

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ФОКУСИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Галинский М.К.

Донецкий Физико-Технический Институт им. А.А. Галкина, Донецк, Украина
fenix102030405@gmail.com

В индустрии для лазерной резки необходимо точно выдерживать расстояние между фокусирующей линзой и разрезаемым материалом [1]. Кроме того, для лазерной резки существенен вопрос влияния поведения удаляемого расплава на качество среза и скорость резки [2]. Линзы с распределенным фокусированием позволяют уменьшить необходимую точность в расстоянии между фокусирующей линзой и разрезаемым материалом и уменьшить объем удаляемого при лазерной резке материала.

Неконтактные лазерные скальпели используют сфокусированный лазерный луч [3]. Но для работы с ними также необходимо строго выдерживать расстояние между фокусирующей линзой и разрезаемой тканью. Чтобы облегчить работу с данными скальпелями можно создать фокусирование, при котором разрез будет идти в некотором сегменте длиной несколько сантиметров, как при использовании обычного металлического скальпеля. Распределенное фокусирование также будет полезно в информационных технологиях.

Линзы, фокусирующие свет в точку, сейчас лишь упрощенная модель, хотя мы часто стараемся делать линзы для объективов, лазерных скальпелей, резаков, гравиров и т.д. как можно ближе к такой модели. Но уже в лазерных пинцетах используется луч Бесселя [4,5]. Этот луч образуют пропусканием лазерного луча через аксикон [6] и он является лишь частным случаем распределенного фокусирования.

В отличие от классической модели линзы, линза с распределенным фокусированием должна собирать лучи не в один фокус, а в бесконечное множество фокусов на отрезке – распределять фокус. Отсюда и название «распределенное фокусирование».

Распределенному фокусированию в лучевой и волновой оптике посвящены, например, работы [7,8].

Цель – описание и расчет линз с распределенным фокусированием. Необходимо, чтобы конечные уравнения позволяли получить описание структуры линзы, исходя из требуемых характеристик распределенного фокусирования, например, длина лезвия, распределение мощности и т.д..

Пусть x_0 и x_1 – концы отрезка, на котором фокусируется лазерный луч (вкратце будет называться), $L = x_1 - x_0$ – длина лезвия. Пусть также $f(x)$ в – функция распределения мощности на лезвии – то есть мощность излучения, проходящая через единицу длины лезвия. Тогда:

$$f(x) = \pm 2\pi W(y) y \frac{\partial y}{\partial x},$$

где $W(y)$ – профиль интенсивности падающего на линзу излучения, y – радиус элементарного кольца линзы толщиной dy и фокусным расстоянием x . Знак в уравнении указывает на увеличение или уменьшение фокусного расстояния элементарного кольца с увеличением его радиуса. Оптимальным для лазерной резки металла или тканей пациента является случай знака «–».

Ход лучей при оптимальном для резки типе распределенного фокусирования схематически показан на Рис. 1а. Линза на Рис. 1а,б схематически изображена плоской пластинкой, так как, например, градиентную линзу, можно выполнить именно плоской. Для сравнения на Рис. 1б приведено схематическое изображение хода лучей при точечном фокусировании. Как показал проведенный расчет, объем удаляемого при резке материала при распределенном фокусировании расположен в области между лезвием и каустической поверхностью (обозначены на Рис. 1а), которая значительно

меньше соответствующего объема, удаляемого при резке с точечным фокусированием.

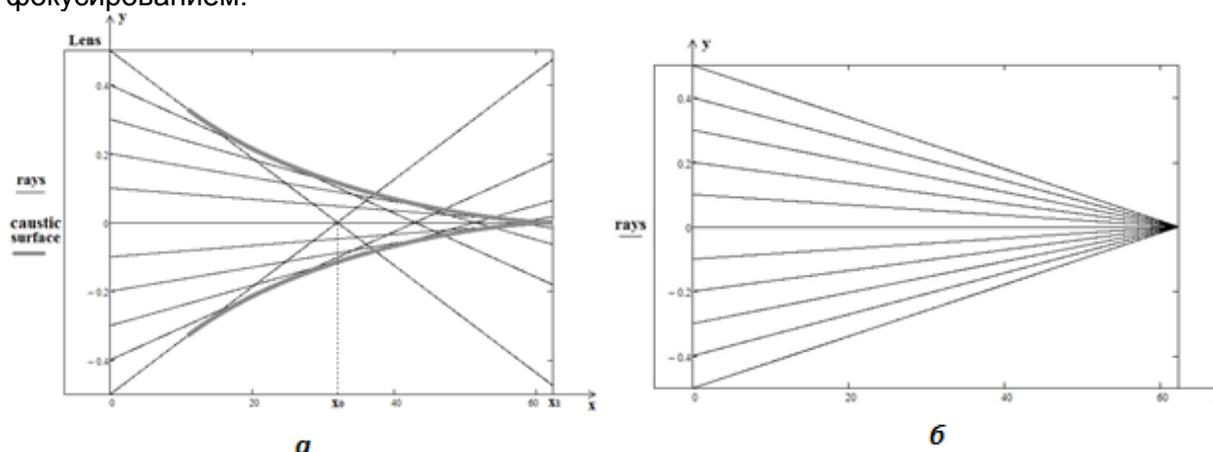


Рисунок 1 а - Схематическое изображение линзы и хода лучей в оптимальном для лазерной резки типе распределенного фокусирования. б Схематическое изображение линзы и хода лучей при точечном фокусировании. Длины на графиках указаны в сантиметрах

Анализ потенциальной эффективности применения в лазерной резке распределенного фокусирования по сравнению с точечным показал, что при длине лезвия 30 см с началом лезвия на расстоянии в 32 см от линзы, мощность оптического излучения можно понизить на 77.5%, по сравнению с применением линзы с точечным фокусированием с фокусным расстоянием 62 см. Также применение линзы с распределенным фокусированием позволит уменьшить объем удаляемого при резке материала в данном примере на 64.5%.

Литература

1. Robert H.T., Dell K.A., Leo A., Manufacturing processes reference guide. Industrial Press Inc., 1994.
2. Ozaki H., Quang M., Kawakami H., et al. Real-time Observation of Laser Cutting Fronts by X-ray Transsmition // Journal of Materials Processing Technology. 2016. Vol. 237. p. 181–187.
3. Sliney D.H., Trokel S.L. Medical laser and their safe use. New York: Springer-Verlag Inc., 1993.
4. Garces-Chavez V., McGloin D., Melville H., et al. Simultaneous micromanipulation in multiple planes using a self-reconstructing light beam // Letter to Nature. – Nature, 2002, №419. p. 145-147.
5. Miti F.G., Li R.X., Guo L.X., Ding C.Y. Optical tractor Bessel polarized beams // Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. 2017. V. 187. p. 97-115.
6. Пятницкий Л.Н., Коробкин В.В. Волновые пучки с компенсированной дифракцией и протяженные плазменные каналы // Труды института общей физики. 2000. №57. с. 59-114.
7. Галинский М.К. Распределенное фокусирование лазерного излучения. Лучевая оптика // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. 2017. №2(4). с. 152-156.
8. Галинский М.К., Румянцев В.В. Формирование трехмерной интерференционной картины излучения лазерного источника // Физика и техника высоких давлений. 2018. №4. с. 114-121.