

ОПТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ПОТОКОВ¹

© 2006 С.П. Мурзин²

Применение дифракционных оптических элементов — фокусаторов излучения — в технологии лазерной обработки материалов открывает принципиально новые возможности управления свойствами и эксплуатационными характеристиками обрабатываемых деталей. Установлены закономерности перераспределения плотности мощности сформированных лазерных потоков, а также изменения фокусного расстояния и длины фокального отрезка при варьировании пространственного положения динамического фокусатора. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили создать технологические оптические устройства формирования лазерных потоков с целенаправленно изменяемым пространственным распределением мощности.

Введение

Оптические системы, применяемые при лазерной обработке материалов, должны создавать требуемое распределение плотности мощности при концентрации энергии в зоне воздействия заданной формы [1]. Для формирования излучения повышенной мощности ($Q \geq 10^3$ Вт) целесообразно применять металлооптические элементы, обладающие высокой лучевой стойкостью и достаточной надежностью. Повысить эффективность лазерной технологии позволяет использование отражающих дифракционных оптических элементов — фокусаторов излучения [2]. Осуществляя выбранное на этапе их расчета преобразование лазерной энергии, такие оптические элементы предоставляют возможность сформировать заранее заданный профиль интенсивности излучения в фокальной плоскости. Их применение в технологии лазерной обработки материалов открывает принципиально новые возможности управления свойствами и эксплуатационными характеристиками

¹Представлена доктором физико-математических наук профессором В.В. Ивахником.

²Мурзин Сергей Петрович (murzin@ssau.ru), кафедра автоматических систем энергетических установок Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королева, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34.

обрабатываемых деталей. В связи с этим актуальной является задача создания динамических систем формирования энергетических потоков с изменяемым во времени пространственным распределением мощности в соответствии с технологическим назначением [3, 4].

Целью работы является совершенствование оптических систем формирования излучения с целенаправленно изменяемым распределением плотности мощности, применяемых при лазерной обработке материалов.

1. Перераспределение плотности мощности лазерного излучения

В рамках геометрической оптики задача фокусировки лазерного излучения эквивалентна поиску функции отображения области с координатами (U, V) оптического элемента в область с координатами (x, y) фокальной плоскости. При моделировании осуществляется расчет лучевых траекторий через оптическую систему от источника излучения до плоскости регистрации: чем больше лучей проведено через систему, тем точнее результат. Проводится дискретизация расчетной области оптического элемента, т.е. область падения излучения разбивается на малые площади, в которых находится плотность мощности. Уравнение формы поверхности оптического элемента в неподвижной системе координат (UOV) изменяется в зависимости от угла поворота φ фокусатора. После соответствующих алгебраических преобразований и нахождения первых производных по переменным U и V определяются проекции углов наклона к оптической оси излучения отразившихся от зеркальной поверхности фокусатора лучей на плоскости UOZ и VOZ , где ось OZ направлена по нормали к поверхности оптического элемента и проходит через его центр. После вычисления координат точки падения луча на плоскость регистрации определяется профиль интенсивности излучения в требуемом сечении отраженного пучка. Измерение распределения плотности мощности в лазерном пятне проводилось на CO_2 -лазерном оборудовании ЛК-1300 "Хебр-1А". Использовался стандартный измеритель мощности ИМО-2Н, снабженный квадратной диафрагмой площадью 10^{-8} м^2 и перемещающийся в системе координат, которая перпендикулярна оси луча. Применение оптико-электронного сканирующего инфракрасного радиометра (тепловизора) позволяет автоматизировать процесс регистрации. Для снижения уровня оптических сигналов во избежание повреждения пирометрического приемника применяется ответвитель лазерного излучения. Ответвленная часть пучка (приблизительно 1 процент от полной мощности) направляется на зеркала механизмов кадровой и строчной развертки оптического блока тепловизора ТВ-03. Чувствительная площадка пирометрического приемника лазерного излучения располагается в плоскости, оптически сопряженной с анализируемой, и работает в режиме термостабилизации — охлаждается жидким азотом. В аналогово-цифровом преобразовате-

