

Тестирование дифракционного оптического элемента в составе специального CO₂-лазерного оборудования для модификации металлических материалов

С.П. Мурзин^{1,2}, Н.Л. Казанский^{1,3}, Г. Лидль², Г. Хуменбергер²

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

²Венский технический университет, Гетрайдемаркт 9, Вена, Австрия, 1060

³Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация. Проведено тестирование отражающего дифракционного оптического элемента (ДОЭ) в составе специального CO₂-лазерного оборудования Oerlikon OPL 2000 для модификации металлических материалов. Измерено распределение плотности мощности в плоскости, расположенной за фокальной плоскостью ДОЭ. Установлено, что ДОЭ предоставляют возможность сформировать заданный профиль плотности мощности. Использование данных оптических элементов при лазерной обработке материалов открывает новые возможности для управления свойствами и эксплуатационными характеристиками обрабатываемых деталей. Дополнительное перераспределение мощности излучения к краям лазерного пятна достигается за счет увеличения доли энергии, отраженной периферийными зонами ДОЭ, например, путем увеличения апертуры сфокусированного луча. Предлагается использовать телескопическую систему из двух линз для изменения диафрагмы лазерного луча, фокусируемого ДОЭ.

1. Введение

Улучшение технических характеристик механизмов и машин тесно связано с качеством основных деталей, которое во многом определяется комплексом физико-механических свойств используемых конструкционных материалов. Чаще всего основными материалами, используемыми для изготовления конструктивных элементов, являются сталь и другие сплавы, в том числе материалы с высокой удельной прочностью в четко определенном диапазоне рабочих температур. Известно, что такие важные характеристики металлов и сплавов, как прочность на разрыв, усталостная прочность и износостойкость, являются структурно чувствительными, то есть могут управляться надлежащими изменениями в структурах материалов. Обработка лазерным лучом является прогрессивным процессом для улучшения выбранных свойств и эксплуатационных характеристик материалов [1–3].

Многочисленные опубликованные экспериментальные результаты показывают, что наиболее важными факторами, которые влияют на результирующие свойства материалов и эксплуатационные качества изделий, обработанных лазерным излучением, являются температура и ее изменение в зоне обработки [4–6]. Известно, что реализуемый термический цикл приводит к образованию определенной структуры и модификации свойств материала. Таким образом,

температурный цикл в зоне обработки является наиболее значимым фактором, влияющим на изменения физико-механических свойств материалов. Однако практически нет информации и рекомендаций о том, как реализовать управление пространственным распределением энергии, передаваемой обрабатываемому материалу для реализации заданного температурного цикла. Несоответствие распределения теплового потока на поверхности технологических объектов способствует развитию различных дефектов. Как следствие, для предотвращения развития таких дефектов обычно используются эффективно обрабатываемые материалы, а не те, которые лучше обеспечивают требуемые свойства материала после обработки лазерным лучом.

В настоящее время все большее применение находят высокопрочные двухфазные ферритно-мартенситные стали с контролируемым количеством мартенсита, которые имеют наиболее благоприятное сочетание прочности и пластичности по сравнению с другими низколегированными сталями [7-9]. Двухфазные ферритно-мартенситные структуры могут быть модифицированы, используя различных комбинаций параметров нагрева и охлаждения. Точное перераспределение энергии лазерного излучения может быть получено с помощью дифракционных оптических элементов (ДОЭ) [10-12], при этом их применение в технологических процессах открывает перспективы не только для решения представленной конкретной цели лазерной модификации материалов, но и для других приложений. Фокусировка с помощью ДОЭ в линию используется при лазерной резке [13, 14], сварке [15], маркировке [16]; для маркировки также используется фокусировка в заданные точки [17, 18]. В то же время, существуют некоторые реальные проблемы лазерной обработки материалов [19, 20, 21], определение которых необходимо для создания требуемого, как правило, равномерного распределения плотности мощности излучения в заданной плоской области. Целью данного исследования является функциональное тестирование, то есть тестирование функциональной пригодности и функциональной совместимости ДОЭ как части специфического CO₂-лазерного оборудования, а также проверка соответствия процессу модификации материалов с ферритно-мартенситной структурой лазерным воздействием.

