

УДК 535 (075)

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАНОПОРИСТЫХ СТРУКТУР МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

©2012 С.П. Мурзин, Н.В. Трегуб, А.М. Никифоров

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 25.04.2012

Реализованы режимы лазерного воздействия для формирования нанопористой структуры в сплаве системы Cu-Zn. Лазерное воздействие импульсно-периодическим излучением с частотой следования импульсов до  $(4...5) \cdot 10^3$  Гц при достижении определенной температуры, не превышающей температуру плавления, позволяет формировать устойчивое напряженное состояние на поверхности образцов. Предлагаемая запатентованная технология является перспективной для производства катализаторов и ультрафильтрационных мембран.

Ключевые слова: материал металлический, воздействие, лазер, фокусатор, структура нанопористая, ультрафильтрация

### ВВЕДЕНИЕ

Нанопористые материалы находят применение при фильтрации газов и жидкостей в медицине, атомной энергетике, микробиологической, пищевой и других отраслях промышленности [1-4]. Наиболее широкое распространение получили мембранные из нанопористых материалов на основе полимеров, стекла, керамики и графита. По сравнению с перечисленными материалами металлические обладают улучшенными технологическими и физико-механическими свойствами: механической прочностью, термостойкостью, имеют длительный срок службы, очищаются обратным током жидкости и прокаливанием. В настоящей работе мы реализовали режимы лазерного воздействия, предоставляющие возможность формирования нанопористых структур в сплаве системы Cu-Zn.

### СОЗДАНИЕ НАНОПОРИСТЫХ СТРУКТУР МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Проведены экспериментальные исследования по выявлению особенностей формирования структур сплава системы Cu-Zn при воздействии на его поверхность высокоинтенсивных энергетических потоков. В качестве модельного сплава системы Cu-Zn выбран двухкомпонентный сплав латунь L62, содержащий 60,5...63,5 %

Cu, особенностью которого является значительная концентрация компонента, имеющего более высокую упругость пара (Zn). Важным преимуществом использования данного сплава в качестве модельного при проведении экспериментальных исследований является то, что снижение концентрации цинка в поверхностном слое можно наблюдать визуально, т.к. латунь меняет свой цвет с исходного желтого на красный.

Энергетическое воздействие осуществлялось газовым CO<sub>2</sub>-лазера ROFIN DC 010, с выходной мощностью от 100 до 1000 Вт, диаметр выходного пучка 20 мм. Исходное излучение было преобразовано с помощью дифракционных оптических элементов (ДОЭ), имеющих форму рабочей поверхностью в виде гиперболического параболоида. Такие оптические элементы выполняют необходимую фокусировку лазерного излучения [5-9 и др.]. Контроль температуры в зоне нагрева осуществлялся с помощью бесконтактного пирометра «Кельвин-1300 ЛЦМ», имеющего диапазон измерения температур 600...1600 К.

Осуществлены режимы лазерного воздействия, предоставляющие возможность формирования нанопористых структур в сплаве системы Cu-Zn [10-14]. Лазерное воздействие импульсно-периодическим излучением с частотой следования импульсов до  $(4...5) \cdot 10^3$  Гц при достижении определенной температуры, не превышающей температуру плавления, позволяет формировать устойчивое напряженное состояние на поверхности образцов. Предполагается, что основным механизмом образования нанопористой структуры является сублимация компонента сплава с более высокой упругостью паров (Zn). В материале создается градиент концентраций, и в дальнейшем данный компонент суб-

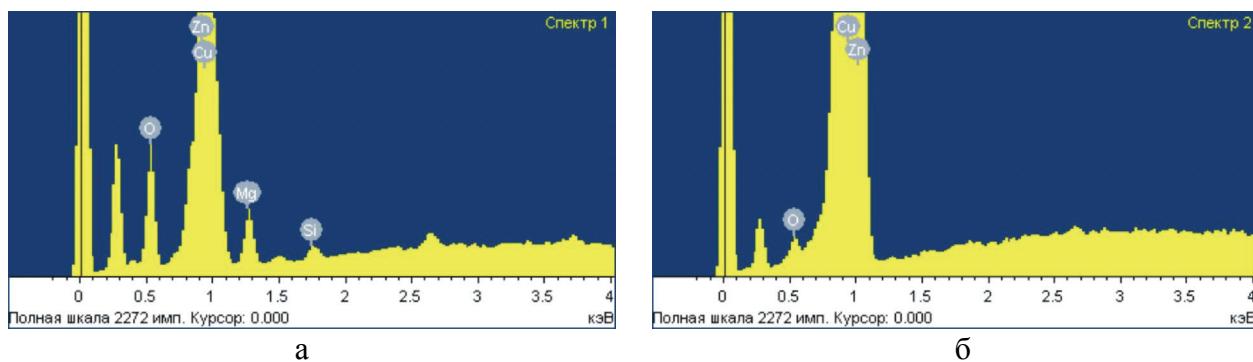
Мурzin Сергей Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок. E-mail: murzin@ssau.ru.