ле электрические сигналы с приемника излучения преобразуются в цифровые и через устройство ввода-вывода видеоизображения поступают в персональный компьютер для проведения последующей обработки и анализа. На рис. 1 представлены полученные в результате расчета и экспериментальных исследований графики изменения положения фокуса и длины фокального отрезка L в зависимости от угла поворота φ динамического фокусатора, имеющего следующие параметры: $f = 1$ м; $L_0 = 12 \cdot 10^{-3}$ м; $R = 25 \cdot 10^{-3}$ м; $r = 0,7R$ при значении $R_f = r_f = 14 \cdot 10^{-3}$ м, где f — фокусное расстояние; L_0 — расчетная длина лазерного отрезка; R , R_f — соответственно максимальные радиусы расчетного и действительного фокусируемого пучка; r , r_f — соответственно параметры расчетного и действительного фокусируемого пучка гауссовского распределения плотности излучения, в котором интенсивность на расстоянии r от центра уменьшается в e раз по сравнению с интенсивностью в центре пучка.

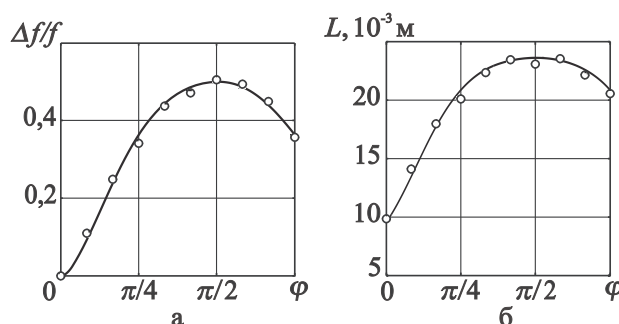


Рис. 1. Изменение фокусного расстояния $\Delta f/f$ (а) и длины фокального отрезка L (б) в зависимости от угла поворота φ фокусатора: $L_0 = 12 \cdot 10^{-3}$ м; $f = 1$ м; $R_f = r_f = 14 \cdot 10^{-3}$ м

В результате проведенных исследований установлено, что при повороте оптического элемента происходит поворот лазерного пятна в фокальной плоскости, перераспределение мощности в фокальном отрезке и уменьшение средней величины ее плотности, увеличивается длина фокального отрезка, а также изменяется положение фокальной плоскости. Максимальная плотность мощности при фокусировке излучения CO_2 -технологической установки ЛК-1300 "Хебр-1А" мощностью $Q = 10^3$ Вт в фокальной плоскости достигается при $\varphi = 0$ в центре лазерного пятна и равна $q_m = 1,2 \cdot 10^8$ Вт/м². При повороте фокусатора на угол $\varphi = \pi/2$ в фокусе оптического элемента плотность мощности в центре уменьшается почти вдвое, а фокусное расстояние уменьшается до $f = 0,5$ м. Изменение фокусного расстояния Δf определялось при анализе экспериментально полученных графических зависимостей ширины лазерного пятна от расстояния между динамическим фокусатором и плоскостью регистрации при фиксированном параметре φ . При повороте фокусатора на угол φ фокусное расстояние уменьшается, а величина $\Delta f/f$, равная отношению изменения фокусного расстояния к величине

фокуса, достигает максимального значения $\Delta f/f = 0,5$ при $\varphi = \pi/2$. При дальнейшем увеличении угла поворота это отношение уменьшается до нуля при $\varphi = \pi$. Длина фокального отрезка L при $\varphi \in [0; \pi/2]$ увеличивается. Дальнейшее возрастание φ в диапазоне значений при $\varphi \in [\pi/2; \pi]$ приводит к уменьшению величины L .

