

ПРИМЕНЕНИЕ ФОКУСАТОРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДЬЮ ПОВЕРХНОСТИ ЛАЗЕРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Мурзин С.П., Трегуб В.И., Мельников А.А., Трегуб Н.В.

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

Аннотация

Лазерным воздействием с применением фокусаторов излучения создан металлический нанопористый материал с высокой удельной площадью поверхности. Определены режимы лазерного воздействия, при котором в центре зоны термического влияния на поверхности исследуемого материала образуется нанопористый слой, содержащий продукты взаимодействия с окислительной средой меди и цинка в составе сплава. Для оценки механической прочности и термостойкости полученного нанопористого материала образцы из латуни Л62 после лазерной обработки подвергали пластической деформации и высокотемпературному воздействию. Основная часть поверхности после пластической деформации по двум различным режимам и двух высокотемпературных отжигов не имеет разрушений, отслаивания пористого слоя не наблюдалось, что свидетельствует о достаточно высокой механической прочности и термостойкости полученного нанопористого материала.

Ключевые слова: воздействие лазерное, материал металлический, слой нанопористый, поверхность.

Введение

Материалы с нанопористой структурой перспективны для различных областей функциональных приложений, таких как фильтрация жидкостей и газов, катализ химических реакций и микроэлектроника [1–4]. В некоторых из вышеупомянутых приложений имеет значение высокая электро- и теплопроводность металлов. Кроме того, металлические нанопористые материалы по сравнению с их полимерными и керамическими аналогами обладают лучшими физико-механическими и технологическими свойствами, например, механической прочностью и термостойкостью. Как правило, для изготовления металлических нанопористых материалов применяются химические или электрохимические методы [5–8]. Прогрессивным направлением создания на поверхности металлических материалов нанопористых слоёв является применение лазерного воздействия с высокой частотой следования импульсов [9–12]. В этом случае применение специальных оптических систем на основе элементов дифракционной компьютерной оптики – фокусаторов излучения [13–20] – предоставляет возможность избирательно проводить обработку областей необходимой геометрии. Циклическое упруго-пластическое деформирование при лазерном воздействии также является методом формирования нанопористых структур металлических материалов [21–23]. В результате лазерного воздействия формируются поры канального типа, ширина которых составляет ~80...100 нм, что перспективно для производства ультра- и микрофильтрационных мембран.

При гетерогенном (контактном) катализе активность катализатора, как правило, пропорциональна удельной площади его поверхности. Её увеличение способствует улучшению условий для гетерофазных химических и каталитических реакций, увеличению сорбционной ёмкости, что обеспечивает повышение производительности катализа. Причины подобной ак-

тивности нанопористых материалов не исчерпываются увеличением удельной поверхности. Атомы, находящиеся на поверхности и в приповерхностных слоях с высокой кривизной, могут влиять как на свойства самого материала, так и на свойства атомов и молекул, адсорбированных порами из окружающей среды [24]. Таким образом, создание металлических нанопористых материалов, в которых площадь поверхности, доступной для взаимодействия с реагентами химических реакций, превышает площадь сплошных твёрдых тел на порядки величины, является актуальной задачей. Целью данной работы является создание металлического нанопористого материала с высокой удельной площадью поверхности лазерным воздействием с применением фокусаторов излучения.

1. Исследуемый материал и экспериментальная установка

В качестве материала для экспериментальных исследований выбран двухкомпонентный Cu-Zn сплав латунь Л62, содержащий 60,5...63,5 % меди. Важным преимуществом использования данного сплава при проведении экспериментальных исследований является то, что снижение концентрации цинка на поверхности можно наблюдать визуально, т.к. латунь меняет свой цвет с исходного жёлтого на красный. Исследовались образцы из латуни размером 200 × 20 × 2,5 мм. Энергетическое воздействие осуществлялось с помощью газового CO₂-лазера ROFIN DC 010 выходной мощностью от 100 до 1000 Вт и диаметром выходного пучка ~20 мм. Исходное излучение было преобразовано в световое пятно с равномерной плотностью мощности с помощью дифракционного оптического элемента, выполняющего необходимую его фокусировку [13–15]. Контроль температуры в зоне нагрева осуществлялся с помощью бесконтактного пирометра «Кельвин-1300 ЛЦМ», имеющего диапазон измерения температур от 600 до 1600 К.

