

**Лазерная обработка поверхности металлических сплавов
для диффузионной сварки**

Ю. А. Вашуков, С. Ф. Демичев, В. Д. Еленев, Т. В. Малинский, С. И. Миколюцкий,
Ю. В. Хомич, В. А. Ямщиков

При обработке поверхности CuCrZr-бронзы сканирующим пучком наносекундных лазерных импульсов с длиной волны излучения 355 нм выявлено образование структур в виде сфер диаметром около 500 нм, расположенных на ножках высотой до 1 мкм. Обнаружено влияние плотности энергии лазерного излучения и скорости сканирования лазерным пучком на формирование данных субмикронных структур. Показана возможность улучшения качества соединения металлических сплавов при диффузионной сварке за счет лазерной обработки поверхностей заготовок.

Ключевые слова: наноструктурирование поверхности, диффузионная сварка, наносекундные лазеры, временное сопротивление, микроструктуры.

Ссылка: Вашуков Ю. А., Демичев С. Ф., Еленев В. Д., Малинский Т. В., Миколюцкий С. И., Хомич Ю. В., Ямщиков В. А. // Прикладная физика. 2019. № 1. С. 82.

Reference: Yu. A. Vashukov, S. F. Demichev, V. D. Elenev, T. V. Malinskiy, S. I. Mikolutskiy, Yu. V. Khomich, and V. A. Yamshchikov, Prikl. Fiz., No. 1, 82 (2019).

Вашуков Юрий Александрович¹, доцент, к.т.н.
Демичев Сергей Федорович¹, доцент, к.т.н.
Еленев Валерий Дмитриевич¹, директор института авиационной техники, д.т.н.
Малинский Тарас Владимирович², зав. лаб., к.т.н.
Миколюцкий Сергей Иванович², с.н.с., к.ф.-м.н.
Хомич Юрий Владиславович², м.н.с.
Ямщиков Владимир Александрович², директор московского филиала, д.т.н., чл.-корр. РАН.
¹ Самарский Университет.
Россия, 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34.
Тел. 8(846) 267-43-39. E-mail: elenev@ssau.ru
² Институт электрофизики и электроэнергетики РАН.
Россия, 191186, Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 18.
Тел. 8(499) 135-11-95. E-mail: mikolserg@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28 января 2019 г.

© Вашуков Ю. А., Демичев С. Ф., Еленев В. Д., Малинский Т. В., Миколюцкий С. И., Хомич Ю. В., Ямщиков В. А., 2019

Работа выполнена при финансовой поддержке
гранта РФФИ 17-08-01409 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Matsui I., Uesugi T., Takigawa Y., Higashi K. // Acta Mater. 2013. Vol. 61. P. 3360.
2. Lu L., Shen Y., Chen X., Qian L., Lu K. // Science. 2004. Vol. 304. P. 422.
3. Chernyshev S. L., Gamirullin M. D., Kuryachii A. P.,