2. Оптические устройства для лазерной обработки материалов на основе динамических фокусаторов

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования лазерных потоков, преобразованных фокусаторами излучения, позволили создать технологические оптические устройства формирования лазерных потоков с целенаправленно изменяемым пространственным распределением мощности. Для проведения обработки материалов с использованием непрерывного излучения CO_2 -лазеров разработаны оптические устройства, одно из которых, состоящее из узлов фиксации, охлаждения, юстировки и вращения динамического фокусатора, представлено на рис. 2. Оптический элемент устанавливается и фиксируется в устройстве на втулке, передающей крутящий момент от электродвигателя. Регулируется угол падения излучения на оптический элемент, имеется возможность точной установки фокусаторов излучения относительно центра лазерного пучка по двум взаимноперпендикулярным координатам. Узел водяного охлаждения состоит из неподвижной втулки с двумя установленными в ней штуцерами и внутренней фторопластовой полости с центральным каналом подвода воды и тремя периферийными каналами отвода. Применение водяного охлаждения позволяет повысить лучевую стойкость оптического элемента и снизить вероятность его деформации вследствие перегрева.

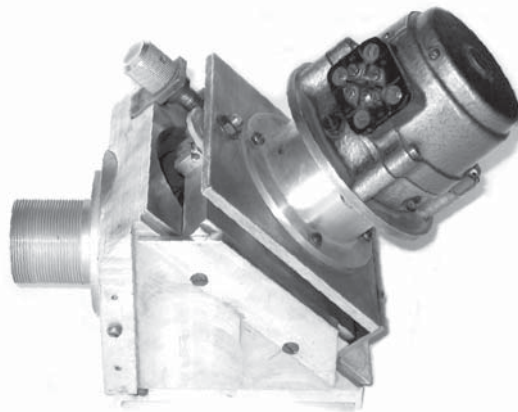


Рис. 2. Общий вид оптического устройства для лазерной обработки материалов на основе динамического фокусатора

Заключение

Установлены закономерности перераспределения плотности мощности сформированных лазерных потоков, а также изменения фокусного расстояния и длины фокального отрезка при изменении пространственного положения динамического фокусатора. При повороте оптического элемента происходит поворот лазерного пятна в фокальной плоскости, перераспределение мощности в фокальном отрезке и уменьшение средней величины ее плотности, увеличивается длина фокального отрезка, а также изменяется положение фокальной плоскости.

Проведенные исследования лазерных потоков, преобразованных фокусаторами излучения, позволили создать технологические оптические устройства формирования лазерных потоков.

Литература

- [1] Handbook of laser processing / ed. J.F. Ready. – Orlando: Laser Institute of America; Magnolia publ. Inc., 2001. – 715 p.
- [2] Golub, M.A. Infra-red radiation focusators/ M.A. Golub, I.N. Sisakian, V.A. Soifer // Optics and lasers in engineering. – 1991. – V. 15. – No. 5. – P. 297–309.
- [3] Verfahren und Anordnung fur die Laserbehandlung eines Gegenstandes Europäische Patentanmeldung 0 329 787 B 23 K 26/00 / A.M. Prokhorov [et al.]
- [4] Мурзин, С.П. Повышение эффективности лазерной обработки материалов при использовании элементов компьютерной оптики / С.П. Мурзин // Перспективные материалы. – 2003. – № 2. – С. 74–78.
- [5] Мурзин, С.П. Применение фокусаторов излучения для повышения эффективности лазерной термической и комбинированной обработки материалов / С.П. Мурзин // Компьютерная оптика. МЦНТИ. – 2002. – Вып. 24. – С. 114–120.

Поступила в редакцию 28/II/2006;
в окончательном варианте — 17/IV/2006.

OPTICAL DEVICES OF LASER STREAM FORMING³© 2006 S.P. Murzin⁴

Application of diffractive optical elements, such as radiation focusators, to material laser treating technology provide essentially new opportunities in obtaining properties and performances of heat treated details. Power density of generated laser streams laws distribution, and also of change in focal length and focal piece length at variation in spatial position of dynamic focusator are given. Theoretical and experimental research allows to create technological optical devices forming laser streams with the purpose of fully variated spatial distribution of power.

Paper received 28/II/2006.

Paper accepted 17/IV/2006.

³Communicated by Dr. Sci. (Phys. & Math.) Prof. V.V.Ivakhnik.

⁴Murzin Sergey Petrovich (murzin@ssau.ru), Dept. of Automatic Systems of Power Plants, Samara State Aerospace University, Samara, 443086, Russia.