2. Формирование металлического нанопористого материала с высокой удельной площадью поверхности лазерным воздействием

Определены режимы лазерного воздействия, при котором в центре зоны термического влияния на поверхности исследуемого материала формируется нанопористый слой, содержащий продукты взаимодействия с окислительной средой меди и цинка в составе сплава. Воздействие лазерного излучения, приводящее к образованию на поверхности металлического материала жидкой фазы, обеспечивает реализацию последовательности следующих процессов:

- образование ванны расплава в результате плавления материала при движении светового пятна лазерного излучения с постоянной скоростью;
- перемещение ванны расплава вглубь металлического материала;
- удаление из формируемого канала продуктов плавления и разрушения металлического материала, которое регулируется интенсивностью продувки вспомогательного активного газа;
- образование на вновь сформированной поверхности канала пористого слоя в результате взаимодействия с кислородом меди и цинка при температуре, превышающей температуру плавления;
- селективная сублимация цинка со вновь сформированной поверхности канала (границы раздела между твердой и жидкой фазой), лимитируемая интенсивностью диффузионной доставки атомов цинка из приповерхностного слоя к поверхности.

При этом пористый слой на вновь сформированной поверхности канала содержит грануловидные выделения и более крупные пустотелые образования эллипсоидальной формы. Полученное с помощью аналитического растрового электронного микроскопа VEGA\ SB, Tescan изображение поверхности нанопористого металлического материала с высокой удельной площадью поверхности представлено на рис. 1.

Изображение грануловидных выделений оксидов меди и цинка на более крупном пустотелом образовании эллипсоидальной формы представлено на рис. 2. Длина пустотелых образований составляет 70...120 мкм, ширина – 40...80 мкм, грануловидные выделения оксидов меди и цинка имеют характерный размер 0,5...1,2 мкм. Вновь сформированная поверхность канала содержит достаточно большое количество пор диаметром до 0,3...1 мкм и расположенных по границам грануловидных выделений наноразмерных каналов шириной до 50 нм, представленных на рис. 3.

На внутренней поверхности пор также формируются грануловидные выделения. Они имеют более сглаженные границы, что свидетельствует об истечении из пор растворённых газов и паров металлов, проходящем при остывании жидкой фазы. При этом протекают следующие процессы. По мере остывания металла происходит снижение растворимости газа в жидкой фазе. В результате избыток газов выделяется из расплава, обеспечивая более интенсивное охла-

ждение и кристаллизацию верхних слоёв жидкой фазы.

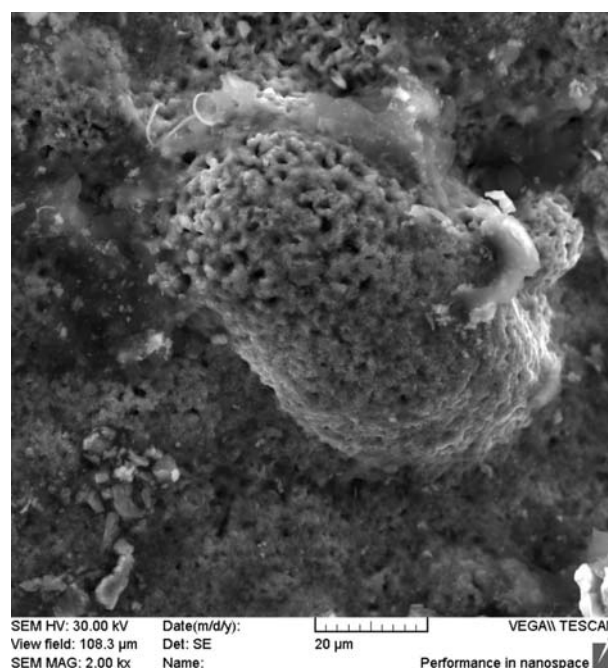


Рис. 1. Полученное с помощью аналитического растрового электронного микроскопа VEGA\ SB, Tescan изображение поверхности нанопористого металлического материала с высокой удельной площадью поверхности