- Litvinov V. M., Manuilovich S. V., Rusyanov D. A., Khomich V. Y., Moshkunov S. I., Rebrov I. E., Yamshchikov V. A. // Aerosp. Sci. Technol. 2016. Vol. 59. P. 155.
4. Peterson M. S., Fisher T. S., Garimella S. V., Schlitz D. J. in ASM E. 2003. P. IMECE2003-41775.
5. Khomich V. Yu., Malashin M. V., Moshkunov S. I., Shershunova E. A., Yamschikov V. A. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2014. Vol. 42. No. 10. P. 3314.
6. Лутфуллин Р. Я., Мухаметрахимов М. Х., Валитов В. А., Мухтаров Ш. Х., Классман П. А. // Перспективные материалы. 2011. № 12. С. 295.
7. Хазгалиев Р. Г., Мухаметрахимов М. Х. // Перспективные материалы. 2011. № 12. С. 529.
8. Kuchmizhak A. A., Ionin A. A., Kudryashov S. I., Makarov S. V., Rudenko A. A., Kulchin Yu. N., Vitrik O. B., Efimov T. V. // Opt. Lett. 2015. Vol. 40. P. 1687.
9. Kuchmizhak A., Pavlov D., Vitrik O., Kulchin, Y. N. // Applied Surface Science. 2015. Vol. 357. Part B. P. 2378.
10. Zavestovskaya I. N. // Quantum Electronics. 2010. Vol. 40. No. 11. P. 942.
11. Лапинин К. Э., Обидин А. З., Токарев В. Н., Хомич В. Ю., Шмаков В. А., Ямщиков В. А. // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2. № 11-12. С. 50.
12. Токарев В. Н., Хомич В. Ю., Шмаков В. А., Ямщиков В. А. // Доклады Академии наук. 2008. Т. 419. № 6. С. 754.
13. Vorobyev A. Y., Guo C. // Appl. Phys. 2008. Lett. Vol. 92. P. 041914-3.
14. Pfleging W., Adamietz R., Brückner H.J., Bruns M., Welle A. // Proceedings of SPIE. 2007. Vol. 6459. P. 645907.
15. Khomich V. Yu., Urlichich Yu. M., Shmakov V. A., Tokarev V. N., Galstyan A. M., Mikolutskiy S. I., Malinskiy T. V., Ganin D. V. // Inorg. Mater.: Appl. Res. 2013. Vol. 4. No. 3. P. 201.
16. Железнов Ю. А., Малинский Т. В., Миколюцкий С. И., Токарев В. Н., Хасая Р. Р., Хомич Ю. В., Ямщиков В. А. // Прикладная физика. 2014. № 3. С. 83.

-
17. Ахманов С. А., Емельянов В. И., Коротеев Н. И., Семиногов В. Н. // УФН. 1985. Т. 147. С. 675.
 18. Токарев В. Н., Хомич В. Ю., Шмаков В. А., Ямицков В. А. // ФХОМ. 2008. № 4. С. 15.
 19. Хомич В. Ю., Шмаков В. А. // УФН. 2015. Т. 185. № 5. С. 489.
 20. Ёлкин В. Н., Малинский Т. В., Миколуцкий С. И., Хасая Р. Р., Хомич Ю. В., Ямицков В. А. // ФХОМ. 2016. № 6. С. 5.
 21. Мухаметрахимов М. Х. // Письма о материалах. 2013. Т. 3. С. 276.
 22. Мухаметрахимов М. Х. // Письма о материалах. 2014. Т. 4. С. 195.

PACS: 42.62.-b, 42.55.Lt, 81.05.Bx

Laser processing of metal alloys for diffusion welding

Yu. A. Vashukov¹, S. F. Demichev¹, V. D. Elenev¹, T. V. Malinskiy², S. I. Mikolutskiy²,
Yu. V. Khomich², and V. A. Yamshchikov²

¹Samara University
34 Moskovskoe sh., Samara, 443086, Russia
E-mail: elenev@ssau.ru

²Institute for Electrophysics and Electric Power of the Russian Academy of Sciences
18 Dvortzovaya nab., St.-Petersburg, 191186, Russia
E-mail: mikolserg@mail.ru

Received January 28, 2019

A CuCrZr-bronze surface was treated with a scanning beam of the nanosecond laser pulses with an irradiation wavelength of 355 nm. On the irradiated surface, there were observed structures in the form of spheres with a diameter of about 500 nm located on legs up to 1 μm in height. The influence of the energy density of laser radiation and the scanning speed of laser beam on the formation of these submicron structures has been found. The possibility of improving the quality for metal alloys coupling at diffusion welding due to laser surface treatment of the workpieces has been investigated.

Keywords: surface nanostructuring, diffusion welding, nanosecond lasers, breaking strength, microstructures.