2. Оптические системы для лазерной обработки

Использование лазеров требует тщательного выбора оптических систем для транспортировки и трансформирования лазерного излучения [22]. Лазерные транспортирующие системы предназначены для доставки луча от источника излучения в зону обработки с минимальным уменьшением мощности и ухудшением качества луча. Излучение твердотельного и диодного лазера можно передавать с помощью оптического волокна и формировать стеклянными линзами, при этом транспортирующие элементы в случае высоких плотностей мощности необходимо охлаждать. Длины волн излучения твердотельных и диодных лазеров предоставляют возможность транслировать выходной сигнал от лазера на оптическое волокно, чтобы доставлять излучение в необходимую область. Луч, на выходе из волокна, передается в соответствии с известными законами распространения излучения. Однако расходимость излучения ограничивается числовой апертурой оптического волокна и в значительной степени зависит от направляющих элементов на входе в волокно. Лазерное излучение проходит через волокно практически без потерь. Более высокие потери мощности могут иметь место на входных и выходных торцах волокна, особенно если покрытие отсутствует или оно повреждено. В качестве базовых элементов направляющих систем CO₂-лазеров используются зеркала. Высокоточные и высокоотражающие зеркальные поверхности в сочетании с точными механическими направляющими системами являются основными требованиями к постоянному качеству излучения в течение всего процесса обработки.

При реализации большинства технологических процессов лазерное излучение должно фокусироваться на поверхность обрабатываемого объекта с возможностью достижения желательной плотности мощности. Излучение используемых лазеров, как правило, не обеспечивают высокую концентрацию мощности и распределение плотности мощности, которые необходимы для реализации соответствующего воздействия. Для создания на обрабатываемой поверхности плотности мощности в диапазоне 10^7 – 10^{12} Вт/м² применяются различные способы фокусировки излучения [6, 23]. В качестве фокусирующих элементов могут

использоваться пропускающие - линзы, а также отражательные оптические элементы (например, зеркала). Различные типы линзовых систем (например, сферические, параболические и цилиндрические) широко используются и в некоторых случаях обеспечивают возможность осуществления желательного температурного воздействия путем изменения расстояния от фокальной плоскости до обрабатываемого объекта. Фокусирующие линзы для CO_2 -лазеров в основном изготавливаются из селенида цинка. Эти элементы имеют высокий коэффициент пропускания в инфракрасной области спектра и благоприятные характеристики рассеивания тепла. Излучение твердотельных и диодных лазеров формируется оптическими элементами из кварца, при этом соответствующие антиотражающие покрытия увеличивают пропускание лучей. Однако преломляющие оптические элементы имеют низкую надежность и относительно короткий ресурс эксплуатации из-за низкого порога лазерного разрушения.

Для формирования излучения мощных лазеров (более 1,5...3 кВт) используется металлическая оптика с высоким порогом лазерного разрушения и достаточной надежностью. Например, в качестве зеркал для CO_2 -лазеров в основном используются покрытые медью материалы, охлаждаемые водой. Одной из особенностей применяемых зеркал является небольшие потери на рассеяние в сочетании с высокой долговечностью при соответствующем покрытии. Такие зеркала используются в промышленных системах мощностью до 20 кВт. Однако применение этих систем и компонентов при лазерном воздействии ограничено, поскольку в большинстве случаев невозможно получить требуемые геометрию светового пятна и пространственное распределение плотности мощности в поперечном сечении сфокусированного луча. Контурно-лучевой и масочный методы, в том числе их контактные и проекционные разновидности [24], для получения оптического изображения при лазерной обработке различных объектов используют не часто. Масочный метод формирования лазерного излучения имеет недостаток в том, что большое количество энергии лазерного излучения поглощается непрозрачными частями маски. Этот метод не может обеспечить желательное распределение плотности мощности лазерного излучения по всей зоне обработки. Преимуществом контурно-лучевого метода является более эффективное использование энергии лазерного излучения. Но этот метод не предоставляет оптических средств для создания конкретного распределения плотности мощности лазерного излучения в зоне обработки.