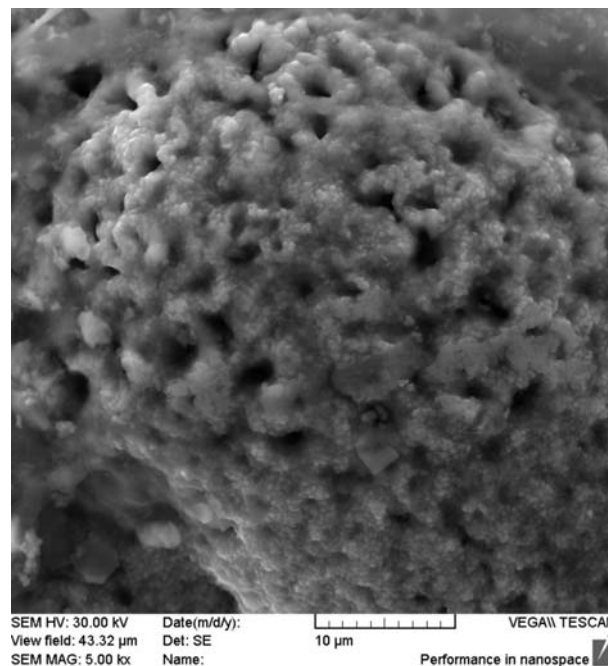


Рис. 2. Грануловидные выделения оксидов меди и цинка на более крупном пустотелом образовании эллипсоидальной формы

Присутствующий в газах кислород взаимодействует с компонентами сплава, что сопровождается образованием тугоплавкой окисной плёнки, блокирующей дальнейшее выделение газов и паров металла в окружающую среду. При этом между оксидной плёнкой и расплавом образуется прослойка парогазовой фазы, в результате накопления которой и образу-

ется пустотелое образование эллипсоидальной формы. На поверхности этого образования формируются поры, через которые при остывании жидкой фазы продолжает выделяться избыток газов и пары металлов.

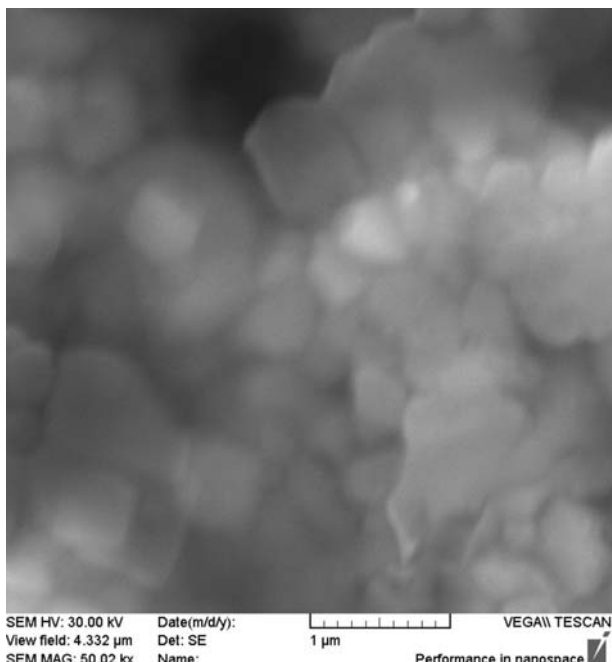


Рис. 3. Изображение вновь сформированной поверхности канала, содержащей достаточно большое количество пор диаметром до 0,3...1 мкм и расположенных по границам грануловидных выделений наноразмерных каналов шириной до 50 нм

