

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СУБЛИМАЦИИ КОМПОНЕНТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Казанский Н.Л.^{1,2}, Мурзин С.П.¹, Трезуб В.И.¹

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет),

² Учреждение Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН

Аннотация

Определена возможность применения в составе лазерной технологической установки фокусатора излучения и зеркала со сферической поверхностью для проведения селективной лазерной сублимации компонента модельного сплава системы Cu–Zn. Установлено, что при повороте фокусатора излучения происходит поворот оси фокального отрезка в плоскостях меридионального и сагиттального фокусов оптической системы, изменяются фокусные расстояния, длины фокальных отрезков уменьшаются, при этом средняя величина плотности мощности увеличивается.

Ключевые слова: система оптическая, формирование лазерного пучка, излучение лазерное, отрезок фокальный, плотность мощности, сублимация, сплав модельный.

Введение

В работах [1-4] определены условия селективной лазерной сублимации компонентов металлических сплавов, сопровождающейся образованием нанопористой структуры. Установлено, что интенсивность образования пор, а также их форма и размеры обуславливаются температурно-скоростными режимами обработки, которые при воздействии квазинепрерывного излучения определяются величиной и распределением плотности мощности в пятне нагрева, а также длительностью воздействия и частотой следования импульсов. Для обеспечения требуемых условий обработки целесообразно применение элементов дифракционной компьютерной оптики – фокусаторов излучения, эффективно используемых в различных лазерных технологиях [5-7]. Применение в составе оптической системы дополнительного фокусирующего элемента, например, зеркала со сферической поверхностью, предоставляет возможность повысить значение плотности мощности сфокусированного лазерного излучения и уменьшить геометрические размеры области лазерного воздействия при сохранении однородности плотности мощности по всей длине полосового энергетического источника, что должно привести к более интенсивному нагреву образцов и, соответственно, интенсифицировать диффузионные процессы, обеспечивающие высокую скорость формирования нанопористых структур металлических материалов.

Целью данной работы является исследование оптической системы, содержащей фокусатор излучения и зеркало со сферической поверхностью, применительно к селективной лазерной сублимации компонентов металлических сплавов, сопровождающейся образованием нанопористой структуры.

Расчёт перераспределения мощности лазерного излучения оптической системой, содержащей фокусатор излучения и сферическое зеркало

Математическое моделирование оптической системы формирования лазерного излучения, содержащей фокусатор излучения и сферическое зеркало,

проведено с использованием программного комплекса TracePro, предназначенного для трёхмерного моделирования хода лучей в оптических системах и проведения их оптического анализа [8]. В данном программном комплексе реализован метод обобщённой трассировки лучей, расчёт их траекторий проводится с учётом поглощения, отражения, рефракции, дифракции и рассеяния.

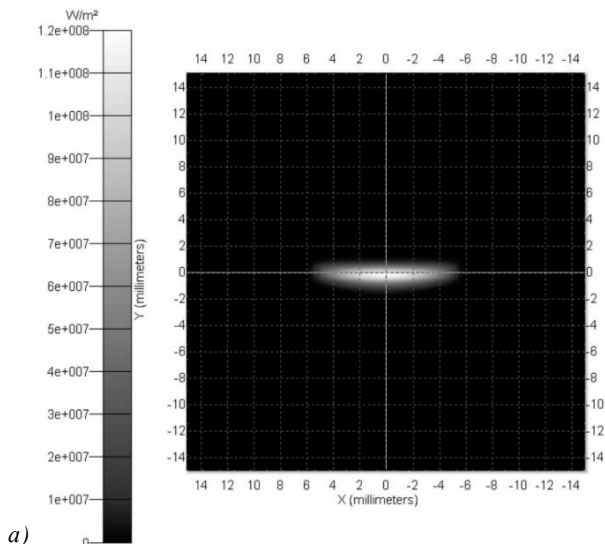
Форма поверхности фокусатора излучения в отрезок определяется уравнением [9-11]:

$$Z(U, V) = \text{mod}_{\bar{m}\lambda/(2\cos\theta)} \left(-\frac{U^2 \cdot \cos\theta}{2q} + \frac{V^2}{2p \cdot \cos\theta} + C \right), \quad (1)$$