Подобный эффект может быть получен с использованием сканирующих систем или оптических систем с зеркальными гранями для гомогенизации лазерного луча. Зеркала сканатора для работы в динамическом режиме выполняются небольшими и легкими. С целью отклонения лазерного луча и изменения его положения используются гальванометрические вращающиеся зеркала. Затем луч фокусируется с помощью системы оптимизированных линз. При необходимости фокусирующий объектив может быть установлен перед головкой сканатора. Лимитирующим фактором является также то, что диаметр фокального пятна зависит от фокусного расстояния и свойств лазерного излучения, а фокусное расстояние оптической системы определяет размер поля обработки. Для сканирования излучения используются такие методы, как вращение многогранных зеркал или призм, а также высокочастотные колебания зеркал [25, 26]. Механические системы сканирования излучения, которые создают схему нагрева на обработанной поверхности посредством одно- или двухосевого перемещения их компонентов, имеют значительные недостатки. Эти системы предоставляют неравномерное пространственное распределение мощности лазерного излучения на поверхности зоны термического влияния из-за переменной скорости движения луча и имеют низкую надежность из-за наличия механических частей, движущихся с высокими скоростями. Деформируемые сегментные и биморфные фокусирующие зеркала [27, 28] не часто применяют при лазерной обработке материалов вследствие их структурной сложности и снижения надежности с увеличением количества каналов управления и коррекции.

Представленный анализ показывает, что для формирования лазерного излучения разработаны различные оптические системы. Однако не сообщается о сочетании требуемого распределения плотности мощности лазерного излучения желательной формы и концентрации мощности лазерного излучения в зоне обработки с высокой надежностью. Данные функциональные возможности высоконадежных оптических систем в значительной степени определяют

эффективность процессов обработки. Успешная реализация лазерного воздействия возможна только при условии формирования желательного пространственного профиля плотности мощности в требуемой области на поверхности детали. Возможность создания светового пятна в виде рисунка или области с конкретным распределением плотности мощности лазерного излучения предоставляют ДОО [29-31]. Отражающий ДОО обеспечивает поворот лазерного луча, его пространственную фазовую модуляцию и перераспределение его плотности мощности [32-35]. ДОО имеют возможность обеспечить требуемое распределение плотности мощности лазерного излучения с высокой точностью [36-38]. Как следствие, представляется целесообразным использовать такие новые подходы, которые могут учитывать особенности создания заданного конкретного теплового потока через поверхность объекта.

3. Формирование CO₂-лазерного излучения с помощью ДОО для обработки ферритно-мартенситной стали

Излучение CO₂-лазера Oerlikon OPL 2000 формировалось с помощью отражающего ДОО. Лазер с продольной прокачкой и устойчивым резонатором OPL 2000, имеющий свернутую геометрию резонатора и максимальную выходную мощность 1800 Вт, предоставляет возможность работать в импульсном режиме в диапазоне 0...5 кГц и CW. Мода излучения низкого порядка имеет K = 0,45, а диаметр луча составляет 14 мм. При лазерной обработке металлических материалов CO₂-лазер OPL-2000, представленный на рисунке 1, используется вместе с 3-осевой системой позиционирования.



Рисунок 1. CO₂-лазер Oerlikon OPL 2000.

Для формирования луча использовался отражающий ДОО:

$$Z(U, V) = \text{mod}_{m\lambda/(2\cos\theta)} \left(\frac{1}{\cos\theta} \left(\frac{U^2 \cos^2\theta + V^2}{4f} - \frac{L \int_0^{U \cos\theta} dU \int_0^{\sqrt{R^2 - U^2}} \exp\left(-\frac{U^2 + V^2}{r^2}\right) dV}{\pi f(\theta)^*} \right) \right) \quad (1)$$

где $Z(U, V)$ – высота рельефа в точке (U, V) оптического элемента; U, V – координаты точки на отражающем оптическом элементе в системе координат с осью OU , направленной противоположно проекции фокусируемого луча, и началом в центре отражающей поверхности, расположенной в области $G: U^2 \cos^2\theta + V^2 = R^2$; R – максимальный радиус фокусируемого луча; L – длина светового пятна; f – фокусное расстояние оптического элемента; θ – угол между оптической осью и центральной нормалью к поверхности оптического элемента; $\text{mod}(h)_{m\lambda/(2\cos\theta)}$ – функция, равная наименьшему положительному остатку от деления h на $m\lambda/(2\cos\theta)$; λ – длина волны излучения; m – целое число; r – параметр фокусируемого луча гауссовского распределения плотности мощности, в котором плотность мощности на расстоянии r от центра уменьшается в e раз по сравнению с плотностью мощности в центре;