Трегуб Николай Валерьевич, аспирант.

E-mail: murzin@ssau.ru

Никифоров Аркадий Михайлович, учебный мастер.

E-mail: murzin@ssau.ru



**Рис. 1.** Результаты анализа элементного состава поверхности: до лазерного воздействия (а); после лазерного воздействия (б)

**Таблица 1.** Соотношение компонентов сплава до и после лазерного воздействия в пересчете на компактный материал

Компонент	до лазерного воздействия (Вес.%)	после лазерного воздействия (Вес.%)
Cu	62,9	91,9
Zn	36,8	7,6
Остальное	0,3	0,5

лимитирует в той мере, в какой обеспечивается его диффузионная доставка к поверхности.

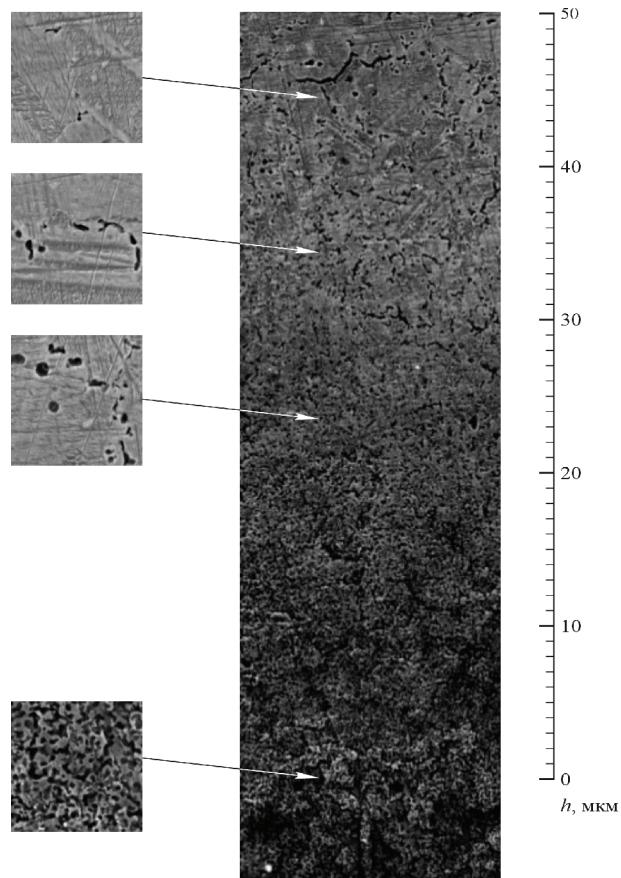
С течением времени толщина обедненного цинком слоя увеличивается, и диффузия становится лимитирующим фактором процесса сублимации. Установлено, что лазерная обработка создает в приповерхностном слое нанопористую структуру со средним размером пор  $\sim 40\ldots 50$  нм. Нанопоры равномерно распределены по поверхности субзерен, имеют относительно стабильные размеры и формы. Такая структура формируется за счет образования вакансий и их коагуляции в результате сублимации цинка с поверхности материала, развития градиента концентрации и диффузии к поверхности компонента с относительно высокой упругостью паров.

Соотношение компонентов сплава в пересчете на компактный материал представлено на рис. 1 и в таб. 1. Металлографические исследования микроструктуры образцов показали, что концентрация пор изменяется с увеличением расстояния от поверхности вглубь образца (рис. 2). Концентрация пор уменьшается с увеличением этого расстояния. Схема исследования нанопористой структуры образца приведена на рис. 3. На рис. 4 представлено изображение характерной нанопоры канальчатого типа шириной  $\sim 100$  нм.

Данная запатентованная технология [15, 16] перспективна для производства катализаторов и ультрафильтрационных мембранных.

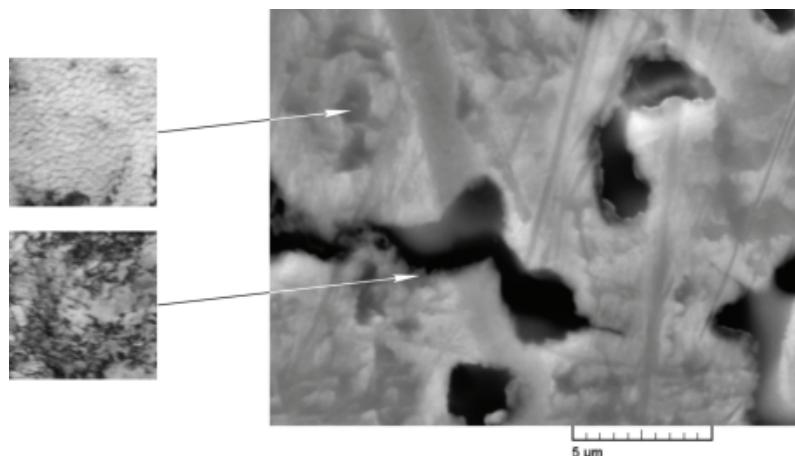
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализованы режимы лазерного воздействия, предоставляющие возможность формиро-