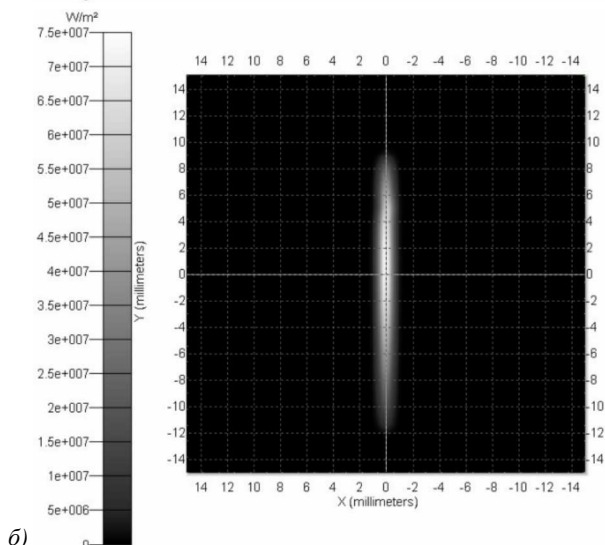
где $\text{mod}_{\bar{m}\lambda/(2\cos\theta)}(\bar{h})$ – функция, равная наименьшему положительному остатку от деления \bar{h} на $\bar{m}\lambda/(2\cos\theta)$; \bar{m} – целое число; λ – длина волны излучения; p и q – параметры; C – высота микро-рельефа в центральной точке фокусатора излучения.

Параметры оптического элемента (1) для формирования излучения CO₂-лазера с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм имели значения: фокусное расстояние $f = 0,835$ м, максимальный радиус фокусируемого пучка $R_{\max} = 17,5 \cdot 10^{-3}$ м, угол между оптической осью излучения и нормалью к плоскости фокусатора $\theta = 45^\circ$. Радиус кривизны сферической поверхности вогнутого зеркала составлял 0,18 м. Радиус фокусируемого лазерного излучения с гауссовским распределением интенсивности составлял $R = 10^{-2}$ м.

На рис. 1 представлено расчётное распределение плотности мощности лазерного излучения в фокальных плоскостях оптической системы при неподвижном фокусаторе излучения (1). При повороте фокусатора излучения на угол ϕ вокруг центральной нормали к поверхности происходит поворот оси фокального отрезка в плоскостях меридионального и сагиттального фокусов оптической системы на углы ϕ_m и ϕ_s , также происходит изменение фокусных расстояний f_m и f_s .



а)



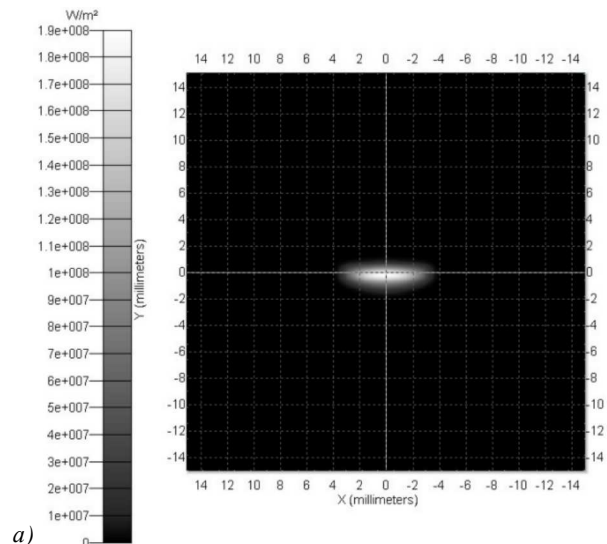
б)

Рис. 1. Расчётное распределение плотности мощности лазерного излучения в плоскости меридионального (а) и сагиттального (б) фокусов оптической системы