$(9)^*$ – значение двойного интеграла вероятности для фокусируемого луча с гауссовским распределением плотности мощности:

$$(9)^* = \frac{4}{\pi} \iint_G \exp\left[-\frac{(U^2 + V^2)}{r^2}\right] dUdV \quad (2)$$

Оптический элемент имел следующие параметры: $f = 0,2241$ м; $L_0 = 5,6 \cdot 10^{-3}$ м; $R = 2,5 \cdot 10^{-2}$ м; $r = 0,7 R$. На рисунке 2 представлен общий вид ДОЭ в составе специального CO₂-лазерного оборудования для модификации металлических материалов. Использование водяного охлаждения позволяет повысить радиационную стойкость ДОЭ, то есть максимальное значение порога стабильного функционирования при воздействии лазерного излучения, вплоть до значений плотности мощности фокусируемого луча $[q] \geq 10^8$ Вт/м².

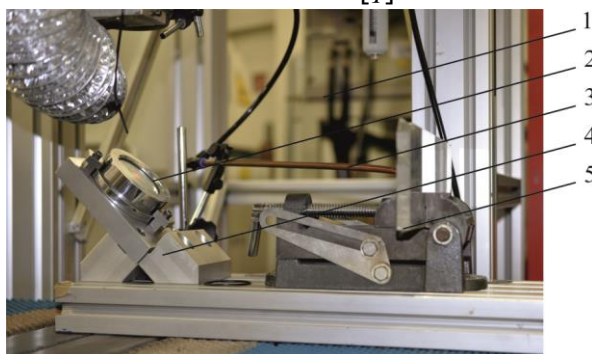


Рисунок 2. Общий вид ДОЭ в составе специального CO₂-лазерного оборудования для модификации металлических материалов: 1 – CO₂ лазер Oerlikon OPL 2000; 2 – ДОЭ в составе устройства, состоящего из блоков юстировки, фиксации и охлаждения оптического элемента; 3 – шланг подачи воздуха; 4 – опорная плита; 5 – средство для измерения распределения плотности мощности лазерного излучения.

Измерено распределение плотности мощности излучения в плоскости, расположенной за фокальной плоскостью ДОЭ на расстоянии 355 мм от плоскости оптического элемента. Максимальная плотность мощности имела место вблизи центра светового пятна размерами $6,5 \times 2,4$ мм и была равна $q_{\max} = 3,5 \cdot 10^7$ Вт/м². На рисунке 3 представлены результаты экспериментальных исследований распределения плотности мощности вдоль оси Oy , а также контур светового пятна. Для применения ДОЭ при модификации металлических материалов необходимо определить требования к юстировке оптического элемента, а также к точности настройки параметров фокусируемого луча. Отклонения распределения плотности мощности и температуры технологических объектов, которое в данном случае является наиболее значимым, не должны превышать допустимых пределов. Распределение плотности мощности вдоль светового пятна, представленное на рисунке 3, соответствует смещению ДОЭ на 3 мм в вертикальном направлении относительно оси фокусируемого луча. На том краю лазерного пятна, к которому смещается проекция центра луча, плотность мощности излучения увеличивается; а на другом – уменьшается. При смещении фокусируемого луча в направлении тех слоев ДОЭ, которые предназначены для работы в условиях экспоненциально низкой плотности мощности излучения, в световом пятне локально увеличивается плотность мощности q_{\max} .

ДОЭ позволяют сформировать заданный профиль плотности мощности лазерного излучения в фокальной плоскости и выполнить преобразование лазерного луча, которое было выбрано ранее на этапе расчета. Использование ДОЭ при лазерной обработке материалов открывает новые возможности для управления свойствами и эксплуатационными характеристиками обрабатываемых деталей. Увеличение плотности мощности излучения на краях светового пятна компенсирует повышенный теплоотвод из периферийных областей зоны термического влияния и позволяет выравнивать максимальные температуры при воздействии на материал движущихся тепловых источников. Дополнительное перераспределение мощности излучения к

краям светового пятна достигается за счет увеличения доли энергии, отраженной периферийными зонами ДОЭ, например, путем увеличения апертуры фокусируемого луча. Для изменения апертуры лазерного луча, фокусируемого с помощью ДОЭ, целесообразно использовать телескопическую систему из двух линз.