Известно, что воздействие мощного лазерного излучения на металлические материалы может приводить к их плавлению и испарению [25 и др.]. Вначале происходит нагрев металлического материала и его расплавление. При дальнейшем поглощении излучения фазовая граница плавления перемещается в объём материала, а после достижения температуры кипения имеет место испарение материала. В зависимости от плотности мощности лазерного излучения, скорости плавления и испарения, а также количество расплавленного и испарённого металла будут различными. Следовательно, изменяя плотность мощности и время воздействия лазерного излучения на металлические материалы, можно управлять этим процессом. Значительное влияние на интенсивность процессов нагрева материала оказывает поглощательная способность его поверхности. На поглощённую энергию лазерного излучения также оказывает влияние парогазовая плазма, образующаяся при режимах лазерного воздействия, обеспечивающих плавление и испарение материала.

При продувке вспомогательного газа перемещение жидкой ванны расплава осуществляется в основном по толщине материала, т.е. вдоль формируемого канала с помощью динамического воздействия газа, превышающего вязкокапиллярную силу. Формируемый канал существует по всей толщине материала и перемещается вместе с лазерным пучком. Использование в качестве вспомогательного газа кислорода обеспечивает выделе-

ние на поверхности разрушения в канале дополнительной энергии экзотермической реакции. На обрабатываемой поверхности металла образуется оксидная плёнка, изменяющая энергетический баланс в формируемом канале вследствие изменения поглощательной способности материала. Образование оксидной плёнки влияет также на гидродинамику течения расплава, поскольку вязкость оксидов существенно превышает соответствующую величину для жидкого металла.

Различают стационарный характер протекания описанных процессов, когда жидкая ванна расплава существует по всей длине формируемого канала, и нестационарный, характеризуемый периодическим выносом расплавленного металлического материала из зоны обработки. Стационарный характер достигается в том случае, когда скорости плавления металла в направлении перемещения лазерного излучения и удаления расплавленного металла равны в каждом сечении канала. При скоростях формирования канала в металлических материалах меньше стационарных после удаления очередной массы жидкого металла из формируемого канала в его нижней части, подвергаемой лазерному воздействию, вновь образуется расплав. При перемещении материала лазерное излучение попадает на зоны канала, расположенные выше, и подплавляет их. Образующаяся ванна расплава не удаляется, так как динамическое воздействие дополнительного потока газа оказывается недостаточным. В последующие моменты времени процесс плавления металла приводит к увеличению объёма ванны расплава, и при достижении определённых размеров расплавленный металлический материал уносится из зоны лазерного воздействия. Процессы далее повторяются, в результате чего на боковой поверхности кромок формируемого канала образуются так называемые бороздки.

3. Оценка механической прочности и термостойкости полученного нанопористого материала

Оценка механической прочности и термостойкости полученного нанопористого материала осуществлялась на образцах из латуни Л62 толщиной 2,5 мм, которые после лазерного воздействия подвергали пластической деформации и высокотемпературному воздействию. Длина рабочей части образцов составляла 160 мм, максимальная ширина рабочей части – 16 мм и минимальная – 10 мм. Перед проведением пластической деформации проводили отжиг образцов при температуре $T=450^{\circ}\text{C}$ в течение 2 часов. Одноосное растяжение выполняли на разрывной (испытательной) машине Zwick/Roell Z050. Общее удлинение составило 15%, максимальная нагрузка – 5 кН. Затем проводили отжиг по режимам рекристаллизации: первичной и собирательной ($T=600^{\circ}\text{C}$ в течение 1,5 часов), а также собирательной ($T=850^{\circ}\text{C}$ в течение 2 часов). Выполняли одноосное растяжение до разрыва образцов. При этом степень пластической деформации составила более 30%. Изображение поверхности нанопористого

металлического материала после проведения комплекса испытаний механической прочности и термостойкости представлено на рис. 4.

