

О.В. Афанасьєва, Н.О. Лалазарова

ЛАЗЕРНА ПОВЕРХНЕВА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ



УДК 621.7.048 +621.7.048 + 621.785.68

ББК 34.2

Л17

Рекомендовано Науково-методичною радою Харківського національного університету радіоелектроніки МОН України, протокол №12 від 12.12.2024 р.

Рецензенти:

Ододворець Л.В., доктор фізико-математичних наук, завідувачка кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету;

Комарова Г.Л., кандидат технічних наук, доцент Українського державного університету залізничного транспорту

Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О.

Л17 **Лазерна поверхнева обробка матеріалів** /друге вид., переробл і доповн. Харків: Факт, 2025. 105 с.
ISBN 978-617-8175-95-5

Розглянута взаємодія лазерного випромінювання з речовиною, поверхнєве лазерне зміцнення сталей, лазерне маркування металів і неметалів, лазерне очищення металів перед проведенням різноманітних технологічних операцій, що виконується за допомогою сучасного лазерного устаткування, в тому числі малопотужних імпульсних лазерів. Надані рекомендації з використання лазерів при поверхневому гартуванні, маркуванні та очищенні металевих та неметалевих матеріалів.

Табл. 2. Іл. 55. Бібліогр. найм. 30.

Усі права захищені

УДК 621.7.048 +621.7.048 + 621.785.68

ББК 34.2

DOI: 10 30837/978--617-8175-95-5-617-8175-95-5

ISBN 978-617-8175-95-5

©Афанасьєва О.В., 2025

©Лалазарова Н. О., 2025

© ХНУРЕ, 2025

© ХНАДУ, 2025

ВСТУП

Слово ЛАЗЕР є транскрипцією англійської абрєвіатури LASER, що відображає фізичну сутність процесу генерації лазерного випромінювання Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – посилення світла за допомогою вимушеного випромінювання.

Таким чином, лазерне випромінювання – це різновид електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, яке, маючи ряд унікальних фізичних властивостей, набуло широкого застосування в різних галузях науки і техніки.

Унікальні фізичні властивості лазерного випромінювання – висока монохроматичність і когерентність, низька розбіжність випромінювання і його високі питомі енергетичні характеристики дозволили створити перспективний вид висококонцентрованого джерела енергії, який знайшов широке застосування в різних галузях науки і техніки, промисловості і, зокрема, в машинобудуванні і приладобудуванні.

Лазерні технології останнім часом знаходять все більш широке застосування в промисловості, тому що розвиток сучасного виробництва зумовлює все зростаюче впровадження наукомістких технологій. Використання лазерної обробки матеріалів дозволяє забезпечити високу якість одержуваних виробів, задану продуктивність процесів, екологічну чистоту, а також економію людських і матеріальних ресурсів. В результаті використання лазерного променя для обробки матеріалів з'являється можливість внесення докорінних змін у технологію виготовлення виробів.

Ось що говорить про лазерну обробку академік М.Г. Басов: «Лазерний промінь – це унікальне теплове джерело, здатне нагріти опромінювану ділянку деталі до високих температур за такий малий час, протягом якого тепло не встигає «розтікатися». Ділянка, що нагрівається, може бути при цьому розм'якшеною, рекристалізованою, розплавленою, нарешті, її можна випаровувати. Дозуючи теп-

лові навантаження шляхом регулювання потужності і тривалості лазерного опромінення, можна забезпечити практично будь-який температурний режим і реалізувати різні види обробки. Лазерний нагрів використовується для поверхневого гартування і легування металів, для плавлення при зварюванні, для плавлення і випаровування з викидом парів при різанні і свердлінні».