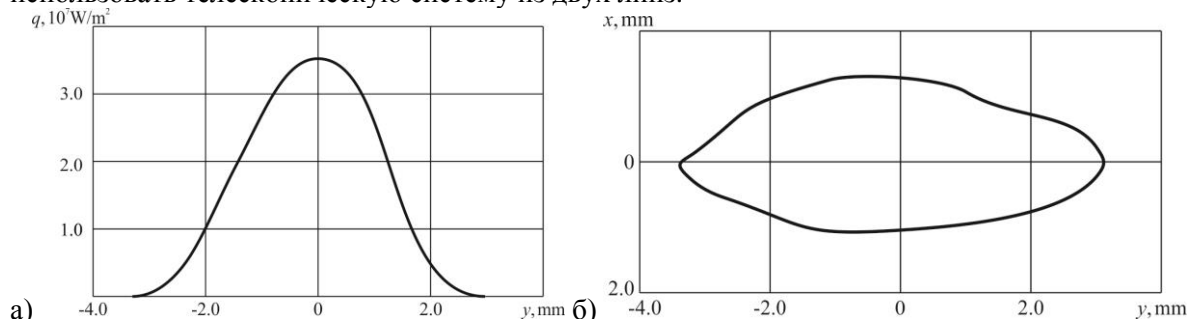


Рисунок 3. Результаты экспериментальных исследований распределения плотности мощности вдоль оси Oy (а) и контур светового пятна (б).

4. Заключение

Выполнено формирование лазерного излучения отражающим ДОЭ в составе специфического CO_2 -лазерного оборудования Oerlikon OPL 2000 для модификации металлических материалов. Измерено распределение плотности мощности излучения в плоскости, расположенной за фокальной плоскостью ДОЭ на расстоянии 355 мм от плоскости оптического элемента. Максимальная плотность мощности имела место вблизи центра светового пятна размерами $6,5 \times 2,4$ мм и была равна $q_{\text{max}} = 3,5 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$.

Установлено, что ДОЭ позволяют сформировать заданный профиль плотности мощности лазерного излучения в фокальной плоскости и выполнить преобразование лазерного луча, выбранное ранее на этапе расчета. Использование ДОЭ при лазерной обработке материалов открывает новые возможности для управления свойствами и эксплуатационными характеристиками обрабатываемых деталей. Дополнительное перераспределение мощности излучения к краям светового пятна достигается за счет увеличения доли энергии, отраженной периферийными зонами ДОЭ, например, путем увеличения апертуры фокусируемого луча. Для изменения апертуры лазерного луча, фокусируемого с помощью ДОЭ, целесообразно использовать телескопическую систему из двух линз.

5. Литература

- [1] Lawrence, J. Advances in laser materials processing technology: technology, research and application / J. Lawrence, J. Pou, D.K.Y. Low, E. Toyserkani // edited by E. Toyserkani. – Cambridge, UK: Woodhead Publishing / CRC Press. – 2010. – 880 p.
- [2] Ion, J.C. Laser processing of engineering materials: principles, procedure and industrial application / J.C. Ion. – Amsterdam/Oxford. Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2005. – 576 p.
- [3] Laser processing of materials: fundamentals, applications and developments / edited by P. Schaaf. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. – 241 p.
- [4] Ready J.F. LIA handbook of laser materials processing / J.F. Ready, D.F. Farson // edited. by D.F. Farson. – Orlando, US: Laser Institute of America. – 2001. – 715 p.
- [5] Dahotre, N.B. Laser fabrication and machining of materials / N.B. Dahotre, S.P. Harimkar. – New York. US: Springer Science + Business Media, 2008. – 558 p.
- [6] Steen, W.M Laser material processing, 4th ed. / W.M. Steen, J. Mazumder. – London. UK: Springer, 2010. – 558 p.
- [7] Al-Abbasi, F.M. Characterizing DP-steels using micromechanical modeling of cells / F.M. Al-Abbasi, J.A. Nemes // Computational Materials Science. – 2007. – Vol. 39(2). – P. 402-415.
- [8] Amirmaleki, M. 3D micromechanical modeling of dual phase steels using the representative volume element method / M. Amirmaleki, J. Samei, D.E. Green, I. van Riemsdijk, L. Stewart // Mechanics of Materials. – 2016. – Vol. 101. – P. 27-39.