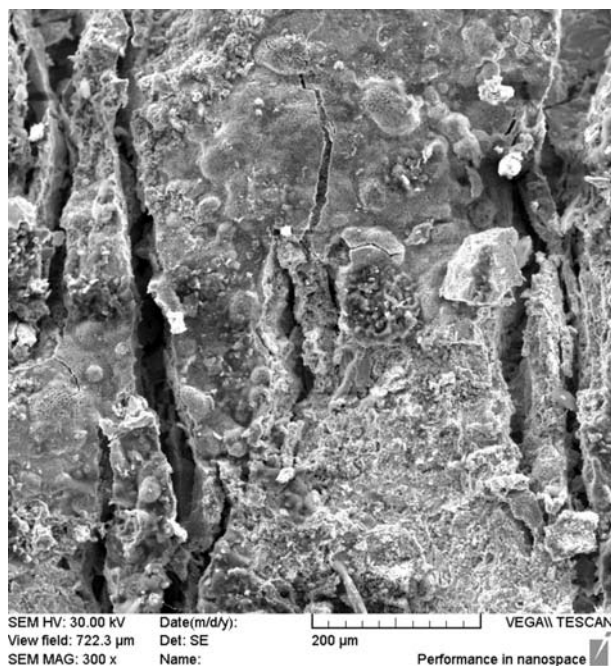


Рис. 4. Поверхность нанопористого металлического материала после проведения комплекса испытаний механической прочности и термостойкости

После проведения комплекса испытаний механической прочности и термостойкости полученного нанопористого материала поверхность образца также представляла собой слой гранулоидных выделений и пустотелых образований эллипсоидальной формы, содержащий продукты взаимодействия с окислительной средой меди и цинка в составе сплава, сформировавшийся в процессе лазерного воздействия. Характерной особенностью являлось наличие трещин, направленных перпендикулярно действию растягивающих напряжений, обусловленных пластической деформацией. Трещины формировались на участках, соответствующих зародившимся и развившимся трещинам в основном металле в зоне сосредоточенной пластической деформации. Основная часть площади после пластической деформации по двум различным режимам и двух высокотемпературных отжигов не имеет разрушений, отслаивания пористого слоя не наблюдалось, что свидетельствует о достаточно высокой механической прочности и термостойкости полученного нанопористого материала.

Заключение

Таким образом, лазерным воздействием с применением фокусаторов излучения создан металлический нанопористый материал с высокой удельной площадью поверхности. Определены режимы лазерного воздействия, при котором в центре зоны термического влияния на поверхности исследуемого материала образуется нанопористый слой, содержащий продукты взаимодействия с окислительной средой меди и цинка в составе сплава. Для оценки механической прочности и термостойкости полученного нанопористого материала об-

разцы из латуни Л62 толщиной 2,5 мм после лазерной обработки подвергали пластической деформации и высокотемпературному воздействию. Установлено, что основная часть поверхности после пластической деформации по двум различным режимам и двух высокотемпературных отжигов не имеет разрушений, отслаивания пористого слоя не наблюдалось, что свидетельствует о достаточно высокой механической прочности и термостойкости полученного нанопористого материала.

Преимуществами разработанного способа изготовления нанопористых материалов являются:

- образование пористой структуры с высокой удельной поверхностью, имеющей достаточно высокую механическую прочность и термостойкость;
- возможность формирования нанопористого композитного материала на поверхности различной формы и протяжённости, при этом ширина канала может варьироваться в диапазоне от десятых долей до единиц миллиметров;
- высокая производительность процесса синтеза нанопористого материала для катализаторов химических реакций.