REFERENCES

1. I. Matsui, T. Uesugi, Y. Takigawa, and K. Higashi, *Acta Mater.* **61**, 3360 (2013).
2. L. Lu, Y. Shen, X. Chen, L. Qian, and K. Lu, *Science* **304**, 422 (2004)
3. S. L. Chernyshev, M. D. Gamirullin, A. P. Kuryachii, V. M. Litvinov, S. V. Manuilovich, D. A. Rusyanov, V. Yu. Khomich, S. I. Moshkunov, I. E. Rebrov, and V. A. Yamshchikov, *Aerosp. Sci. Technol.* **59**, 155 (2016).
4. M. S. Peterson, T. S. Fisher, S. V. Garimella, and D. J. Schlitz, in *ASM E. P. IMECE 2003*, p. 41775 (2003).
5. V. Yu. Khomich, M. V. Malashin, S. I. Moshkunov, E. A. Shershunova, and V. A. Yamshchikov, *IEEE Trans. Plasma Sci.* **42**, 3314 (2014).
6. R. Y. Lutfulin, M. H. Muhametrahimov, V. A. Valitov, Sh. H. Muhtarov, and P. A. Klassman, *Perspektivnye Materialy*, No. 12, 295 (2011)
7. R. G. Hazgaliev and M. H. Muhametrahimov, *Perspektivnye Materialy*, No. 12, 529 (2011).
8. A. A. Kuchmizhak, A. A. Ionin, S. I. Kudryashov, S. V. Makarov, A. A. Rudenko, Yu. N. Kulchin, O. B. Vitrik, and T. V. Efimov, *Opt. Lett.* **40**, 1687 (2015).
9. A. Kuchmizhak, D. Pavlov, O. Vitrik, and Y. N. Kulchin, *Applied Surface Science* **357 Part B**, 2378 (2015).
10. I. N. Zvestovskaya, *Quantum Electronics* **40**, 942 (2010).
11. K. E. Lapshin, A. Z. Obidin, V. N. Tokarev, V. Yu. Khomich, V. A. Shmakov, and V. A. Yamshchikov, *Rossiyskie nanotehnologii*, 2 (11-12), 50 (2007).
12. V. N. Tokarev, V. Yu. Khomich, V. A. Shmakov, and V. A. Yamshchikov, *Doklady Physics* **53** (4), 206 (2008).
13. A. Y. Vorobyev and C. Guo, *Appl. Phys. Lett.* **92**, 041914 (2008).
14. W. Pflöging, R. Adamietz, H. J. Brückner, M. Bruns, and A. Welle, *Proceedings of SPIE* **6459**, 645907 (2007).
15. V. Yu. Khomich, Yu. M. Urlichich, V. A. Shmakov, V. N. Tokarev, A. M. Galstyan, S. I. Mikolutskiy, T. V. Malinskiy, and D. V. Ganin, *Inorg. Mater.: Appl. Res* **4** (3), 201 (2013).
16. Yu. A. Zheleznov, T. V. Malinskiy, S. I. Mikolutskiy, V. N. Tokarev, R. R. Khasaya, Yu. V. Khomich, and V. A. Yamshchikov, *Prikl. Fiz.*, No. 3, 83 (2014).
17. S. A. Ahmanov, V. I. Emel'yanov, N. I. Koroteev, and V. N. Seminogov, *Sov. Phys. Usp.* **28**, 1084 (1985).
18. V. N. Tokarev, V. Yu. Khomich, V. A. Shmakov, and V. A. Yamshchikov, *Fizika i khimia obrabotki materialov*, No. 4, 15 (2008).
19. V. Yu. Khomich and V. A. Shmakov, *Phys. Usp.* **58**, 455 (2015).
20. V. N. Elkin, T. V. Malinskiy, S. I. Mikolutskiy, R. R. Khasaya, Yu. V. Khomich, and V. A. Yamshchikov, *Fizika i khimia*

obrabotki materialov, No. 6, 5 (2016)

21. М. Н. Muhametrahimov, Pis'ma o Materialakh **3**, 276 (2013).

22. М. Н. Muhametrahimov, Pis'ma o Materialakh **3**, 195 (2013).