Значна частина різновидів лазерної обробки вже успішно застосовується в промисловості, а деякі перебувають у стадії дослідження. Висока ступінь концентрації енергії, відсутність необхідності ведення процесу у вакуумі (на відміну від електронно-променевої обробки) і внаслідок цього можливість обробки елементів конструкцій будь-яких розмірів, легкість транспортування енергії лазерного випромінювання в просторі і простота автоматизації процесу є безсумнівними перевагами лазерної обробки матеріалів. Внаслідок цього в останні роки спостерігається підвищений інтерес до використання лазерів для обробки матеріалів у всіх промислово розвинених країнах.

Доцільним виявляється використання лазерів в процесах, де з його допомогою можливо виконання цілого ряду операцій одночасно або в одному технологічному циклі. Перевагою лазерної техніки є простота управління лазерним пучком, висока точність обробки і оперативність, відсутність механічного контакту, можливість обробки важкодоступних деталей, можливість створення вузьких каналів, спрямованих під кутом до оброблюваної поверхні.

Використання лазерів в першу чергу передбачається в тих технологічних процесах, які нездійсненні за допомогою інших джерел енергії або їх здійснення пов'язане з великими енергетичними та часовими витратами. Кращим виявляється застосування лазерів при термічній обробці елементів електронних схем, коли оброблювані ділянки поєднуються з ділянками або деталями, що мають низькотемпературну стійкість, а також для мікророзмірних і локальних термообробок. Останнім часом широко використовується лазерна

техніка в операціях, де обробка матеріалів за допомогою лазерів здійснюється з меншими енергетичними і трудовими затратами (наприклад, для обробки крихких, твердих і термостійких матеріалів) в порівнянні з іншими технологіями. У багатьох процесах виявилось можливим поєднувати лазерний вплив з іншими видами енергії, наприклад, з дією плазми електричного розряду, вибухової хвилі, ультразвуку, механічного та хімічного впливу. Це значно розширило коло завдань, що вирішуються за допомогою лазерної техніки. Дуже часто лазерна обробка проводиться в присутності хімічних, газових та інших робочих середовищ, що дозволяє проводити ряд робіт, нездійсненних в інших технологіях.

Необхідно відзначити, що в технічно розвинених країнах світового співтовариства лазерні технології вже увійшли до багатьох галузевих стандартів, що робить принципово неможливим участь у міжнародних коопераціях промислових підприємств, не оснащених лазерним обладнанням.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Laser machining by short and ultrashort pulses, state of the art and new opportunities in the age of the photons J Meijer, K Du, A Giller, D Hoffmann, VS Kovalenko... - CIRP Annals, 2002

2. Kovalenko V.S., Golovko L.F., Chernenko V.S. Uprochnenie i legirovanie detalej mashin luchom lazera [Hardening and alloying of machine parts with a laser beam]. Kiev. Tekhnika, 1990, 192 p. (In russian).

3. Peyre P., Fabbro R. Laser shock processing: a review of the physics and applications // Optical and Quantum Electronics. 1995. Vol. 27. P. 1213—1229.

4. D. Bäuerle, Laser Processing and Chemistry, 3rd edn. Springer, Berlin, 2000

5. Meyn, J.-P.; Laue, C.; Knappe, R.; Wallenstein, R.; Fejer, M.M. Fabrication of periodically poled lithium tantalate for UV generation with diode lasers // Applied Physics B: journal. — 2001. — Vol. 73, no. 2. — P. 111—114.

6. J. Reif, F. Costache, M. Bestehorn, Recent Advances in Laser Processing of Materials, ed. by J. Perrière, E. Millon, E. Fogarassy /E-MRS/Elsevier, Oxford, 2006

7. O.S. Hnatenko, O.V. Afanasieva, N.O. Lalazarova, Yu.S. Kur-skoy, E.N. Odarenko, Y.V. Sashkova, O.V. Ivanchenko, J. Nano- Elec-tron. Phys. **15** No 1, 01007 (2023).

8. Molpeceres C., Lauzurica S., Garcia-Ballesteros J. J., Morales M., Ocana J. L. Advanced 3D micromachining techniques using UV la-ser sources. Microelectronic Engineering. 2007; 84: 1337–1340.