- [9] Huang, T.T. Strain-hardening behaviors of dual phase steels with microstructure features / T.T. Huang, R.B. Gou, W.J. Dan, W.G. Zhang // *Mat. Sci. Eng. A-Struct.* – 2016. – Vol. 672. – P. 88-97.
- [10] Kazanskiy, N.L. Computer-aided design of diffractive optical elements / N.L. Kazanskiy, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer // *Opt. Eng.* – 1994. – Vol. 33(10). – P. 3156-3166.
- [11] DOE for focusing the laser light. In book: Soifer VA, ed. *Methods for computer design of diffractive optical elements* / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer. – New York: John Wiley & Sons Inc. – 2002. – 896 p.
- [12] Doskolovich, L.L. Design of DOEs for wavelength division and focusing / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, P. Perlo, P. Repetto // *J. Mod. Opt.* – 2005. – Vol. 52(6). – P. 917-926.
- [13] Hilton, P.A. Use of a diffractive optic for high power laser cutting / P.A. Hilton, D. Lloyd, J.R. Tyrer // *Journal of Laser Applications.* – 2016. – Vol. 28. – P. 012014.
- [14] Abul'khanov, S.R. Technological applications of focusing optical elements / S.R. Abul'khanov // *Proc. SPIE.* – 2014. – Vol. 9533. – P. 95330B.
- [15] Grewell, D. Diffractive optics as beam-shaping elements for plastics laser welding / D. Grewell, A. Benatar // *Opt. Eng.* – 2007. – Vol. 46(11). – P. 118001.
- [16] Doskolovich, L.L. Focusators for laser-branding / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, G.V. Usplenjev // *Opt. Laser. Eng.* – 1991. – Vol. 15(5). – P. 311-322.
- [17] Kazanskiy, N.L. Binary beam splitter / N.L. Kazanskiy, R.V. Skidanov // *Applied Optics.* – 2012. – Vol. 51(14). – P. 2672-2677.
- [18] Doskolovich, L.L. Computation of light field eikonal to focus into a set of points / L.L. Doskolovich, M.A. Moiseev, E.V. Byzov, S.V. Kravchenko // *Computer Optics.* – 2014. – Vol. 38(3). – P. 443-448.
- [19] Kazanskiy, N.L. Formation of the laser radiation to create nanoscale porous materials structures / N.L. Kazanskiy, S.P. Murzin, A.V. Mezhenin, E.L. Osetrov // *Computer Optics.* – 2008. – Vol. 32(3). – P. 246-248.
- [20] Murzin, S.P. Local laser annealing for aluminium alloy parts / S.P. Murzin // *Laser Eng.* – 2016. – Vol. 33(1-3). – P. 67-76.
- [21] Murzin, S.P. Formation of nanoporous structures in metallic materials by pulse-periodic laser treatment / S.P. Murzin // *Opt. Laser Technol.* – 2015. – Vol. 72. – P. 48-52.
- [22] *Laser beam shaping: theory and techniques* / F.M. Dickey, S.C. Holswade // edited by S.C. Holswade. – New York, US; Basel, CH: Marcel Dekker. – 2000. – 428 p.
- [23] Kannatey-Asibu, E. Jr. *Principles of laser materials processing* / E. Jr. Kannatey-Asibu. – Hoboken, New Jersey. US: John Wiley & Sons, 2009. – 819 p.
- [24] *Metev, S.M. Laser-assisted microtechnology* / S.M. Metev, V.P. Veiko // edited by R.M. Osgood. – Berlin Heidelberg, DE: Springer-Verlag, 1998. – 719 p.
- [25] *Gladush, G.G. Physics of laser materials processing: theory and experiment* / G.G. Gladush, I. Smurov // Berlin Heidelberg, DE: Springer-Verlag, 2011. – 534 p.
- [26] Kim, J.D. Wide band laser heat treatment using pyramid polygon mirror / J.D. Kim, J.K. Jung, B.C. Jeon, C.D. Cho // *Opt. Laser. Eng.* – 2001. – Vol. 35(5). – P. 285-297.
- [27] Aleksandrov, A.A. An adaptive optical system for controlling laser radiation / A.A. Aleksandrov, A.V. Kudryashov, A.L. Rukosuev, T.Y. Cherezova, Y.V. Sheldakova // *J. Opt. Technol.* – 2007. – Vol. 74(8). – P. 550-554.
- [28] Vdovin, G. Deformable mirror with thermal actuators / G. Vdovin, M. Loktev // *Opt. Lett.* – 2002. – Vol. 27(9). – P. 677-679.
- [29] Volkov, A.V. A method for the diffractive microrelief forming using the layered photoresist growth / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Ju. Moiseev, V.A. Soifer // *Opt. Laser. Eng.* – 1998. – Vol. 29(4-5). – P. 281-288.
- [30] Pavelyev, V.S. Formation of diffractive microrelief on diamond film surface / V.S. Pavelyev, S.A. Borodin, N.L. Kazanskiy, G.F. Kostyuk, A.V. Volkov // *Opt. Laser Technol.* – 2007. – Vol. 39(6). – P. 1234-1238.