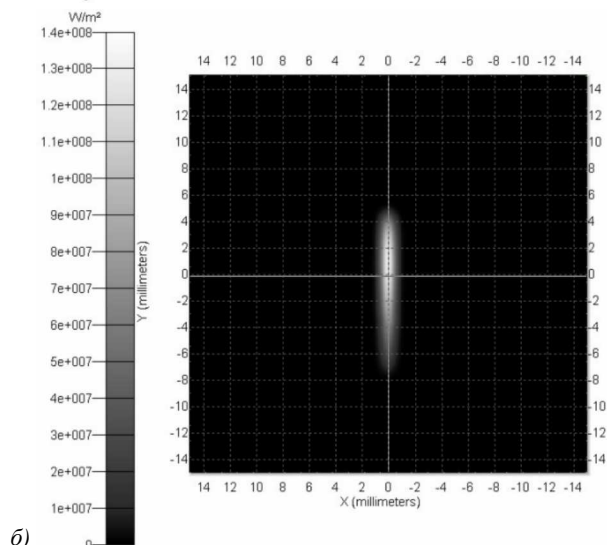
Длины фокальных отрезков в плоскости меридионального и сагиттального фокусов оптической системы L_m и L_s уменьшаются, при этом средняя величина плотности мощности в фокальном отрезке увеличивается для каждой фокальной плоскости. На рис. 2 приведено расчётное распределение плотности мощности излучения в плоскости меридионального и сагиттального фокусов оптической системы при повороте фокусатора на угол $\phi = 90^\circ$.

На рис. 3 представлены результаты расчёта изменения максимальной плотности мощности в фокальном отрезке в зависимости от угла поворота фокусатора излучения для меридионального и сагиттального фокусов оптической системы.

В результате аппроксимации расчётных данных полиномами методом наименьших квадратов были получены выражения, описывающие функциональную связь $L_m(\phi)$, $L_s(\phi)$, $q_m(\phi)$, $q_s(\phi)$, где $\phi \in [0, \pi]$ – угол поворота фокусатора излучения [рад]:



а)



б)

Рис. 2. Расчётное распределение плотности мощности излучения в плоскости меридионального (а) и сагиттального (б) фокусов оптической системы при повороте фокусатора на угол $\phi = 90^\circ$

$$L_m(\phi) = -0,024256 \cdot \phi^8 + 0,3048 \cdot \phi^7 - 1,5081 \cdot \phi^6 + 3,6842 \cdot \phi^5 - 5,0978 \cdot \phi^4 + 6,0662 \cdot \phi^3 - 5,9434 \cdot \phi^2 - 0,28963 \cdot \phi + 10,884 \quad [10^{-3} \text{ м}].$$

$$L_s(\phi) = -0,022193 \cdot \phi^{10} + 0,34861 \cdot \phi^9 - 2,4142 \cdot \phi^8 + 9,6939 \cdot \phi^7 - 24,244 \cdot \phi^6 + 36,252 \cdot \phi^5 - 27,905 \cdot \phi^4 + 10,354 \cdot \phi^3 - 7,118 \cdot \phi^2 - 1,1066 \cdot \phi + 20,566 \quad [10^{-3} \text{ м}].$$

$$q_m(\phi) = -0,0053852 \cdot \phi^{10} + 0,08459 \cdot \phi^9 - 0,53412 \cdot \phi^8 + 1,7027 \cdot \phi^7 - 2,7709 \cdot \phi^6 + 1,9039 \cdot \phi^5 + 0,025883 \cdot \phi^4 - 0,62177 \cdot \phi^3 + 0,60542 \cdot \phi^2 + 0,033174 \cdot \phi + 1,1948 \quad [10^8 \text{ Вт/м}^2].$$

$$q_s(\phi) = 0,018162 \cdot \phi^8 - 0,22823 \cdot \phi^7 + 1,1211 \cdot \phi^6 - \\ - 2,6824 \cdot \phi^5 + 3,2029 \cdot \phi^4 - 1,9379 \cdot \phi^3 + \\ + 0,79139 \cdot \phi^2 + 0,099027 \cdot \phi + \\ + 0,73514 \quad [10^8 \text{ Вт/м}^2].$$

