

Формирование структур материалов с улучшением свойств лазерным воздействием с применением дифракционной оптики

В.А. Данилов

Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН

Москва, Россия

viktordanilov@bk.ru

Аннотация — Вопросы улучшения совокупности физических и механических характеристик материалов представляют собой одну из наиболее актуальных сфер исследовательской деятельности с целью дальнейшего решения важных практических вопросов в самых разнообразных направлениях развития промышленности. Благодаря целенаправленному изменению строения структуры материалов становится возможным осуществлять управление их прочностью, твердостью и гибкостью, повышать сопротивление коррозии и уменьшать количество энергии на трение. Для осуществления подобных передовых методик используют лазерную обработку. Показана целесообразность применения дифракционной оптики для перераспределения интенсивности лазерного излучения в фокальной плоскости, которое в значительной степени определяет протекание процессов структуризации в обрабатываемых материалах. Формирование определенного пространственного профиля интенсивности в заданной области на поверхности материала может быть достигнуто только при использовании соответствующих оптических систем, обеспечивающих необходимый температурный эффект.

Ключевые слова — воздействие лазерное; материал; структура; свойства физические и механические; оптика дифракционная; интенсивность лазерного излучения; перераспределение

1. ВВЕДЕНИЕ

Вопросы улучшения совокупности физических и механических характеристик материалов представляют собой одну из наиболее актуальных сфер исследовательской деятельности с целью дальнейшего решения важных практических вопросов в самых разнообразных направлениях развития промышленности. Благодаря целенаправленному изменению строения структуры материалов становится возможным осуществлять управление их прочностью, твердостью и гибкостью, повышать сопротивление коррозии и уменьшать количество энергии на трение. Для осуществления подобных передовых методик используют лазерную обработку [1].

Современной тенденцией в машиностроительных технологиях стало активное внедрение высокоэнергетических лазерных технологий, отличительной характеристикой которых считается то, что значение плотности энергии концентрированного потока излучения может превышать аналогичное значение практически любых из существующих источников нагрева. Обоснованность и преимущество использования методов лазерной обработки определяются возможностями бесконтактной, строго выверенной дозированной доставки энергии большой интенсивности на обрабатываемую поверхность образца [2]. Происходящие при этом физические явления локализуются в зоне термического влияния как по

глубине, так и по площади, при этом первоначальные свойства материала сохраняются в пределах оставшегося объема детали и при отсутствии существенной ее деформации. Существующая возможность регулирования уровня энергии, который достаточно высок, позволяет использовать один и тот же источник лазерного излучения для различных технологических операций, связанных с нагревом, плавлением и испарением материалов [3]. Для перераспределения интенсивности лазерного излучения в фокальной плоскости, которое в значительной степени определяет протекание процессов структуризации в обрабатываемых материалах целесообразно применения дифракционной компьютерной оптики.

2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР В МАТЕРИАЛАХ ЛАЗЕРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Вопреки несомненным достоинствам применения источников лазерной энергии по сравнению с прочими, данная техника и технологии пока не получили своего самого широкого практического применения в машиностроительном производстве для выполнения основных технологических процессов, например, термической закалки или упрочнения, разупрочнения и получения неразъемных соединений. Согласно множеству публикуемых результатов экспериментальных исследований, важнейшим фактором, оказывающим существенное влияние на процесс формирования физических и механических характеристик материалов и эксплуатационных качеств продукции при действии сосредоточенных энергетических потоков, несомненно, остается величина температуры обрабатываемой области. Ключевой проблемой, сдерживающей внедрение в практику машиностроения технологических процессов обработки с использованием лазерного оборудования, считается имеющееся несовпадение пространственного профиля интенсивности излучения для требуемой или желаемой модификации свойств объектов обработки [4].

Работы [5-7] направлены на создание способов структуризации материалов для улучшения их свойств лазерным воздействием. В ходе проведения исследований были проведены эксперименты по формированию лазерного излучения с помощью дифракционной оптики свободной формы [8-11], проведен расчет тепловых процессов при лазерном воздействии на различные материалы с учетом изменения коэффициента поглощения поверхности. Показана эффективность использования дифракционных оптических элементов для перераспределения интенсивности лазерного излучения в фокальной плоскости, которое в значительной степени влияет на протекание процессов структуризации в обрабатываемых материалах [12, 13].

Установлены закономерности и особенности формирования наноструктур металлических материалов различной морфологии [15, 16]. Прогрессивным направлением создания нанопористых слоев на поверхности металлических материалов является использование разработанного метода формирования наноразмерных пористых структур твердых кристаллических материалов [17–19]. Рассмотрены возможности создания импульсно-периодическим лазерным воздействием массивов квази-одномерных ZnO наноструктур с регулируемой микроморфологией на металлической подложке. Для того чтобы эффективно управлять процессами наноструктурирования, применены системы формирования лазерного излучения с дифракционной оптикой свободной формы, которые позволяют обеспечить предопределенное пространственное перераспределение энергии.

Определены также возможности модификации поверхности керамики на основе карбида кремния путем микроструктурирования импульсно-периодическим лазерным воздействием с длительностью импульса в миллисекундном, наносекундном и фемтосекундном диапазонах. Установлены режимы лазерного микроструктурирования поверхности газодинамических уплотнений на основе карбидокремниевой керамики [20].

