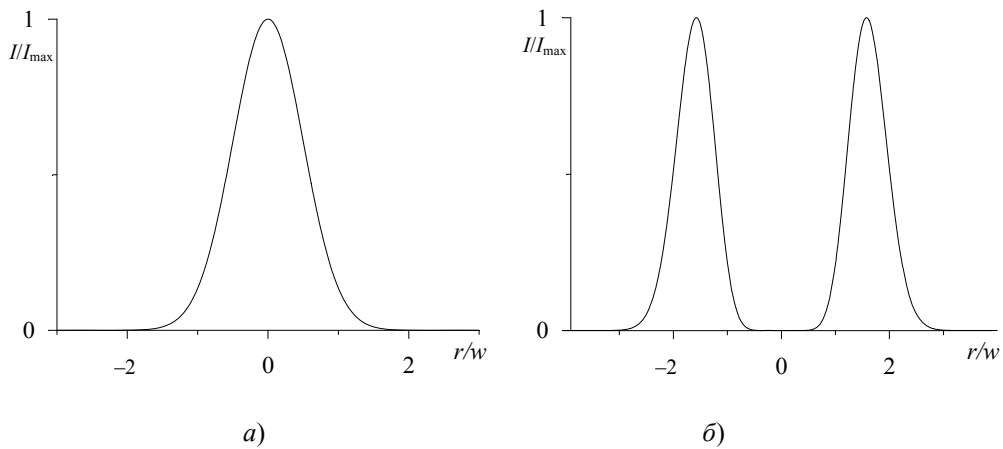


Рис. 1. Зависимость поперечного распределения интенсивности излучения при использовании кругового (а) $C_0 \neq 0, C_1 = 0$ и кольцевого гауссова пучка (б) $C_0 = 0, C_1 \neq 0$

Качественное распределение температурного поля при использовании круговых и кольцевых пучков на поверхности вещества имеет вид, представленный на рис. 2.

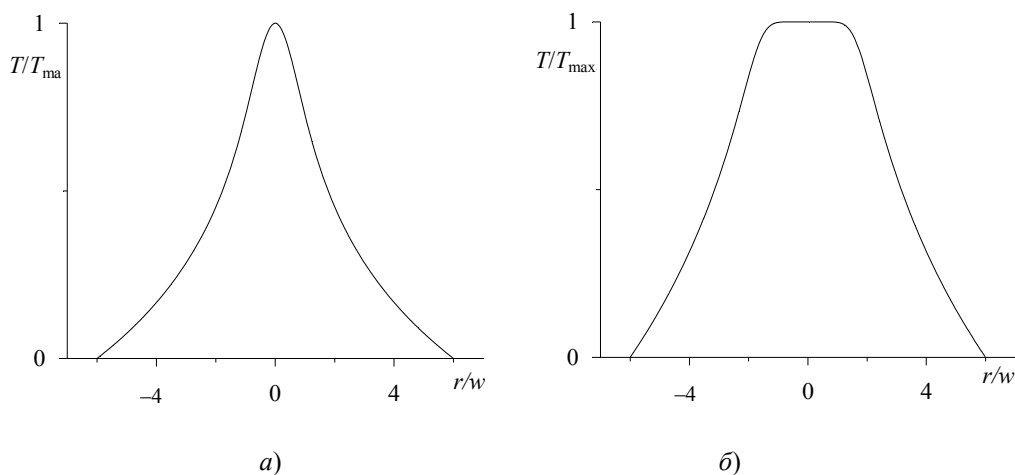


Рис. 2. Форма температурного поля на поверхности вещества при нагреве круговым гауссовым пучком (а) $C_0 \neq 0$, $C_1 = 0$, $b = 6r/w$, кольцевым гауссовым пучком (б) $C_0 = 0$, $C_1 \neq 0$, $b = 6r/w$ при одинаковой мощности пучков

Из полученных результатов следует, что использование кругового пучка приводит к более узкому отверстию в материале, а при использовании кольцевого гауссова пучка приводит к более равномерному и более широкому распределению температурного поля. Использование круговых гауссовых пучков предпочтительно для резки материалов и лазерным сверлении. Использование кольцевых гауссовых пучков предпочтительно для равномерного нагрева и плавления (наплавки) вещества.

Литература

1. Веденов, А. А. Физические процессы при лазерной обработке материалов / А. А. Веденов, Г. Г. Гладуш. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 211 с.
2. Мисуров, А. И. Технология лазерной наплавки / А. И. Мисуров, Б. М. Федоров. – М. : Изд-во МГТУ, 2004. – 288 с.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА)

А. А. Кашперов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ж. В. Кадолич

Поставлены и решены задачи по прогнозированию данных, позволяющих оценить потребность в транспедикулярных винтах (структурные элементы конструкции для транспедикулярной фиксации позвоночника) в масштабах Республики Беларусь на 2022–2023 гг. Полученные результаты позволяют обосновать экономическую целесообразность производства навигационных шаблонов – устройств, использование которых в медицинской практике повышает процент успеха операции на позвоночнике.