

## РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОПОРИСТЫХ СТРУКТУР МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ СЕЛЕКТИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СУБЛИМАЦИЕЙ КОМПОНЕНТОВ СПЛАВОВ

Мурзин С.П.

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

### Аннотация

Разработаны способы интенсификации формирования нанопористых структур металлических материалов селективной лазерной сублимацией компонентов сплавов. Проведена обработка образцов из медно-цинкового сплава Л62 лазерным воздействием с высокой частотой следования импульсов. Обработка проводилась в вакууме, к образцам с поверхностью, полученной механическим полированием, были приложены внешние растягивающие напряжения. В результате лазерного воздействия в вакууме в латуни Л62 формируется нанопористая структура толщиной до 0,1 мм. Поры равномерно распределены внутри субзерна, имеют достаточно стабильные размеры и форму. На границе субзерен формируются нанопоры канального типа шириной ~100 нм, которые образуют пористую сеть.

**Ключевые слова:** интенсификация, структура нанопористая, материал металлический, воздействие лазерное, сублимация селективная.

### Введение

Воздействие лазерного излучения с высокой частотой следования импульсов предоставляет возможность создать в приповерхностном слое двухкомпонентных сплавов типа твёрдый раствор структуру со средним размером нанопор 30...60 нм [1 - 3]. Основным механизмом образования нанопористой структуры является сублимация компонента сплава с более высокой упругостью паров. В материале создаётся градиент концентраций, в дальнейшем данный компонент сублимирует в той мере, в какой обеспечивается его диффузия к поверхности. Условием для интенсификации массопереноса в твёрдой фазе металлических материалов является нестационарная локальная деформация, вызываемая высокоэнергетическим внешним воздействием [4, 5]. При подводе энергии лазерного излучения обеспечивается локальность физических процессов по глубине и площади при сохранении исходных свойств материала в остальном объёме, а применение специальных оптических систем на основе фокусаторов излучения [6 - 11] позволяет избирательно проводить обработку областей необходимой геометрии [12 - 15]. Для повышения стабильности свойств и увеличения толщины получаемого нанопористого слоя более 45...50 мкм целесообразно разработать способы интенсификации формирования нанопористых структур металлических материалов селективной лазерной сублимацией.

Целью работы является разработка способов интенсификации формирования нанопористых структур металлических материалов селективной лазерной сублимацией компонентов сплавов.

### 1. Определение влияния типа внешней газовой среды на интенсивность процессов селективной сублимации

При проведении исследований в качестве модельного материала выбран двухкомпонентный сплав Л62, содержащий 38% Zn и 62% Cu. Для осуществления энергетического воздействия использовался газовый CO<sub>2</sub>-лазер ROFIN DC 010, выходная мощность которого имеет возможность плавного регулирования в

пределах 100...1000 Вт, а исходный диаметр пучка с гауссовским распределением интенсивности составляет 20 мм. Контроль температуры в зоне нагрева осуществлялся с помощью инфракрасного термометра «Кельвин-1300 ЛЦМ», имеющего диапазон измерения температур 300...1300° С. Исследовалось влияние типа внешней газовой среды – окислительной (воздух), нейтральной (аргон) и вакуума на интенсивность процессов селективной сублимации.

Установлено, что лазерное воздействие с высокой частотой следования импульсов позволяет формировать структуру, содержащую наноразмерные поры в приповерхностном слое двухкомпонентного сплава типа твёрдый раствор, как в нейтральной газовой среде, так и на воздухе. Однако при лазерной обработке на воздухе подвод тепловой энергии лимитируется достаточно низкой температурой начала интенсивного окисления поверхности металлических материалов. Это не позволяет в достаточной степени повысить термически активируемую диффузию компонента с высокой упругостью паров для существенной интенсификации процессов селективной лазерной сублимации. Образование достаточно сплошных и труднопроницаемых в диффузионном отношении оксидов приводит к торможению и подавлению процессов сублимации. Например, латуни при повышенных температурах не только окисляются с поверхности, но и образуют зону внутреннего окисления из-за диффузии кислорода внутрь образца. Реагируя со свободным и связанным кислородом, который содержится в парах воды и углекислом газе, пары цинка превращаются в распылённый оксид, который осаждается на холодных поверхностях в виде дисперсного порошка белого цвета. На поверхности латуни уже при температуре  $T \cong 300^\circ \text{C}$  образуется оксидная плёнка лимонно-жёлтого цвета, которая с повышением температуры переходит в белесовато-серую, характерную для оксида цинка, состоящую из кристаллов вытянутой игольчатой формы. С увеличением температуры и продолжительности нагрева при лазерной обработке на воздухе на поверхности латуни происходит образование также оксидов меди. Если температуры нагрева ниже  $375^\circ \text{C}$ , образуется CuO, а в интервале температур