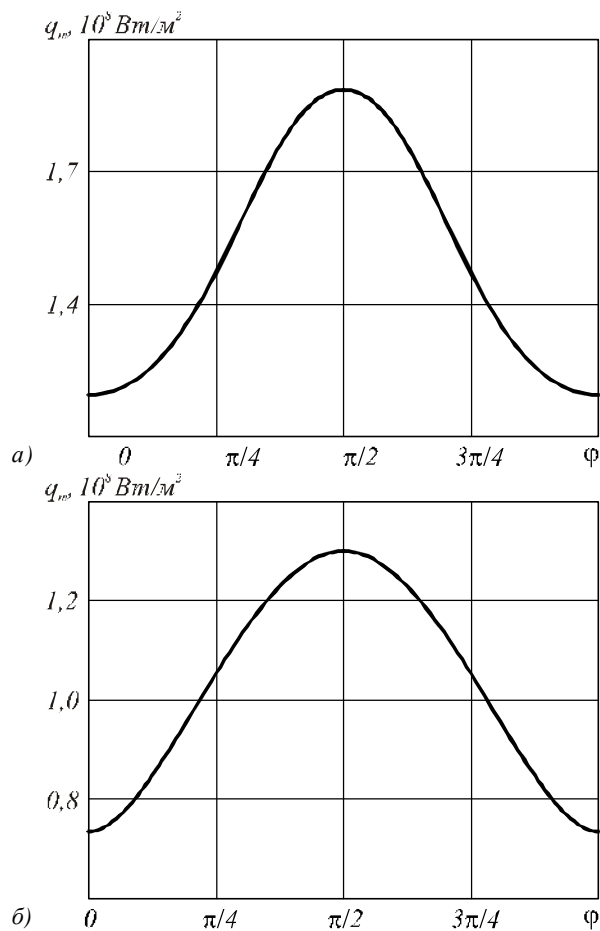


Рис. 3. Изменение максимальной плотности мощности в фокальном отрезке в плоскости меридионального (а) и сагиттального (б) фокусов оптической системы в зависимости от угла поворота ϕ фокусатора излучения (1)

Таким образом, проведён расчёт перераспределения мощности лазерного излучения оптической системой, содержащей фокусатор излучения и сферическое зеркало. Применение такой оптической системы позволяет повысить значение плотности мощности сфокусированного лазерного излучения и уменьшить геометрические размеры области лазерного воздействия. В результате проведённого расчёта оптической системы формирования лазерного излучения установлено, что при повороте фокусатора излучения происходит поворот оси фокального отрезка в плоскостях меридионального и сагиттального фокусов оптической системы, также происходит изменение фокусных расстояний. Длины фокальных отрезков в плоскости меридионального и сагиттального фокусов оптической системы уменьшаются, при этом средняя величина плотно-

сти мощности в фокальном отрезке увеличивается для каждой фокальной плоскости.

Обработка лазерным излучением образцов из модельного сплава системы Cu–Zn

Для экспериментального исследования предлагаемой оптической схемы на оборудовании [12] центра коллективного пользования «Наноптоника и дифракционная оптика», созданного совместно СГАУ и ИСОИ РАН, был рассчитан и методом послойного наращивания микрорельефа [13–14] изготовлен фокусатор лазерного излучения с вышеприведёнными параметрами. Проведена обработка лазерным излучением с использованием оптической системы, содержащей изготовленный фокусатор излучения (1) и сферическое зеркало, образцов из модельного сплава системы Cu–Zn – латуни Л62, особенностью которого является значительная концентрация компонента, имеющего более высокую упругость пара (Zn). Для проведения лазерного воздействия на лабораторные образцы использовалась технологическая обрабатывающая система на базе технологического CO₂ слэб-лазера ROFIN DC 010 с диффузионным охлаждением и высокочастотной накачкой и координатного устройства CP1525-1M. Осуществлялось длительное (более 200 с) воздействие квазинепрерывным лазерным излучением с частотой следования импульсов $(4 \dots 5) \cdot 10^3$ Гц.

При реализации требуемых температурно-скоростных режимов лазерного воздействия наблюдалось изменение соотношения компонентов поверхности, что проявлялось в изменении цвета поверхности образцов на светло-красный. С увеличением времени воздействия интенсивность покраснения поверхности усиливалась. Основным механизмом образования данной структуры является известный механизм сублимации компонента сплава с более высокой упругостью пара (цинка). В материале создаётся градиент концентраций, и в дальнейшем данный компонент сублимирует с поверхности в той мере, в какой будет обеспечена его диффузия к поверхности. С течением времени толщина слоя, через который происходит диффузионная доставка атомов цинка к поверхности, увеличивается, и диффузия становится контролирующим фактором в протекании процесса сублимации. В приповерхностном слое протекает образование пор как одиночных, так и образующих разветвлённые каналы. Морфология поверхности образца в области лазерного воздействия представлена на рис. 4.