9. R. Eason (ed.) Pulsed Laser Deposition of Thin Films: Applica-tions-Led Growth of Functional Materials/Wiley, New York, 2007

10. Bergstrom, D.; Powell, J.; Kaplan, A.F.H., /A ray-tracing anal-ysis of the absorption of light by smooth and rough metal surfaces, Jour-nal of Applied Physics, Vol. 101, No. 11, pp. 113504/1-11 (2007).

11. The Laser Technology in Quality Improvement of Stamping Tool Working Surfaces / V.Ya. Panchenko, V.V. Vasiltsov, V.S. Golubev, I.N. Shiganov, A. Plewinski, M. Gierzynska-Dolna, R. Szyndler, H. Weinert // —Laser Technologies in Welding and Materials Processing. Pp.24-31 Proc. Of International Conference May 19-23, 2003, Katsiveli, Crimea, Ukraine. Ed. By B.E.Paton and V.S. Kovalenko. Publ. E.O. Paton. Electric Welding Institute, NASU, Kiev 2003. Pp.92-95.

12. Application of laser technology in quality improvement of stamping tool working surfaces / V.Ya Panchenko, V.V. Vasiltsov, V.S.Golubev et al. // .Proc. SPIE: Vol. 4644 (2001). Pp. 133-140.

13. S. Balasubramanian, V. Muthukumaran and P. Sathyabalan, A Study on the Effect of Process Parameters of Laser Hardening in Carbon Steels /International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) Volume 8, Issue 9, September 2017, pp. 201–207

14. Santoshkumar V. Effects of laser hardening process parameters on hardness depth of Ck45 steel using Taguchi's optimization technique. Wagh et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 810 012027

15. Афанасьєва О. В., Дощечкіна І. В., Лалазарова Н. О. Лазерне поверхнєве зміцнення прецизійних деталей// Emerging Trends in Academic Research: Conference Proceedings of the 1st International Conference, February 10-12, 2021. Dublin, Ireland, Primedia elaunch LLC, p. 20-25.

16. Lewin Rathmann, Tim Radel Influence of laser hardening on laser induced periodic surface structures on steel substrates 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1135 012024

17. Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О., Івасишина К.С. Лазерне гартування УФ-випромінюванням// Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. научн. трудов.- Харьков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», 2019.- Вып. 2 (92).-С.80-84.

18. Лазерна поверхнева обробка матеріалів/ Монографія/ Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О., Федоренко Є.П. Харків : ФОП Панов А.М., 2020. 100 с.
19. . O.S. Hnatenko, O.V. Afanasieva, N.O. Lalazarova, Y.S. Kur-skoу, E.N. Odarenko, Y.V. Sashkova, O.V. Ivanchenko, J. Nano- Elec-tron. Phys. **15** No 2, 02031 (2023).
20. Failure in Fuel Injector Nozzles Used in Diesel Engines /José Costa de Macêdo Neto, Marina Anunciação Brito de Oliveira, Eduardo Rafael Barreda del Campo, Ricardo Wilson Aguiar Da Cruz, Nayra Reis do Nascimento, João Evangelista Neto/ Journal of Mechanics Engineer-ing and Automation 5 (2015) 237-240 .
21. Laser machining by short and ultrashort pulses, state of the art and new opportunities in the age of the photons J Meijer, K Du, A Gill-ner, D Hoffmann, VS Kovalenko... - CIRP Annals, 2002
22. Матеріалознавство : підручник / Дяченко С. С. , Дощечкіна І. В., Мовлян А. О., Плешаков . Х. : Вид-во ХНАДУ, 2007. 440 с.
23. ДСТУ 2887-94. Пакування та маркування. Терміни та ви-значення. – Введ. 2008-12-07. Київ, 2008. 30 с.
24. С. Emmelmann. Introduction to Industrial Laser Materials Pro-cessing. Rofin-Sinar, Hamburg, 1998, p.180.
25. Афанасьєва О. В., Лалазарова Н. О. Технологія лазерного кольорового маркування сталей. Вісник ХНАДУ. 2020. Вип. 88. С. 137-142.
26. Афанасьєва О. В., Дощечкіна І. В., Лалазарова Н. О., Сит-ников П. А. Дослідження впливу імпульсного лазерного гартування на властивості вуглецевих сталей. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доповідей XXVI міжна-родної науково- практичної конференції MicroCad-2018 : у 4 ч. Хар-ків : НТУ "ХП", 2018. С. 266-267.
27. Afanasieva Olga, Lalazarova Nataliia, Kirieiev Bohdan, Laser surface hardening// Materials of the XVI International scientific and

