

К ВОПРОСУ О ЛАЗЕРНОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ ЧУГУННЫХ ИЗДЕЛИЙ

И.М. Косякова, канд. техн. наук М.А. Кардаполова, д-р техн. наук О.Г. Девойно, БНТУ, г. Минск

Резюме – в статье представлены результаты исследования микротвердости и микроструктур серого чугуна СЧ20 после лазерной закалки и лазерного легирования нитридом алюминия. Обработку осуществляли с использованием непрерывного CO₂-лазера мощностью 1 кВт при скорости движения лазерного луча 100–900 мм/мин. В результате лазерного поверхностного легирования серого чугуна AlN микротвердость повысилась от 2,2 ГПа (исходная структура) до 12...14 ГПа (после закалки 5...7 ГПа). На микротвердость серого чугуна после лазерного легирования оказывают значительное влияние скорость лазерного луча. Корреляция между скоростью обработки и микротвердостью составляет 90-95 %.

Ключевые слова: лазерное легирование, лазерная закалка, нитрид алюминия, микроструктура, микротвердость.

Введение. Серые чугуны нашли широкое применение в машиностроении для изготовления корпусных деталей. Поверхность чугунных деталей подвергается тяжелым локальным нагрузкам и значительному износу (усталостному, абразивному и адгезионному). 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 [5-7], которая позволяет увеличить микротвердость поверхности чугунных деталей. Для придания поверхности чугунных деталей дополнительных свойств применяется лазерное легирование. В данной работе рассмотрено сравнение лазерной закалки и лазерного легирования серого чугуна СЧ20 нитридом алюминия.

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 AlN с небольшим количеством связующего (2%-ный раствор клея «AGO» в ацетоне). Для оплавления поверхности чугунных заготовок использовался CO₂-лазер Комета-2 непрерывного излучения мощностью лазерного излучения $N = 1$ кВт и диаметром пятна лазерного луча - $d = 2,0 \times 10^{-3}$ м). 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. Заготовки образцов чугуна до лазерной обработки имели феррито-перлитную структуру, в которой преобладает перлит (рисунок 1). Форма графитных включений – пластинчатая.

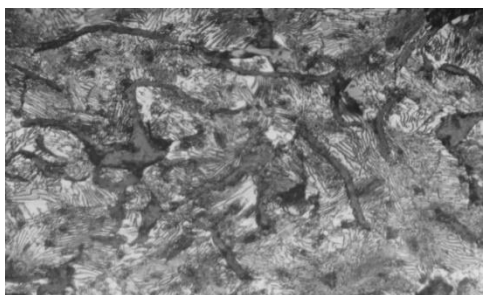
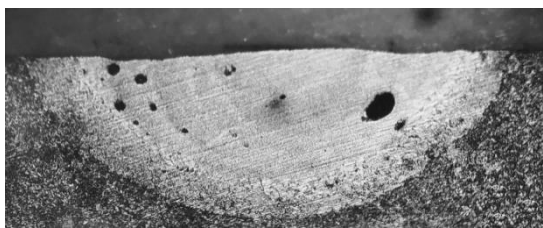


Рисунок 1 - Микроструктура серого чугуна СЧ20 до лазерной обработки, x500

Результаты и обсуждение. Структура покрытий в сечении лазерных дорожек, упрочненных лазерной обработкой (лазерным легированием и лазерной закалкой) при скорости перемещения луча лазера 100 мм/мин представлена на рисунке 2.



а)



б)

Рисунок 2 – Вид сечения зоны лазерного плавления серого чугуна при скорости перемещения лазерного луча 100 мм/мин, x100 (а – лазерное легирование; б – лазерная закалка)

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 3).



Рисунок 3 – Структура исследованного чугуна SCh20 в зоне оплавления, х990

Глубина зоны лазерного воздействия и при лазерном легировании и при лазерной закалке примерно одинаковая и составляет 1,05...1,10 мм. На рисунке 4 представлено распределение микротвёрдости серого чугуна по глубине зоны упрочнения при лазерной закалке и при лазерном легировании.

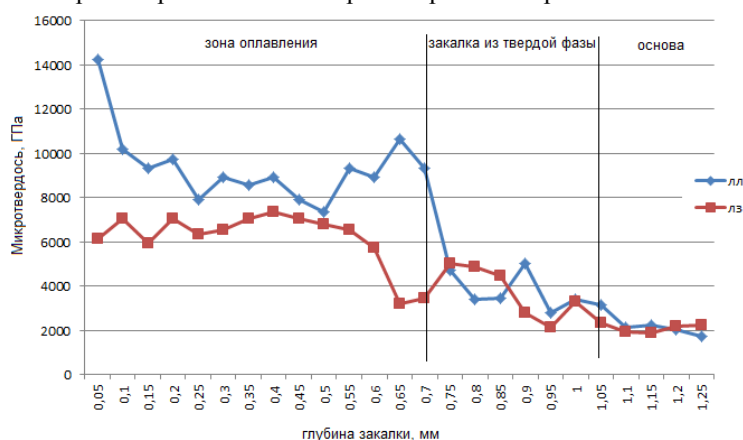


Рисунок 4 – Распределение микротвёрдости по глубине зоны лазерного термоупрочнения при лазерном легировании (ЛЛ) и при лазерной закалке (ЛЗ), скорость перемещения луча лазера 100 мм/мин

Как видно из рисунка, лазерная закалка позволяет увеличить микротвёрдость чугуна до 6,1-7,7 ГПа, а лазерное легирование – до 10,1-14,1 ГПа, при этом твердость основы чугуна составляет 1,9-2,3 ГПа. Можно предположить, что увеличение микротвёрдости чугуна после лазерного легирования связано с тем, что алюминий при быстром нагреве и быстром охлаждении легирует матрицу серого чугуна и, соединяясь с железом, образует алюминиды железа. Таким образом, можно сделать вывод, что лазерное легирование является более эффективным, чем лазерная закалка.