375...1100° С при неполном окислении меди – двухслойная окалина, в поверхностном слое которой находится  $\text{CuO}$  чёрного цвета, а во внутреннем –  $\text{Cu}_2\text{O}$  тёмно-красного цвета. При окислении металлических материалов сначала происходит образование тонкой оксидной плёнки, затем её утолщение.

Для определения влияния нейтральной газовой среды на интенсивность процессов селективной сублимации осуществлялась длительная изотермическая выдержка металлического материала с использованием установки индукционного нагрева. В нейтральной газовой среде, в качестве которой применён аргон, окислительные процессы подавляются. Отсутствие оксидной плёнки облегчает сублимацию компонента сплава с более высокой упругостью паров (цинка в латуни), поэтому при нагреве латуни до  $T = 550^\circ \text{C}$  наблюдается некоторая потеря массы металлического сплава – до 3 мг/(мм<sup>2</sup>ч). Наличие над металлическим материалом относительно плотной газовой среды значительно уменьшает скорость сублимации. Кроме того, тормозящее действие на сублимацию могут оказывать адсорбированные поверхности газы. При изотермической выдержке в среде аргона при температуре  $T = 450^\circ \text{C}$  в течение 42 часов потери массы образцов из сплава Л62 не наблюдалось, сохранялась жёлтая блестящая поверхность образцов. Следует отметить, что при лазерном воздействии с высокой частотой следования импульсов сублимация цинка из латуни наблюдается и при температуре  $T < 450^\circ \text{C}$ .

При пониженном давлении сублимация нагретого материала происходит интенсивней, начиная с меньших температур. Так, изотермическая выдержка латуни Л62 в вакууме при температуре  $T = 450^\circ \text{C}$  в течение 16 часов приводит к образованию пористого слоя толщиной 15...20 мкм. Т.е. понижение давления газа окружающей атмосферы приводит к интенсификации сублимационных процессов. Их максимальная скорость наблюдается при обработке металлических материалов в вакууме.

## **2. Определение влияния внешних растягивающих напряжений и предварительной пластической деформации на скорость сублимации и интенсивность порообразования**

Определено влияние приложенных внешних растягивающих напряжений при изотермической выдержке в вакууме на скорость сублимации цинка из сплава Л62. Установлено, что процесс сублимации компонента с более высокой упругостью паров ускоряется в условиях приложенных растягивающих напряжений, что объясняется увеличением скорости диффузии. В условиях приложенных растягивающих напряжений величиной  $\sigma_p = 50 \text{ МПа}$  при температуре выдержки в вакууме  $T = 450^\circ \text{C}$  в течение 16 часов количество сублимировавшего вещества с образца примерно в 1,7 раз больше, чем при отсутствии напряжений. В образцах из медно-цинкового сплава, подвергаемых действию напряжений, характер образования и развития пор несколько иной, чем у образцов, к которым напряжения не прикладывались. На поверхности образуется ямка, из которой интенсивно испаряется цинк. Увеличение времени высокотемпе-

ратурной выдержки приводит в результате слияния пор к появлению на границах зёрен большого числа мелких каналов, которые, соединяясь, образуют тоннельные поры, распространяющиеся внутрь образца на достаточно значительную глубину.