Проведены исследования образцов из модельного сплава системы Cu–Zn методом растровой электронной микроскопии. Для проведения исследований применялся аналитический растровый электронный микроскоп VEGA\\ SB, Tescan, диапазон ускоряющего напряжения которого составляет 0,2...30 кВ, источником электронов является вольфрамовый катод с термоэлектронной эмиссией.

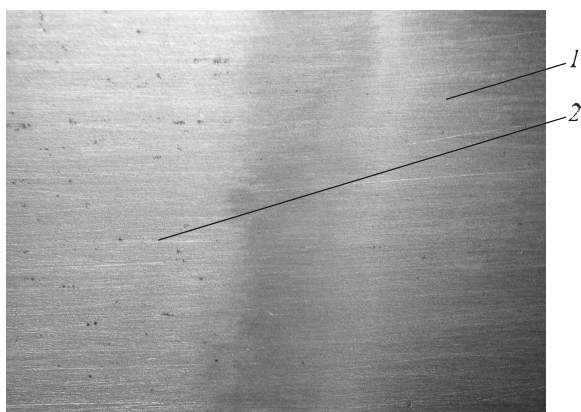


Рис. 4. Морфология поверхности образца в области лазерного воздействия; увелич. $\times 10$: 1 – латунь Л62 в исходном состоянии; 2 – после лазерного воздействия

Изучалась микротопография поверхности образцов из латуни Л62 после лазерного воздействия с высокой частотой следования импульсов. На рис. 5 представлено изображение поверхности образца из сплава системы Cu-Zn после лазерного воздействия.

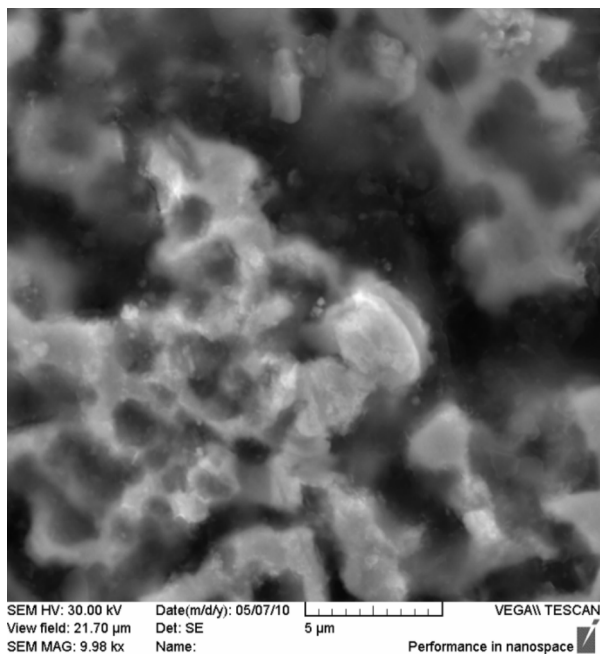


Рис. 5. Изображение поверхности образца из сплава системы Cu-Zn после лазерного воздействия, полученное с помощью аналитического растрового электронного микроскопа VEGA|| SB, Tescan; увелич. $\times 9980$

В результате топографического анализа поверхности образцов нанопористых металлических материалов методом растровой электронной микроскопии установлено, что лазерное воздействие на двухкомпонентный металлический сплав типа твёрдый раствор системы Cu-Zn, один из компонентов которой имеет более высокую упругость паров, вызывает изменение рельефа поверхности. В зависимости от температурно-скоростных режимов, а также длительности лазерного воздействия эти изменения проявляются как в развитии (образовании углублений с клинообразным поперечным сечением), так и в сглаживании рельефа. После лазерного воздей-

ствия на поверхности образца формируется структура, содержащая достаточно равномерно распределённые по площади открытые поры различных форм: от овальной до неправильной. Образуются также разветвлённые поры, имеющие своеобразную дендритную структуру.

Применение в составе оптической системы дополнительного фокусирующего элемента – зеркала со сферической поверхностью – предоставляет возможность осуществить более интенсивный нагрев образцов и, соответственно, интенсифицировать диффузионные процессы, контролирующие скорость формирования нанопористых структур металлических материалов.