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показана целесообразность применения дифракционных оптических элементов для перераспределения интенсивности лазерного излучения в фокальной плоскости, которое во многом определяет протекание процессов структуризации в обрабатываемых материалах. Формирование определенного пространственного профиля интенсивности в заданной области на поверхности материала может быть достигнуто только при использовании соответствующих оптических систем, обеспечивающих необходимый температурный эффект. Установлены закономерности и особенности структурирования материалов различной морфологии. Определены режимы лазерного микроструктурирования поверхности газодинамических уплотнений на основе керамики из карбида кремния. Полученные результаты дают возможность совершенствования процессов лазерной обработки материалов, а также проведения дальнейших исследований, направленных на поиск новых подходов к формированию упорядоченных структурированных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lawrence, J.R. *Advances in Laser Materials Processing: Technology, Research and Applications*; 2nd ed. / J.R. Lawrence (Ed.) – Oxford, UK: Woodhead Publishing, 2017. – 802 p.
- [2] Dowden, J.; Schulz, W. (Eds.) *The Theory of Laser Materials Processing: Heat and Mass Transfer in Modern Technology*, 2nd ed. / J. Dowden, W. Schulz (Eds.) – Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 2017. – 442 p.
- [3] Dickey, F.M. *Laser Beam Shaping Applications*; 2nd ed. / F.M. Dickey, T.E. Lizotte (Eds.) – Boca Raton, USA: CRC Press Taylor & Francis, 2017. – 442 p.
- [4] Мурзин, С.П. Формирование структур материалов лазерным воздействием для повышения эксплуатационных свойств деталей в авиадвигателестроении / С.П. Мурзин // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 3. – С. 353-359.
- [5] Мурзин, С.П. Повышение эффективности лазерной обработки материалов при использовании элементов компьютерной оптики / С.П. Мурзин // Перспективные материалы. – 2003. – Т. 2. – С. 74–78.
- [6] Казанский, Н.Л. Формирование требуемого энергетического воздействия при лазерной обработке материалов с применением фокусаторов излучения / Н.Л. Казанский, С.П. Мурзин, С.Ю. Ключков // Компьютерная оптика. – 2005. – Т. 28. – С. 89–93.
- [7] Досколович, Л.Л. Исследование оптических систем управления передачей высоких энергий / Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский, В.И. Мордасов, С.П. Мурзин, С.И. Харитонов // Компьютерная оптика. – 2002. – Т. 23. – С. 40–43.
- [8] Murzin, S.P. Use of diffractive optical elements for beam intensity redistribution / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy // *Proceedings of SPIE*. – 2020. – Vol. 11516. – P. 115160H. DOI: 10.1117/12.2565994.
- [9] Murzin, S.P. Study of the beam intensity redistribution in the focal plane of diffractive optical element / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy // *Proceedings of SPIE*. – 2019. – Vol. 11146. – P. 111460V. DOI: 10.1117/12.2525256.
- [10] Murzin, S.P. Laser beam shaping with purposefully changing of spatial power distribution / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy // *Proceedings of SPIE*. – 2018. – Vol. 10774. – P. 107740Q. DOI: 10.1117/12.2317480.
- [11] Murzin, S.P. Determination the allowable error to adjustment of a diffractive optical element and the accuracy demanded to set the parameters of the focused beam / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy // *Proceedings of SPIE*. – 2017. – Vol. 10342. – P. 103420S; doi:10.1117/12.2270705.
- [12] Мурзин, С.П. Селективная модификация двухфазной стали DP 1000 лазерным воздействием с применением дифракционного оптического элемента / С.П. Мурзин, М.В. Блохин // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 773-779. – DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-5-773-779.
- [13] Murzin, S.P. Local laser annealing for aluminium alloy parts / S.P. Murzin // *Lasers in Engineering*. – 2016. – Vol. 33(1–3). – P. 67–76.
- [14] Murzin, S.P. Laser irradiation for enhancing mass transfer in the solid phase of metallic materials / S.P. Murzin // *Metals*. – 2021. – Vol. 11(9). – P. 1359. DOI: 10.3390/met11091359.
- [15] Murzin, S.P. Arrays formation of zinc oxide nano-objects with varying morphology for sensor applications / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20(19). – P. 1-19. doi: 10.3390/s20195575
- [16] Murzin, S.P. Study of Cu-Zn alloy objects vibration characteristics during laser-induced nanopores formation / S.P. Murzin, A.B. Prokofiev, A.I. Safin // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 176. – P. 552–556. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.297.
- [17] Murzin, S.P. Influence of initial surface condition on intensity of porous structure formation in a metallic material during laser action / S.P. Murzin, E.E. Kostriukov, V.A. Glushchenkov, S.A. Afanasiev, M.V. Blokhin // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2016. – Vol. 1638. – P. 83–88. DOI: 10.18287/1613-0073-2016-1638-83-88.
- [18] Murzin, S.P. Determination of conditions for nanoporous structure formation in a metallic material by pulse-periodic laser action / S.P. Murzin, A.I. Safin, A.A. Shimanov, M.V. Blokhin, S.A. Afanasiev // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2016. – Vol. 1638. – P. 89–94. DOI: 10.18287/1613-0073-2016-1638-89-94.
- [19] Murzin, S.P. Improvement of thermochemical processes of laser-matter interaction and optical systems for wavefront shaping / S.P. Murzin // *Applied Sciences*. – 2022. – Vol. 12. – P. 12133. DOI: 10.3390/app122312133.
- [20] Murzin, S.P. Ultraviolet nanosecond laser treatment to reduce the friction coefficient of silicon carbide ceramics / S.P. Murzin, V.B. Balyakin, C. Gachot, S.A. Fomchenkov, M.V. Blokhin, N.L. Kazanskiy // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11. – P. 11906. DOI: 10.3390/app112411906.