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. **Zhang, J.** Nanoporous metals: fabrication strategies and advanced electrochemical applications in catalysis, sensing and energy systems / J. Zhang, C.M. Li // *Chemical Society Reviews*. – 2012. – Vol. 41, N 21. – P. 7016-7031.
2. *Nanostructured materials: processing, properties and applications / edition 2* by C.C. Koch. – Elsevier Science, 2007. – 784 p.
3. **Jin, H.-J.** Bulk nanoporous metal for actuation / H.-J. Jin, J. Weissmüller // *Advanced engineering materials*. – 2010. – Vol. 12, N 8. – P. 714-723.
4. **Zabukovec Logar, N.** Nanoporous materials: from catalysis and hydrogen storage to wastewater treatment / N. Zabukovec Logar, V. Kaučič // *Acta chimica slovenica*. – 2006. – Vol. 53. – P. 117-135.
5. **Ding, Y.** Metallic mesoporous nanocomposites for electrocatalysis / Y. Ding, M. Chen, J. Erlebacher // *Journal of the American Chemical Society*. – 2004. – Vol. 126, N 22. – P. 6876-6877.
6. **Sun, L.** Fabrication of nanoporous nickel by electrochemical dealloying / L. Sun, C.-L. Chien, P.C. Searson // *Chemistry of materials*. – 2004. – Vol. 16, N 16. – P. 3125-3129.
7. **Senior, N.A.** Synthesis of tough nanoporous metals by controlled electrolytic dealloying / N.A. Senior, R.C. Newman // *Nanotechnology*. – 2006. – Vol. 17, N 9. – P. 2311-2316.
8. **Huang, T.** The mechanism of three-dimensional manganese-based nanoporous structure formation by laser deposition coupled with dealloying / T. Huang, C. Dong, Y. Gu, M. Zhong, L. Li // *Materials Letters*. – 2013. – Vol. 95. – P. 30-32.
9. **Kazanskiy, N.L.** 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, N 11. – P. 1264-1267.

10. **Murzin, S.P.** Creation of metal materials nanoporous structures under the action of laser radiation / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy // ALT Proceedings. – 2012. – Vol. 1. – DOI: 10.12684/alt.1.43. – ISSN 2296-312X.
11. **Murzin, S.P.** Exposure to laser radiation for creation of metal materials nanoporous structures / S.P. Murzin // Optics & Laser Technology. – 2013. – Vol. 48. – P. 509-512.
12. **Мурзин, С.П.** Разработка способов интенсификации формирования нанопористых структур металлических материалов селективной лазерной сублимацией компонентов сплавов / С.П. Мурзин // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 2. – С. 175-179.
13. **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, N 5. – P. 311-322.
14. **Doskolovich, L.L.** Analysis of quasiperiodic and geometric optical solutions of the problem of focusing into an axial segment / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, A.Ye. Tzaregorodtzev // Optik – International Journal for Light and Electron Optics. – 1995. – Vol. 101, N 2. – P. 37-41.
15. **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. – Vol. 43, N 7. – P. 1423-1433.
16. **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 // Optics & Laser Technology. – 2007. – Vol. 39, N 6. – P. 1234-1238.
17. **Казанский, Н.Л.** Исследовательский комплекс для решения задач компьютерной оптики / Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2006. – № 29. – С. 58-77.
18. **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, N 4-5. – P. 281-288.
19. **Bezus, E.A.** Evanescent-wave interferometric nanoscale photolithography using guided-mode resonant gratings / E.A. Bezus, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Microelectronic Engineering. – 2011. – Vol. 88, N 2. – P. 170-174.
20. **Kazanskiy, N.L.** Research & education center of diffractive optics / N.L. Kazanskiy // Proceedings of SPIE. – 2012. – Vol. 8410. – Art. No. 84100R.
21. **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.
22. **Мурзин, С.П.** Исследование механизмов формирования нанопористой структуры в многокомпонентной латуни при термоциклировании лазерным воздействием / С.П. Мурзин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 4-1. – С. 270-274.
23. **Мурзин, С.П.** Термоциклирование импульсно-периодическим лазерным воздействием для формирования нанопористой структуры в металлическом материале / С.П. Мурзин, В.И. Трегуб, Е.В. Шокова, Н.В. Трегуб // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37, № 1. – С. 99-104.
24. **Koh, K.A.** Porous coordination copolymer with over 5000 m²/g BET surface area / K.A. Koh, A.G. Wong-Foy, A.J. Matzger // Journal of the American chemical society. – 2009. – Vol. 131, N 12. – P. 4184-4185.
25. **LIA handbook of laser materials processing** / edited by J.F. Ready. – Orlando: Laser institute of America. Magnolia publishing, Inc., 2001. – 715 p.