Далее исследования проводили только при лазерном легировании. На рисунке 5 представлены графики распределения микротвёрдости и глубины зоны лазерного воздействия при различных скоростях перемещения пятна нагрева.

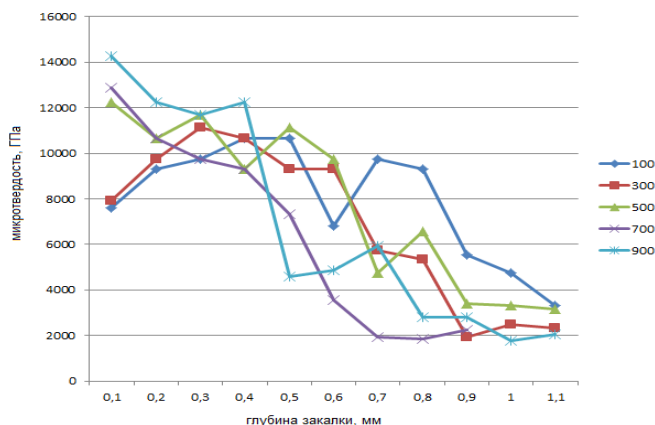


Рисунок 5 – Распределение микротвёрдости по глубине зоны лазерного воздействия серого чугуна при скоростях перемещения луча лазера 100 мм/мин - 900 мм/мин, d=1 мм

Максимальная микротвердость на поверхности чугунных заготовок, как видно из рисунка 5, 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. По данным полученных результатов проводили корреляционный анализ с использованием программы «Аррохиматор». Для каждой пары факторов рассчитывали коэффициенты парной корреляции по всем возможным вариантам взаимодействий. График парного взаимодействия с наибольшим коэффициентом корреляции представлен на рисунке 6.

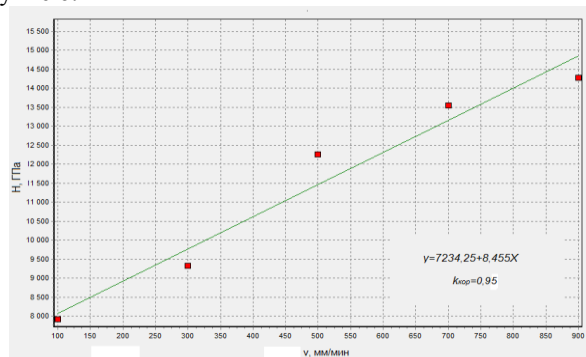


Рисунок 6 - Зависимость скорости движения луча лазера на микротвердость серого СЧ20 чугуна

Между скоростью перемещения луча и микротвердостью серого чугуна наблюдается положительная корреляция - с увеличением скорости движения луча микротвердость увеличивается. Микротвердость хорошо коррелирует со скоростью обработки (коэффициент корреляции 0,95).

Заключение. В результате легирования серого чугуна AlN микротвердость повысилась от 2,3 ГПа (исходная структура) до 12...14 ГПа после лазерного легирования, после закалки твердость составляет 5...7 ГПа. Нитрид алюминия растворяется в расплаве чугуна и при охлаждении алюминий легирует матрицу чугуна, повышая прочностные свойства материала и реагируя с железом, образует алюминиды железа. На микротвердость серого чугуна после лазерного легирования оказывают значительное влияние параметры лазерной обработки: с увеличением скорости микротвердость увеличивается. Корреляция между скоростью обработки и микротвердостью составляет 90-95 %.

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. Abylaz // 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.
5. Чеканова, Н. Т. Исследование влияния мощного CO₂ - лазера и свойства чугунов, применяемых в автомобилестроении: Дисс. канд. тех. наук. - Завод ВТУЗ при Моск. автом. з-де им. И.А. Лихачева, 1981. – 187 с.
6. Ходаковский, В. М. Особенности лазерного упрочнения чугунных деталей судовых технических средств / В. М. Ходаковский, Е. П. Патенкова // Металлообработка. – 2003. – № 4. – С. 26–29.
7. Сафонов, А. Н. Изучение структуры и твердости поверхности железоуглеродистых сплавов после их оплавления лазерным излучением / А. Н. Сафонов // МиТОМ. – 1999. – № 1. – С. 7–10.

УДК 664, 653

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ТЕСТОМЕСИЛЬНЫХ МАШИНАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

канд. техн. наук **И. Н. Литовченко**, канд. техн. наук **М.С. Шнак**, **А.И. Литовченко**, НУХТ, Киев, Украина
 Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина

Резюме. В настоящее время еще не существует последовательной теории перемешивания неньютоновской вязкой жидкости, к которой относится хлебное тесто. Одним из способов, который дает возможность качественно "воспроизвести" процесс замеса опары или теста в хлебопекарном производстве является метод компьютерного моделирования. В качестве примера, проанализировано качество замеса теста и