Поскольку в медно-цинковом сплаве образование пор наблюдается главным образом в поверхностной зоне, проведено сравнительное исследование характера сублимации компонента с высокой упругостью паров и порообразования на поверхности деформированного образца и поверхности, свободной от напряжения и деформации. Для этой цели на одном образце из сплава Л62 электролитическим полированием снимали поверхностный наклёпаный слой толщиной 5...20 мкм. Другой образец имел поверхность, деформированную в результате механического полирования. Установлено, что электролитическое полирование снижает скорость сублимации и порообразования. При нагреве до температуры  $T = 450^\circ \text{C}$  скорость сублимации уменьшается приблизительно в 2,5 раза. Количество пор в электрополированных образцах значительно меньше, располагаются они в основном по границам зёрен. Некоторые поры, соединяясь, образуют сплошные каналы. Под влиянием предварительной пластической деформации в медно-цинковом сплаве возрастают скорость сублимации и интенсивность порообразования. В процессе изотермической выдержки в вакууме при повышенных температурах количество и размер образующихся пор тем больше, чем больше степень предварительной пластической деформации. Это предоставляет возможность получения упорядоченных (наперёд заданных) структур нанопористых металлических материалов.

## **3. Разработка способов интенсификации формирования нанопористых структур металлических материалов**

На основе проведённых исследований разработаны способы интенсификации формирования нанопористых структур металлических материалов селективной лазерной сублимацией компонентов сплавов. Проведена обработка образцов из медно-цинкового сплава Л62 лазерным воздействием с высокой частотой следования импульсов. Обработка проводилась в вакууме ( $5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ ), к образцам с поверхностью, полученной механическим полированием, были приложены внешние растягивающие напряжения  $\sigma_p = 50 \text{ МПа}$ .

Для проведения анализа элементного состава поверхности образцов использовался растровый электронный микроскоп VEGA\ SB, Tescan с аналитической приставкой – системой электронно-зондового энергодисперсионного микроанализа INCA Energy SEM, Oxford Instruments. На рис. 1 представлен рентгеновский спектр, полученный с образца из латуни Л62 после лазерного воздействия. Режим обработки: все элементы (нормализованный); количество итераций – 3. При анализе рентгеновского спектра использовались эталоны: кислорода ( $\text{SiO}_2$ ); меди; цинка. Результаты анализа элементного состава поверхности образца после лазерного воздействия в пересчёте на компактный материал приведены в табл. 1.

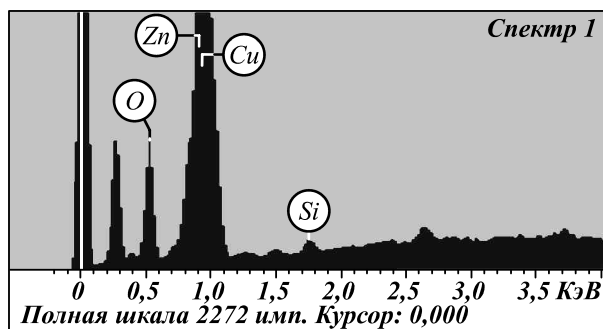


Рис. 1. Рентгеновский спектр, полученный с образца из латуни Л62 после лазерного воздействия с высокой частотой следования импульсов

Таблица 1. Результаты анализа элементного состава материала образца из латуни Л62 после лазерного воздействия в пересчёте на компактный материал

Элемент	Весовой %	Атомарный %
Cu	91,9	91,8
Zn	7,6	7,4
Прочее	0,5	0,8

Анализ элементного состава поверхности образца из двухкомпонентного металлического сплава типа твёрдый раствор системы Cu-Zn латуни Л62 после лазерного воздействия с высокой частотой следования импульсов показал увеличение относительного содержания меди до 91,9 % и снижение доли цинка до 7,6 %.

В результате морфологического исследования методом электронной растровой микроскопии выявлено, что в результате лазерного воздействия в вакууме в латуни Л62 формируется нанопористая структура толщиной до 0,1 мм. Поры равномерно распределены внутри субзерна, имеют достаточно стабильные размеры и форму. Внутри блока формируется структура, содержащая достаточно равномерно распределённые нанопоры различных форм: от имеющей неровности в виде выступов и впадин овальной до неправильной. На границе субзерен формируются нанопоры канального типа шириной ~100 нм, представленные на рис. 2, которые образуют пористую сеть. Подобное структурирование металлических материалов имеет перспективы при создании оптоэлектронных устройств и высокочувствительных сенсоров.