Заключение

Определена возможность применения в составе оптической системы формирования лазерного излучения фокусатора в отрезок и зеркала со сферической поверхностью для селективной лазерной сублимации компонента модельного сплава системы Cu-Zn. В результате проведённого расчёта оптической системы формирования лазерного излучения установлено, что при повороте фокусатора излучения происходит поворот оси фокального отрезка в плоскостях меридионального и сагиттального фокусов оптической системы, также происходит изменение фокусных расстояний. Длины фокальных отрезков в плоскости меридионального и сагиттального фокуса оптической системы уменьшаются, при этом средняя величина плотности мощности в фокальном отрезке увеличивается для каждой фокальной плоскости. Применение в составе оптической системы дополнительного фокусирующего элемента – зеркала со сферической поверхностью – позволяет повысить плотность мощности сфокусированного лазерного излучения и уменьшить геометрические размеры области лазерного воздействия, что предоставляет возможность осуществить более интенсивный нагрев образцов и, соответственно, интенсифицировать диффузионные процессы, контролирующие скорость формирования нанопористых структур металлических материалов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (государственные контракты № П1003, № 02.740.11.0805 и № 14.740.11.0016), гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 10-07-00553-а и гранта Президента РФ № НШ-7414.2010.9.

Литература

1. Казанский, Н.Л. Применение фокусаторов излучения при формировании нанопористых структур Твёрдокристаллических материалов / Н.Л. Казанский, С.П. Мурзин, В.И. Трегуб, А.В. Меженин // Компьютерная оптика. – 2007. – Т. 31, № 2. – С. 48-51.
2. Мурзин, С.П. Лазерное наноструктурирование металлических материалов с применением подвижных фокуса-