References

1. **Zhang, J.** Nanoporous metals: fabrication strategies and advanced electrochemical applications in catalysis, sensing and energy systems / J. Zhang, C.M. Li // Chemical Society Reviews. – 2012. – Vol. 41, N 21. – P. 7016-7031.
2. **Nanostructured materials: processing, properties and applications** / edition 2 by C.C. Koch. – Elsevier Science, 2007. – 784 p.
3. **Jin, H.-J.** Bulk nanoporous metal for actuation / H.-J. Jin, J. Weissmüller // Advanced engineering materials. – 2010. – Vol. 12, N 8. – P. 714-723.
4. **Zabukovec Logar, N.** Nanoporous materials: from catalysis and hydrogen storage to wastewater treatment / N. Zabukovec Logar, V. Kaučič // Acta chimica slovenica. – 2006. – Vol. 53. – P. 117-135.
5. **Ding, Y.** Metallic mesoporous nanocomposites for electrocatalysis / Y. Ding, M. Chen, J. Erlebacher // Journal of the American Chemical Society. – 2004. – Vol. 126, N 22. – P. 6876-6877.
6. **Sun, L.** Fabrication of nanoporous nickel by electrochemical dealloying / L. Sun, C.-L. Chien, P.C. Seardon // Chemistry of materials. – 2004. – Vol. 16, N 16. – P. 3125-3129.
7. **Senior, N.A.** Synthesis of tough nanoporous metals by controlled electrolytic dealloying / N.A. Senior, R.C. Newman // Nanotechnology. – 2006. – Vol. 17, N 9. – P. 2311-2316.
8. **Huang, T.** The mechanism of three-dimensional manganese-based nanoporous structure formation by laser deposition coupled with dealloying / T. Huang, C. Dong, Y. Gu, M. Zhong, L. Li // Materials Letters. – 2013. – Vol. 95. – P. 30-32.
9. **Kazanskiy, N.L.** 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, N 11. – P. 1264-1267.
10. **Murzin, S.P.** Creation of metal materials nanoporous structures under the action of laser radiation / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy // ALT Proceedings. – 2012. – Vol. 1. – DOI: 10.12684/alt.1.43. – ISSN 2296-312X.
11. **Murzin, S.P.** Exposure to laser radiation for creation of metal materials nanoporous structures / S.P. Murzin // Optics & Laser Technology. – 2013. – Vol. 48. – P. 509-512.
12. **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, N 2. – P. 175-179. – (In Russian).
13. **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, N 5. – P. 311-322.
14. **Doskolovich, L.L.** Analysis of quasiperiodic and geometric optical solutions of the problem of focusing into an axial segment / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, A.Ye. Tzaregorodtzev // Optik – International Journal for Light and Electron Optics. – 1995. – Vol. 101, N 2. – P. 37-41.
15. **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. – Vol. 43, N 7. – P. 1423-1433.
16. **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 // Optics & Laser Technology. – 2007. – Vol. 39, N 6. – P. 1234-1238.
17. **Kazanskiy, N.L.** A research complex for solving computer optics problems / N.L. Kazanskiy // Computer optics. – 2006. – N 29. – P. 58-77. – (In Russian).
 18. **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, N 4-5. – P. 281-288.
 19. **Bezus, E.A.** Evanescent-wave interferometric nanoscale photolithography using guided-mode resonant gratings / E.A. Bezus, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Microelectronic Engineering. – 2011. – Vol. 88, N 2. – P. 170-174.
 20. **Kazanskiy, N.L.** Research & education center of diffractive optics / N.L. Kazanskiy // Proceedings of SPIE. – 2012. – Vol. 8410. – Art. No. 84100R.
 21. **Murzin, S.P.** Nanoporous structure formation in metal materials by cyclic elastoplastic deformation with laser action / S.P. Murzin, V.I. Tregub, E.L. Osetrov, A.M. Nikiforov // Proceedings of Samara RAS Scientific Centre. – 2010. – Vol. 12, N 4. – P. 182-185. – (In Russian).
 22. **Murzin, S.P.** Research of nanoporous structure formation mechanisms in multicomponent brass at a thermocycling by laser influence / S.P. Murzin // Proceedings of Samara RAS Scientific Centre. – 2012. – Vol. 14, N 4-1. – P. 270-274. – (In Russian).
 23. **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, N 1. – P. 99-104. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
 24. **Koh, K.A.** Porous coordination copolymer with over 5000 m²/g BET surface area / K.A. Koh, A.G. Wong-Foy, A.J. Matzger // Journal of the American chemical society. – 2009. – Vol. 131, N 12. – P. 4184-4185.
 25. LIA handbook of laser materials processing / edited by J.F. Ready. – Orlando: Laser institute of America. Magnolia publishing, Inc., 2001. – 715 p.