### Заключение

Лазерное воздействие с высокой частотой следования импульсов позволяет формировать структуру, содержащую наноразмерные поры в приповерхностном слое двухкомпонентного сплава типа твёрдый раствор, как в нейтральной газовой среде, так и на воздухе. Однако при лазерной обработке на воздухе подвод тепловой энергии лимитируется достаточно низкой температурой начала интенсивного окисления поверхности металлических материалов. Образование достаточно сплошных и труднопроницаемых в диффузионном отношении оксидов приводит к торможению и подавлению процессов сублимации. Это не позволяет в достаточной степени повысить термически активируемую диффузию компонента с высокой упругостью паров для существенной интенсификации процессов селективной лазерной сублимации. В нейтральной газовой

среде окислительные процессы подавляются. Но наличие над металлическим материалом относительно плотной газовой среды значительно уменьшает скорость сублимации. Понижение давления газа окружающей атмосферы приводит к интенсификации сублимационных процессов. Их максимальная скорость наблюдается при обработке металлических материалов в вакууме.



Рис. 2. Нанопоры канального типа шириной ~100 нм, формирующиеся на границе субзерен в латуни Л62 при лазерном воздействии в вакууме; увеличение  $\times 44980$

Установлено, что процесс сублимации компонента с более высокой упругостью паров ускоряется в условиях приложенных растягивающих напряжений, что объясняется увеличением скорости диффузии. В образцах из медно-цинкового сплава, подвергаемых действию напряжений, увеличение времени высокотемпературной выдержки приводит в результате слияния пор к появлению на границах зёрен большого числа мелких каналов, которые, соединяясь, образуют тоннельные поры, распространяющиеся внутри образца на достаточно значительную глубину. Электролитическое полирование снижает скорость сублимации и порообразования. В исследуемом диапазоне температур изотермической выдержки скорость сублимации с поверхности латуни, свободной от напряжения и деформации, уменьшается приблизительно в 2,5 раза. В процессе изотермической выдержки в вакууме при повышенных температурах количество и размер образующихся пор тем больше, чем больше степень предварительной пластической деформации. Это предоставляет возможность получения упорядоченных (наперёд заданных) структур нанопористых металлических материалов.

На основе проведённых исследований разработаны способы интенсификации формирования нанопористых структур металлических материалов селективной лазерной сублимацией компонентов сплавов. Проведена обработка образцов из медно-цинкового сплава Л62 лазерным воздействием с высокой частотой следования

импульсов. Обработка проводилась в вакууме, к образцам с поверхностью, полученной механическим полированием, были приложены внешние растягивающие напряжения. Анализ элементного состава поверхности образца из двухкомпонентного металлического сплава типа твёрдый раствор системы Cu-Zn латуни Л62 после лазерного воздействия с высокой частотой следования импульсов показал увеличение относительного содержания меди до 91,9% и снижение доли цинка до 7,6%. В результате лазерного воздействия в вакууме в латуни Л62 формируется нанопористая структура толщиной до 0,1 мм. Поры равномерно распределены внутри субзерна, имеют достаточно стабильные размеры и форму. На границе субзерен формируются нанопоры канального типа шириной ~100 нм, которые образуют пористую сеть. Подобное структурирование металлических материалов имеет перспективы при создании оптоэлектронных устройств и высокочувствительных сенсоров [16-18].