- торов излучения / С.П. Мурзин, В.И. Трегуб, А.В. Меженин, Е.Л. Осетров // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 4. – С. 353-356.
3. **Мурзин, С.П.** Создание нанопористых металлических материалов с применением лазерного воздействия / С.П. Мурзин, Е.Л. Осетров, Н.В. Трегуб, А.М. Никифоров // Известия Самарского научного центра РАН. – 2009. – Т. 11, № 5. – С. 102-105.
 4. **Мурзин, С.П.** Повышение равномерности глубины зоны образования нанопористых структур при формировании лазерного воздействия фокусатором излучения / С.П. Мурзин, Е.Л. Осетров, Н.В. Трегуб, С.А. Малов // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, № 2 – С. 219-224.
 5. **Doskolovich, L.L.** Focusators for laser-branding / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, G.V. Usplenjev // Optics and Lasers in Engineering. – 1991. – Vol. 15, No. 5. – P. 311-322.
 6. **Doskolovich, L.L.** DOE for Focusing the Laser Light / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, and V.A. Soifer // Methods for Computer Design of Diffractive Optical Elements. Edited by Victor A. Soifer. – A Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc., 2002. – P. 347-443.
 7. Дифракционная компьютерная оптика / под ред. В.А. Соифера. – М.: Физматлит, 2007. – 736 с.
 8. **Казанский, Н.Л.** Математическое моделирование оптических систем / Н.Л. Казанский. – Самара: СГАУ, 2005. – 240 с.
 9. **Казанский, Н.Л.** Формирование лазерного излучения для создания наноразмерных пористых структур материалов / Н.Л. Казанский, С.П. Мурзин, А.В. Меженин, Е.Л. Осетров // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 3. – С. 246-248.
 10. **Kazanskiy, N.L.** Diffraction investigation of geometric-optical focusators into segment / N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer // Optik. – 1994. – Vol. 96, No. 4. – P. 158-162.
 11. **Doskolovich, L.L.** Comparative analysis of different focusators into segment / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer // Optics and Laser Technology. – 1995. – Vol. 27, No. 4. – P. 207-213.
 12. **Казанский, Н.Л.** Исследовательский комплекс для решения задач компьютерной оптики / Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2006. – № 29. – С. 58-77.
 13. **Волков, А.В.** Способ изготовления дифракционных оптических элементов / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Ю. Моисеев // Патент РФ на изобретение № 2231812 от 27 июня 2004 года. Бюл. № 18.
 14. **Volkov, A.V.** A Method for the Diffractive Microrelief Forming Using the Layered Photoresist Growth / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Yu. Moiseev, V.A. Soifer // Optics and Lasers in Engineering. – 1998. – Vol. 29, No. 4-5. – P. 281-288.
- References**
1. **Kazanskiy, N.L.** Application of focusators for the forming nanoporous structures of solidcrystalline materials / N.L. Kazansky, S.P. Murzin, V.I. Tregub, A.V. Mezhenin // Computer Optics. – 2007. – Vol. 31, No. 2. – P. 48-51. – (in Russian).
 2. **Murzin, S.P.** Laser nanostructuring of metal materials by application of moveable radiation focusators / S.P. Murzin, V.I. Tregub, A.V. Mezhenin, E.L. Osetrov // Computer Optics. – 2008. – Vol. 32, No. 4. – P. 353-356. – (in Russian).
 3. **Murzin, S.P.** Creation of nanoporous metal materials by application of laser radiation / S.P. Murzin, E.L. Osetrov, N.V. Tregub, A.M. Nikiforov // Izvestia of Samara Science Center RAS. – 2009. – V. 11, No. 5. – P. 102-105. – (in Russian).
 4. **Murzin, S.P.** The increasing of the uniformity of nanoporous structure creation zone depth by the laser action shaped by radiation focusator / S.P. Murzin, E.L. Osetrov, N.V. Tregub, S.A. Malov // Computer Optics. – 2010. – Vol. 34, No. 2. – P. 219-224. – (in Russian).
 5. **Doskolovich, L.L.** Focusators for laser-branding / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, G.V. Usplenjev // Optics and Lasers in Engineering. – 1991. – Vol. 15, No. 5. – P. 311-322.
 6. **Doskolovich, L.L.** DOE for Focusing the Laser Light / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, and V.A. Soifer // Methods for Computer Design of Diffractive Optical Elements. Edited by Victor A. Soifer. – A Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc., 2002. – P. 347-443.
 7. Diffractive Computer Optics / edited by V.A. Soifer – Moscow: "Fizmatlit" Publisher, 2007. – 736 p. – (in Russian).
 8. **Kazanskiy, N.L.** Mathematical Simulation of Optical Systems / N.L. Kazanskiy. – Samara: SSAU, 2005. – 240 p. (in Russian).
 9. **Kazanskiy, N.L.** Formation of laser radiation for a creation of nanoporous materials / N.L. Kazansky, S.P. Murzin, A.V. Mezhenin, E.L. Osetrov // Computer Optics. – 2008. – Vol. 32, No. 3. – P. 246-248. – (in Russian).
 10. **Kazanskiy, N.L.** Diffraction investigation of geometric-optical focusators into segment / N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer // Optik. – 1994. – Vol. 96, No. 4. – P. 158-162.
 11. **Doskolovich, L.L.** Comparative analysis of different focusators into segment / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer // Optics and Laser Technology. – 1995. – Vol. 27, No. 4. – P. 207-213.
 12. **Kazanskiy, N.L.** R-D Center for Solving the Computer Optics Problems / N.L. Kazanskiy // Computer Optics. – 2006. – No. 29. – P. 58-77. – (in Russian).
 13. **Volkov, A.V.** A Method for the Manufacture of Diffractive Optical Elements / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Yu. Moiseev // Patent RF of Invention № 2231812 of June 27, 2004. Russian Bulletin of Inventions № 18, 2004. – (in Russian).
 14. **Volkov, A.V.** A Method for the Diffractive Microrelief Forming Using the Layered Photoresist Growth / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Yu. Moiseev, V.A. Soifer // Optics and Lasers in Engineering. – 1998. – Vol. 29, No. 4-5. – P. 281-288.

OPTICAL SYSTEM FOR REALIZATION SELECTIVE LASER SUBLIMATION OF METAL ALLOYS COMPONENTS

N.L. Kazanskiy^{1,2}, S.P. Murzin¹, V.I. Tregub¹
¹ S.P. Korolyov Samara State Aerospace University,
² Image Processing Systems Institute of the RAS

Abstract

Possibility of application of focusator and mirror with a spherical surface as a part of laser radiation formation optical system for carrying out selective component laser sublimation on modeling Cu-Zn alloy is defined. Focusator turn (there is a turn of focal piece axis, focal lengths change, lengths of focal pieces decrease) increases the average size of capacity density.

Key words: optical system, formation of laser beam, laser radiation, focal piece, capacity density, sublimation, modeling alloy.