**Рис. 2.** Распределение пор по глубине образца

вать нанопористые структуры в металлических материалах, при этом нагрев материала осуществляется до температур ниже температуры плавления. Определены условия формирования лазерным воздействием с частотой следования импульсов до  $(4\ldots 5)\cdot 10^3$  Гц нанопористых структур со средним размером нанопор  $\sim 40\ldots 50$  нм



**Рис. 3.** Схема исследования нанопористой структуры образца



**Рис. 4.** Изображение характерной нанопоры канального типа шириной ~ 100 нм; увелич. х44980

в модельном металлическом материале с содержанием меди до 62%. После лазерного воздействия на поверхности образца формируется структура с порами, достаточно равномерно распределенными по площади. Такая структура формируется за счет образования вакансий и их коагуляции в результате сублимации цинка с поверхности материала, создания градиента концентраций и диффузии материала с относительной высокой упругостью пара к поверхности.

### 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.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lu G.Q., Zhao X.S.* Nanoporous materials: An overview. In Nanoporous Materials: Science and Engineering / Series on Chemical Engineering, Vol. 4, London, UK: Imperial College Press, 2004, pp. 1-12.
2. Advances in Nanoporous Materials, Vol. 1, Ed. S. Ernst. London, UK: Elsevier Science, 2009, 336 p.
3. Ordered Porous Solids: Recent Advances and Prospects, Eds. V. Valtchev, S. Mintova, M. Tsapatsis], London, UK: Elsevier Science, 2009, 800 p.
4. Handbook of Nanophysics: Functional Nanomaterials, Ed. K.D. Sattler. Boca Raton, US: CRC Press / Taylor & Francis Group, 2011, 787 p.
5. *Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Soifer V.A.* DOE for Focusing the Laser Light. In Methods for Computer Design of Diffractive Optical Elements [Eds. V.A. Soifer] New York, US: Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons Inc, 2002. pp. 347–443.
6. Focusators for Laser-Branding / *L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, G.V. Uspenjev* // Optics and Lasers in Engineering. 1991. Vol. 15, No. 5, pp. 311-322.
7. 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. Vol. 43, No. 7, pp. 1423-1433.
8. Исследование оптических систем управления передачей высоких энергий / Л.Л. Досковович, Н.Л. Казанский, В.И. Мордасов, С.П. Мурзин, С.И. Харитонов // Компьютерная оптика. 2002. № 23. С. 40-43.
9. Исследовательско-технологический центр дифракционной оптики / Н.Л. Казанский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4-1. С. 54-62.
10. 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.
11. 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.
12. 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.

13. 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.
14. Мурзин С.П. Разработка способов интенсификации формирования нанопористых структур металлических материалов селективной лазерной сублимацией компонентов сплавов // Компьютерная оптика. 2011. Т. 35, № 2. С. 175-179.
15. Пат. 2371380 РФ, МПК8B82B 3/00 (2006.01), C23C 26/00 (2006.01). Способ формирования наноразмерных поверхностных покрытий / Мурзин С.П., Трегуб В.И., Меженин А.В., Осетров Е.Л., Никифоров А.М. №2008126858/02; заявл. 01.07.2008; опубл. 27.10.2009 Бюл. № 30. 6 с.
16. Synthesis of nanoporous structures in metallic materials under laser action / N.L. Kazanskiy, S.P. Murzin, Ye.L. Osetrov, V.I. Tregub // Optics and Lasers in Engineering. 2011. Vol. 49, No. 11. Pp. 1264-1267.

## **INFLUENCE OF LASER RADIATION FOR CREATION OF THE METALLIC MATERIALS NANOPOROUS STRUCTURES**

©2012 S.P. Murzin, N.V. Tregub, A.M. Nikiforov

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

We have realized the laser treatment modes that can be used in order to form nanoporous structures in Cu-Zn system alloy. The influence to periodic laser pulses with the pulse-repetition rate up to  $(4\text{-}5)\cdot10^3$  Hz – provided that the material is being heated below the melting point – makes it possible to produce a steady stress on the sample surface. The proposed patented technology is promising for manufacture of catalysts and ultrafiltration membranes.

Key words: metallic material, influence, laser, focusator, nanoporous structure, ultrafiltration.

---

*Sergey Murzin, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Power Plant Automatic Systems Department.*

*E-mail: murzin@ssau.ru.*

*Nikolai Tregub, Postgraduate. E-mail: murzin@ssau.ru*

*Arkadij Nikiforov, Training Foreman. E-mail: murzin@ssau.ru*