### *Благодарности*

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

### *Литература*

1. **Мурзин, С.П.** Формирование наноразмерных пористых структур твёрдокристаллических материалов при воздействии лазерного излучения / С.П. Мурзин, В.И. Трегуб, А.В. Меженин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2008. – Т. 10, № 3. – С. 772-774.
2. **Мурзин, С.П.** Лазерное наноструктурирование металлических материалов с применением подвижных фокусаторов 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 Российской академии наук. – 2009. – Т. 11, № 5 – С. 102-105.
4. **Миронов, В.М.** Взаимосвязь импульсных деформаций и массопереноса в металлах / В.М. Миронов, О.А. Миронова, Л.А. Митлина, Д.С. Герцирикен, А.И. Игнатенко // Физика и химия обработки материалов, 2006. – №4. – С.77-83.
5. **Мурзин, С.П.** Формирование нанопористых структур металлических материалов циклическим упруго-пластическим деформированием при лазерном воздействии / С.П. Мурзин, В.И. Трегуб, Е.Л. Осетров, А.М. Никифоров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 4. – С. 182-185.
6. Методы компьютерной оптики. / под ред. В.А. Сойфера. 2 изд., исправл.– М.: Физматлит, 2003. – 688 с.
7. **Golub, M.A.** Infra-red radiation focusators / M.A. Golub, I.N. Sisakian, V.A. Soifer // Optics and Lasers in Engineering. – 1991. – V. 15, N 5. – P. 297-309.
8. **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. – V. 15, N 5. – P. 311-322.
9. **Duparre, M.** Investigation of computer-generated diffractive beam shapers for flattening of single-modal CO<sub>2</sub> laser beams / M. Duparre, M.A. Golub, B. Ludge, V.S. Pavelyev, V.A. Soifer, G.V. Uspleniev, S.G. Volotovskiy // Applied Optics. – 1995. – V. 34, N 14. – P. 2489-2497.
10. **Doskolovich, L.L.** A method of designing diffractive optical elements focusing into plane areas / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, V.A. Soifer // Journal of Modern Optics. – 1996. – V. 43, N 7. – P. 1423-1433.
11. **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. – V. 29, N 4-5. – P. 281-288.
12. **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.
13. **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.
14. **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.
15. **Казанский, Н.Л.** Оптическая система для проведения селективной лазерной сублимации компонентов металлических сплавов/ Н.Л. Казанский, С.П. Мурзин, В.И. Трегуб // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, № 4. – С. 481-486.
16. **Sarac, M.F.** Surface dezincification and selective oxidation induced heterogeneous semiconductor nanowire/nanofilm network junctions / M.F. Sarac, P. Shimpi, J.A. Mackey, D.S. Kim, P.-X. Gao // Crystal Growth & Design. – 2010. – V. 10, N 9. – P. 3948-3948.
17. **Tiemann, M.** Porous metal oxides as gas sensors / M. Tiemann // Chemistry – A European journal. – 2007. – V. 13, N 30. – P. 8376-8388.
18. **Mridha, S.** Investigation of p-CuO/n-ZnO thin film heterojunction for H<sub>2</sub> gas-sensor applications / S. Mridha, D. Basak // Semiconductor Science and Technology. – 2006. – V. 21, N 7. – P. 928-932

### *References*

1. **Murzin, S.P.** Nanoporous structures formation of firm crystal materials by action of laser radiation / S.P. Murzin, V.I. Tregub, A.V. Mezhenin // Proceedings of Samara Science Center RAS. – 2008. – V. 10, N 3. – P. 772-774. – ISSN 1990-5378. – (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. – V. 32, N 4. – P. 353-356. – ISSN 0134-2452. – (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 // Proceedings of Samara Science Center RAS. – 2009. – V. 11, N 5. – P. 102-105. – ISSN 1990-5378. – (in Russian).
4. **Mironov, V.M.** Relationship of pulse deformation and mass transport in metals / V.M. Mironov, O.A. Mironova, L.A. Mitlina, D.S. Gercricen, A.I. Ignatenko // Physics and chemistry of materials processing. – 2006. – N 4. – P. 77-83. – ISSN 0015-3214. – (in Russian).
5. **Murzin, S.P.** Nanoporous structure formation in metal materials by cyclic plasto-elastic deformation with laser action / S.P. Murzin, V.I. Tregub, E.L. Osetrov, A.M. Nikiforov // Proceedings of Samara Science Center RAS. – 2010. – V. 12, N 4. – P. 182-185. – ISSN 1990-5378. – (in Russian).
6. Methods of Computer Optics (Secondary Edition) / edited by V.A. Soifer – Moscow: “Fizmatlit” Publisher, 2003. – 688 c. – (in Russian).

