

- [4] Li Songfeng. Development status and development trend of my country's wind power equipment industry [J]. Value Engineering, 2019 (38).
- [5] Analysis of China's wind power industry development and future development trends in 2018. China Industry Information Network.
- [6] Yan Qi. my country's wind power development status [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2002 (4).
- [7] Luo Chuan. Analysis of the development status of my country's wind power industry [J]. Digital Design (Part 2), 2019 (2).
- [8] Meng Ming, Wang Xiping, Xu Zhenlin. Wind turbines and related technologies [J]. Micro and Special Motor, 2004, 32 (9): 37-39, 42.
- [9] Wang Xuxu, Liu Yi, Jiang Na, et al. Overview of wind power technology development [J]. Electrical Switch, 2013, 51(3): 16-19.
- [10] Cui Wei, Eskar. Current status and development trend of wind power technology at home and abroad [J]. Electrical Appliances and Energy Efficiency Management Technology, 2019 (13): 1-5.
- [11] He Dexin. Summary of sustainable development of wind energy technology [J]. Electric Power Equipment, 2008, 9 (11).
- [12] Ye Jun, Zhong Yajuan. Summary of offshore wind energy utilization and its cost analysis [J]. Solar Energy, 2018 (6).
- [13] Zhao Jianzhu, Mao Enrong, Dong Sheng, et al. Wind energy utilization and sustainable development [J]. Agricultural Mechanization Research, 2004 (6): 40-42.

УДК 621.793

## ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ЧУГУННЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Косякова И.М., Девойно О.Г. д.т.н.*

**ОНИЛ «Плазменные и лазерные технологии»**

*e-mail: i.kosyakova88@gmail.com*

**Summary** *The article presents the study results of the microhardness and microstructures of gray cast iron СЧ20 after laser quenching and laser alloying with silicon carbide. The treatment was performed using a continuous CO<sub>2</sub> laser with a power of 1 kW at a laser beam speed of 100-1100 mm/min. As a result of laser surface alloying of gray cast iron SiC, the microhardness increased from 2.2 GPa (initial structure) to 10.6...12.8 GPa (after quenching 6.1...7.7 GPa).*

**Ключевые слова.** *лазерное легирование, лазерная закалка, карбид кремния, микроструктура, микротвердость.*

### **Введение**

Серые чугуны нашли широкое применение в машиностроении. Поверхность чугунных деталей подвергается тяжелым локальным нагрузкам и значительному износу. В следствие чего возникает необходимость проводить поверхностное упрочнение сопрягаемых поверхностей. С точки зрения эффективности, экономичности и качества в настоящее время наиболее предпочтительным является использование высококонцентрированных источников нагрева – например, лазерное упрочнение [1-2]. Лазерные технологии поверхностной обработки материалов находят все большее и разнообразное применение [2-4]. Лазерная закалка применяется для упрочнения серого чугуна, а для придания поверхности чугунных деталей дополнительных свойств применяется лазерное легирование. В данной работе рассмотрено сравнение лазерной закалки и лазерного легирования серого чугуна СЧ20.

## Методика проведения исследований

Шликерная обмазка наносилась на подготовленную дробеструйной обработкой поверхность образцов из чугуна СЧ20 прямоугольной формы сечением 10x10 и длиной 30 мм. Обмазка состояла из модифицирующей добавки SiC с небольшим количеством связующего (2%-ный раствор клея «АГО» в ацетоне). Для оплавления поверхности чугунных заготовок использовался CO<sub>2</sub>-лазер Комета-2 непрерывного излучения мощностью лазерного излучения N=1 кВт.

Измерение микротвердости зоны оплавления и зоны термического влияния проводили с использованием микротвердомера ПМТ-3 (нагрузка - 100 г.). Анализ микроструктуры после легирования и закалки проводили с использованием микроскопа MICRO-200 (увеличение от 100 до 1000 раз). Для выявления микроструктуры образцы подвергались травлению 4 %-ым раствором азотной кислоты в спирте.

## Результаты и обсуждение

При лазерном легировании и при лазерной закалке зона лазерного легирования серого чугуна состоит из закалки из жидкой фазы (зоны оплавления) и закалки из твердой фазы. При лазерной закалке и при лазерном легировании в зоне оплавления отсутствуют графитные включения, а структура представляет собой дендриты, состоящие из ветвей первого и второго порядка (рисунок 1).