practical Conference Cutting-edge science, May 30 - June 7, 2020. Sheffield. Science and education LTD – p. 110-114.

28. Baykara T., Keskin N. Effects of Laser Hardening Treatment on the Wear Properties of the Vanadis 4 Extra and Vanadis 10 Tool Steels // International Journal of Metallurgy and Metal Physics, 2019. – Vol. 4, Issue 1. – 9 p.

29. The Theory of Laser Materials Processing (Ed. by John Dowden) (Springer Dordrecht: 2009).

30. Pulsed Laser Deposition of Thin Films: Applications-Led Growth of Functional Materials (Ed. by R. Eason) (Wiley: 2007).

ЗМІСТ

Вступ	3
1 ВЗАЄМОДІЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЧОВИНОЮ	6
1.1 Основні фізичні процеси лазерних технологій.....	6
1.2 Особливості лазерного випромінювання як інструмен- ту.....	14
1.3 Устаткування та вибір режимів лазерної оброб- ки.....	15
2 ПОВЕРХНЕВЕ ЛАЗЕРНЕ ЗМІЦНЕННЯ	23
2.1. Обладнання для поверхневого зміцнення	23
2.2 Визначення мікротвердості.....	25
2.3 Зміцнення одноімпульсною лазерною обробкою.....	27
2.4 Зміцнення багатоімпульсною лазерною обробкою	30
2.5 Зміцнення випромінюванням УФ-діапазону	33
3 ТЕХНОЛОГІЯ ЛАЗЕРНОГО МАРКУВАННЯ СТАЛЕЙ.....	39
3.1 Загальна характеристика процесів лазерного маркування	39
3.2 Лазерне кольорове маркування.....	42
3.3 Маркування полімерів.....	52
3.4 Маркування продуктів харчування.....	54
4 ЛАЗЕРНЕ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНІ МЕТАЛІВ.....	70
4.1 Аналіз традиційних методів очищення поверхні.....	70
4.2 Фізичні основи лазерного очищення поверхні.....	75
4.3 Вибір устаткування для лазерного очищення від іржі і технологічних забруднень.....	85
4.4 Розробка режимів лазерного очищення від іржі і технологічних забруднень.....	90
Висновки.....	98
Список літератури.....	101

Наукове видання

АФАНАСЬЄВА Ольга Валентинівна

ЛАЛАЗАРОВА Наталія Олексіївна

ЛАЗЕРНА ПОВЕРХНЕВА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ

МОНОГРАФІЯ

Відповідальний випусковий *О.С. Гнатенко*
Комп'ютерна верстка *Лалазарова Н.О.*
Дизайн *Афанасьєва О.В.*

В авторській редакції

Формат 60x90 1/16. Ум. друк. арк. 6,56

Тираж 100 прим. Зам. № 17-11/25

Видавництво «Факт»

Україна, 61166, м. Харків, вул. Бакуліна, 11 оф. 2-26.

+38(050) 323 22 01, publish_fakt@ukr.net

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3172 від 22.04.08 р.

Надруковано ФОП Секішова Т.Є.

61072, м. Харків, вул. Вартових Неба (Тобольська), 42-а

067-709-71-16, u2-u2@ukr.net, u2print.com.ua

Свідоцтво про державну реєстрацію за № 2т 480 000 0000 079758 від

21.05.2007 р.