7. **Golub, M.A.** Infra-red radiation focusators / M.A. Golub, I.N. Sisakian, V.A. Soifer // Optics and Lasers in Engineering. – 1991. – V. 15, N 5. – P. 297-309. – ISSN 0143-8166.
8. **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. – V. 15, N 5. – P. 311-322. – ISSN 0143-8166.
9. **Duparre, M.** Investigation of computer-generated diffractive beam shapers for flattening of single-modal CO<sub>2</sub> laser beams / M. Duparre, M.A. Golub, B. Ludge, V.S. Pavelyev, V.A. Soifer, G.V. Uspleniev, S.G. Volotovskiy // Applied Optics. – 1995. – V. 34, N 14. – P. 2489-2497. – ISSN 0003-6935.
10. **Doskolovich, L.L.** A method of designing diffractive optical elements focusing into plane areas / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, V.A. Soifer // Journal of Modern Optics. – 1996. – V. 43, N 7. – P. 1423-1433. – ISSN 0950-0340.
11. **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. – V. 29, N 4-5. – P. 281-288. – ISSN 0143-8166.
12. **Kazanskiy, N.L.** Application of radiation focusers for nanoporous crystalline materials structure formation / N.L. Kazanskiy, S.P. Murzin, V.I. Tregub, A.V. Mezhenin // Computer Optics. – 2007. – V. 31, N 2. – P. 48-51. – ISSN 0134-2452. – (in Russian).
13. **Kazanskiy, N.L.** Formation of laser radiation for a creation of nanoporous materials / N.L. Kazanskiy, S.P. Murzin, A.V. Mezhenin, E.L. Osetrov // Computer optics. – 2008. – V. 32, N 3. – P. 246-248. – ISSN 0134-2452. – (in Russian).
14. **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. – V. 34, N 2. – P. 219-224. – ISSN 0134-2452. – (in Russian).
15. **Kazanskiy, N.L.** Optical system for realization selective laser sublimation of metal alloys components / N.L. Kazanskiy, S.P. Murzin, V.I. Tregub // Computer Optics. – 2010. – V. 34, N 4. – P. 481-486. – ISSN 0134-2452. – (in Russian).
16. **Sarac, M.F.** Surface dezincification and selective oxidation induced heterogeneous semiconductor nanowire/nanofilm network junctions / M.F. Sarac, P. Shimpi, J.A. Mackey, D.S. Kim, P.-X. Gao // Crystal Growth & Design. – 2010. – V. 10, N 9. – P. 3948-3948. – ISSN 1528-7483.
17. **Tiemann, M.** Porous metal oxides as gas sensors / M. Tiemann // Chemistry – A European journal. – 2007. – V. 13, N 30. – P. 8376-8388. – ISSN 0947-6539.
18. **Mridha, S.** Investigation of p-CuO/n-ZnO thin film heterojunction for H<sub>2</sub> gas-sensor applications / S. Mridha, D. Basak // Semiconductor Science and Technology. – 2006. – V. 21, N 7. – P. 928-932. – ISSN 0268-1242.

## 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

S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University)

### Abstract

Intensification's expedients for nanoporous structures formation in metal materials by selective laser sublimation of alloy's components are researched. Processing of copper-zinc alloy L62 specimens by laser action with high impulse frequency is spent. Processing is spent in vacuum, the external stretching pressure have been enclosed to specimens with a surface received by mechanical polishing. The nanoporous structure with thickness up to 0.1 mm in brass L62 is formed as a result of laser action in vacuum. Pores are regularly distributed in the subgrain and sufficiently stable in sizes and form. Channel-type nanopores with width ~ 100 nanometers are formed on the border of subgrains, forming a porous network.

Key words: intensification, nanoporous structure, metal material, laser action, selective sublimation.

### Сведения об авторе



**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](mailto:murzin@ssau.ru).

**Sergei 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 Technique (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.

Поступила в редакцию 31 марта 2011 г.