APPLICATION OF RADIATION FOCUSATORS FOR CREATION OF NANOPOROUS METAL MATERIALS WITH HIGH SPECIFIC SURFACE AREA BY LASER ACTION

S.P. Murzin, V.I. Tregub, A.A. Melnikov, N.V. Tregub

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

Abstract

Nanoporous metal material with high specific surface area was created under the action of laser radiation with the use of radiation focusators. The regimes of laser action under which nanoporous layer is formed in the centre of the thermal-affected zone on the surface of the material being investigated containing the products of reaction of cuprum and zinc in the alloy with the oxidizing medium. After laser treatment samples of brass L62 were exposed to plastic deformation and high temperature impact for the estimation of mechanical strength and heat resistance of the produced nanoporous material. Main part of the surface does not have destructions after the plastic deformation in two different modes and two high-temperature annealings, exfoliation of the porous layer was not observed, that is the evidence of sufficiently high mechanical strength and high resistance of the derived nanoporous material.

Key words: laser action, metal material, nanoporous layer, surface.

Сведения об авторах



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 60 статей, монография, 18 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 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 60 scientific papers, 1 monograph, and 18 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. Королева – 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 department. He is a specialist in solid-state physics and nanotechnology. He is co-author of more than 70 scientific papers.



Мельников Алексей Александрович, 1951 года рождения, в 1974 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 (1983 год), работает доцентом кафедры технологии металлов и авиаматериаловедения СГАУ. Мельников А.А. – специалист в области металловедения и порошковой металлургии. В списке научных работ Мельникова А.А. более 60 публикаций.

E-mail: melnickov.alex@yandex.ru.

Alexey Alexandrovich Melnikov (b. 1951) with honours graduated (1974) from 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 (1983) 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 metal and powder technology. He is co-author of more than 60 scientific papers.



Трегуб Николай Валерьевич, 1986 года рождения, в 2009 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (СГАУ) по специальности «Обработка металлов давлением». Обучается в аспирантуре СГАУ по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики». Область научных интересов: материаловедение, лазерные технологии обработки металлов. В списке научных работ Трегуба Н.В. 8 статей, 3 патента РФ.

E-mail: nvtregub@yandex.ru.

Nikolay Valeryevich Tregub (b. 1986) graduated (2009) from the S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (SSAU), majoring in Metal Processing and Metal forming. Was a postgraduate student in SSAU majoring in 01.04.01 "Devices and methods of experimental physics". Area of scientific interest: materials science, laser technologies of metal processing. He is co-author of 8 scientific papers, 3 patent.

Поступила в редакцию 4 апреля 2013 г.