Сведения об авторах

Казанский Николай Львович, 1958 года рождения. В 1981 году с отличием окончил Куйбышевский авиационный институт (КуАИ, ныне – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) – СГАУ) по специальности «Прикладная математика». Доктор физико-математических наук (1996 год), профессор, работает заместителем директора по научной работе и заведующим лабораторией дифракционной оптики Института систем обработки изображений РАН (ИСОИ РАН), профессором кафедры технической кибернетики СГАУ. Руководитель научно-образовательного центра компьютерной оптики, созданного совместно ИСОИ РАН и СГАУ, заведующий базовой (СГАУ в ИСОИ РАН) кафедрой высокопроизводительных вычислений. Является членом международных научных обществ SPIE и IAPR. Казанский Н.Л. – специалист в области дифракционной оптики,

математического моделирования, обработки изображений и нанопластики. В списке научных работ Н.Л. Казанского 240 статей, 7 монографий, 35 авторских свидетельств и патентов.

Страница в интернете: <http://www.ipsi.smr.ru/staff/kazansky.htm>

E-mail: kazansky@smr.ru

Nikolay Lvovich Kazanskiy (b. 1958) graduated with honours (1981) from the S. P. Korolyov Kuibyshev Aviation Institute (presently, S. P. Korolyov Samara State Aerospace University (SSAU)), majoring in Applied Mathematics. He received his Candidate in Physics & Maths (1988) and Doctor in Physics & Maths (1996) degrees from Samara State Aerospace University. He is the vice-director for research and the head of Diffractive Optics laboratory at the Samara Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences (IPSI RAS), holding a part-time position of professor at SSAU's Technical Cybernetics sub-department. He is the manager of the Research & Education Center of Computer Optics established jointly by SSAU and IPSI RAS, holding the chair of SSAU's base sub-department of High-Performance Computing at IPSI RAS. He is a SPIE and IAPR member. He is co-author of 240 scientific papers, 7 monographs, and 35 inventions and patents. His current research interests include diffractive optics, mathematical modeling, image processing, and nanophotonics.

Homepage: <http://www.ipsi.smr.ru/staff/kazansky.htm>



Мурзин Сергей Петрович, 1963 года рождения. В 1986 году окончил Куйбышевский авиационный институт (КуАИ, ныне – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва – СГАУ) по специальности «Двигатели летательных аппаратов». Доктор технических наук (2005 год), работает профессором кафедры автоматических систем энергетических установок СГАУ. Заместитель руководителя научно-образовательного центра лазерных систем и технологий СГАУ. Мурзин С.П. – специалист в области лазерных технологий и нанотехнологий, лазерной физики и оптики. В списке научных работ Мурзина С.П. более 50 статей, монография, 17 авторских свидетельств и патентов.

E-mail: murzin@ssau.ru

Serguei Petrovich Murzin (b. 1963) graduated (1986) from the S. P. Korolyov Kuibyshev Aviation Institute (KuAI, presently, S. P. Korolyov Samara State Aerospace University (SSAU)), majoring in Aircraft Engines. He received his Doctor in Technics (2005) degree from Samara State Aerospace University. He is holding a position of professor at SSAU's Power Plant Automatic Systems sub-department. He is the deputy manager of the Research & Education Center of Laser systems and Technologies of SSAU. He is a specialist in laser technology and nanotechnology, laser physics and optics. He is co-author of more than 50 scientific papers, 1 monograph, and 17 inventions and patents.



Трегуб Валерий Иванович, 1956 года рождения, в 1979 году с отличием окончил Куйбышевский авиационный институт (КуАИ, ныне – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва – СГАУ) по специальности «Обработка металлов давлением». Кандидат технических наук (1993 год), работает доцентом кафедры технологии металлов и авиаматериаловедения СГАУ. Трегуб В.И. – специалист в области физики твёрдого тела и нанотехнологий. В списке научных работ Трегуба В.И. более 70 публикаций.

E-mail: tvi_v@rambler.ru

Valery Ivanovich Tregub (b. 1956) with honours graduated (1979) from the S. P. Korolyov Kuibyshev Aviation Institute (KuAI, presently, S. P. Korolyov Samara State Aerospace University (SSAU)), majoring in Metal Processing and Metal forming. He received his Candidate in Technics (1993) degree from Samara State Aerospace University. He is holding a position of associate professor at SSAU's Technology of metals and Aircraft material science sub-department. He is a specialist in solid-state physics and nanotechnology. He is co-author of more than 70 scientific papers.

Поступила в редакцию 12 ноября 2010 г.