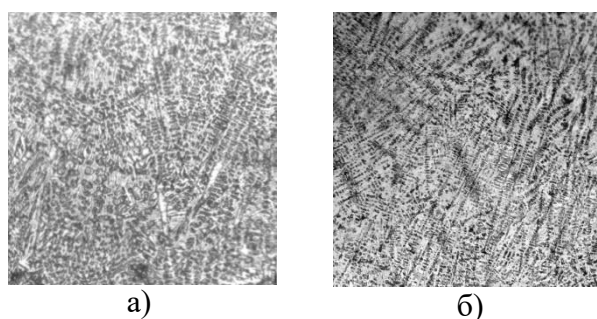


Рисунок 1 - Структура исследованного чугуна СЧ20 в зоне оплавления при d=2 мм, v=100 мм/мин, а) лазерная закалка, б) лазерное легирование SiC, x500

Глубина зоны лазерного воздействия и при лазерном легировании и при лазерной закалке примерно одинаковая и составляет 0,75...0,9 мм.

Лазерная закалка позволяет увеличить микротвердость чугуна до 6,1-7,7 ГПа, а лазерное легирование – до 10,6-12,8 ГПа, при этом твердость основы чугуна составляет 1,9-2,3 ГПа. Таким образом, можно сделать вывод, что лазерное легирование является более эффективным, чем лазерная закалка.

На рисунке 2 представлены графики распределения микротвердости и глубины зоны лазерного воздействия при различных скоростях перемещения пятна нагрева.

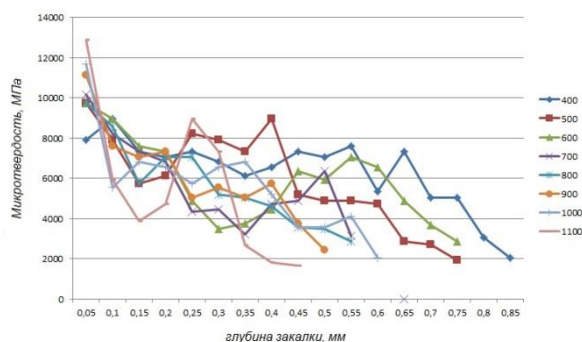


Рисунок 2 - Зависимость микротвердости и глубины зоны лазерной закалки серого чугуна СЧ20, от скорости пятна нагрева в диапазоне скоростей от 400 мм/мин до 1100 мм/мин, d=1 мм

Максимальная микротвердость на поверхности чугуновых заготовок, как видно из рисунка 2, наблюдалась при скорости перемещения пятна лазерного луча 900 мм/мин. Общей закономерностью для всех скоростей перемещения луча лазера является уменьшение микротвердости с увеличением глубины зоны лазерного воздействия, что связано с переходом от режима закалки из жидкой фазы к режиму закалки из твердой фазы.

#### **Заключение**

В результате легирования серого чугуна SiC микротвердость повысилась от 2,3 ГПа (исходная структура) до 10,6...12,8 ГПа после лазерного легирования, после закалки твердость составляет 6,1...7,7 ГПа.

#### *Литература*

1. Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с. : ил.
2. Девойно, О.Г. Поверхностное упрочнение серого чугуна совмещенной лазерной и ультразвуковой обработкой / О.Г. Девойно, С.Ф. Кукин, Н.В. Спиридонов, О.С. Кобяков, Е.Л. Бузун // Наука и техника. – 2013. – № 2. – С. 3–6.
2. Гилев, В. Г. Лазерное инжекционное легирование аустенитного чугуна ЧН16Д7ГХ титаном / В. Г. Гилев, Е. А. Морозов // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – № 3. – С. 44–52.
3. Gilev, V. Laser Quenching Of Axial Bearings In Submersible Multistage Pumps Made Of Steel-Brass Pseudo-Alloy / V. Gilev, E. Morozov, A. Khanov, T. Ablyaz // International Journ. of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 20. – P 40861–40868.
4. Mordike, B.L. Improvement of wear properties by laser surface treatment / B. L. Mordike // Proc. 3d Eurohean Cjnf. «Laser Treatment of Materials. ECLAT'90» 2 Vol. Eds. H.W. Bergmann, R/ Kupfer. – Vol. 1. – P. 371-376.