- [31] Kazanskiy, N.L. Research & education center of diffractive optics / N.L. Kazanskiy // Proceedings of SPIE. – 2012. – Vol. 8410. – P. 84100R.
- [32] Murzin, S.P. Formation of structures in materials by laser treatment to enhance the performance characteristics of aircraft engine parts / S.P. Murzin // Computer Optics. – 2016. – Vol. 40(3). – P. 353-359. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-3- 353-359.
- [33] Murzin, S.P. Laser beam shaping for modification of materials with ferritic-martensitic structure / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy, G. Liedl, A. Otto, R. Bielak // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 201. – P. 164-168.
- [34] Murzin, S.P. Redistribution of the laser beam power using diffractive optical elements / S.P. Murzin, G. Liedl, R. Bielak // Proc. SPIE. – 2017. – Vol. 10342. – P. 103420G.
- [35] Murzin, S.P. The research of intensification's expedients for nanoporous structures formation in metal materials by the selective laser sublimation of alloy's components / S.P. Murzin // Computer Optics. – 2011. – Vol. 35(2). – P. 175-179.
- [36] Murzin, S.P. A study of vibration characteristics and determination of the conditions of nanopores formation in metallic materials during laser action / S.P. Murzin, E.V. Shakhmatov, A.A. Igolkin, L.F. Musaakhunova // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 106. – P. 266-271.
- [37] Murzin, S.P. Thermocycling with pulse-periodic laser action for formation of nanoporous structure in metal material / S.P. Murzin, V.I. Tregub, E.V. Shokova, N.V. Tregub // Computer Optics. – 2013. – Vol. 37(1). – P. 99-104.
- [38] Murzin, S.P. Influence of conditions of the samples fixation on the intensity of the nanoporous structure formation in the metallic material by laser action with thermocycling / S.P. Murzin, A.N. Kryuchkov // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 106. – P. 272-276.

Благодарности

Исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований, проект 18-58-14001. Австрийский научный фонд (FWF): номер проекта I 3920.

Testing of diffractive optical element as part of specific CO₂ laser equipment for metallic materials modification

S.P. Murzin^{1,2}, N.L. Kazanskiy^{1,3}, G. Liedl², G. Humenberger²

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

²Vienna University of Technology, Getreidemarkt 9, Vienna, Austria, 1060

³Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

Abstract. Testing of a reflective diffractive optical element (DOE) as part of specific CO₂ laser equipment Oerlikon OPL 2000 for metallic materials modification was performed. The power density distribution in a plane located behind the DOE focal plane has been measured. It was found that DOEs make it possible to form a predetermined beam power density profile and to perform the transformation of laser energy, chosen by calculation previously. The use of these optical elements in the laser material treatment reveals new possibilities for controlling properties and operational characteristics of processed components. Additional redistribution of the beam power to edges of the laser spot is achieved by increasing the proportion of energy reflected by DOE peripheral zones, for example, by increasing the aperture of the focused beam. It is proposed using a telescopic system of two lenses to change the aperture of the laser beam focusable by the DOE.