

В. А. Гурьев¹, Ю. В. Гребнев², В. Ф. Жаркова², Д. Ю. Гребнев²
ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ОТЛИВОК ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

¹ ООО «Волнар»

² Волгоградский государственный технический университет

e-mail: des_block_1@mail.ru

Статья посвящена исследованию возможности повышения твердости и износостойкости деталей из серого чугуна СЧ20.

Приведены результаты измерения микротвердости и определения износостойкости обработанных непрерывным излучением поверхностных слоев.

Показано, что лазерная закалка деталей, изготовленных из серого чугуна, является эффективным средством повышения их твердости и износостойкости.

Ключевые слова: лазерная закалка, зона лазерного воздействия, эффективная толщина упрочненного слоя, микротвердость, износостойкость

V. A. Guriev¹, Yu. V. Grebnev², V. F. Zharkova², D. Yu. Grebnev²
LASER PROCESSING OF CASTINGS FROM GREY CAST IRON

¹ ООО "Volnar",

² Volgograd State Technical University

The article is devoted to the study of the possibility of increasing the hardness and wear resistance of parts made of gray cast iron SH-20, in particular, shot blasting blades.

The results of measuring microhardness and determining the wear resistance of surface layers treated with continuous radiation are presented.

It is shown that laser hardening of parts made of grey cast iron is an effective means of increasing their hardness and wear resistance.

Keywords: laser hardening, laser exposure zone, effective thickness of the hardened layer, microhardness, wear resistance

Введение

Одной из приоритетных задач современного машиностроения является повышение ресурса ответственных деталей и узлов механизмов, работающих в жестких условиях механического нагружения. Из опыта эксплуатации оборудования различного функционального назначе-

ния известно, что одной из определяющих причин преждевременного выхода из строя широкой номенклатурой деталей являются процессы разрушения поверхностных слоев в результате механического, теплового и коррозионного воздействия. Успешному решению данной проблемы должны способствовать научно техни-

© Гурьев В. А., Гребнев Ю. В., Жаркова В. Ф., Гребнев Д. Ю., 2025.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке ВолгГТУ (из средств программы развития «Приоритет 2030» по соглашению № 075-15-2025-063) в рамках научного проекта № 8/632-24

ческие разработки, направленные на исследование перспективных методов упрочнения, позволяющие получать поверхностные слои материала с заданными свойствами.

Особые свойства концентрированных потоков энергии, а именно высокое пространственно-временная когерентность и монохроматичность, а также ряд технологических и экономических преимуществ по сравнению с традиционными методами химико-термической обработки послужили основой широкого использования технологии лазерной закалки для изделий из железоуглеродистых сталей и сплавов, работающих в условиях трения и износа.

Учитывая более низкую стоимость серого чугуна, по сравнению с другими сплавами, малую усадку, высокую текучесть расплавов, пониженную температуру кристаллизации, а также отсутствие предрасположенности к формированию раковин представляет значительный интерес к проведению исследований по возможности модификации поверхностных слоев данного материала с использованием концентрированных источников энергии, например, непрерывного излучения CO₂-лазера.

Следует отметить, что именно лазерная поверхностная обработка деталей из серого чугуна, особенно с конструктивными концентраторами напряжений, может значительно повысить трещиностойкость материала по сравнению с объемной закалкой, когда твердость по всему сечению изделия достигает 450–500 HB.

Целью настоящей работы является исследование возможности повышения твердости и износостойкости деталей из серого чугуна при помощи непрерывного излучения CO₂-лазера.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования использовали отливки из серого чугуна СЧ20 [1] диаметром 30 мм после токарного чистового точения.

Лазерную обработку проводили при на непрерывном CO₂-лазере мощностью 900 Вт. С целью увеличения поглощения световой энергии, обработанную поверхность покрывали зеленой гуашью.

Для формирования единичных дорожек с различной микротвердостью и глубиной зоны лазерного воздействия угловая скорость перемещения луча по обрабатываемой поверхности варьировалась в интервале от 2 до 20 мм/с.

Диаметр лазерного луча во всех случаях составлял 4 мм.

Микростроение металла изучали металлографическим методом с использованием микроскопа «Neophot» при увеличении $\times 100$.

Химическое травление шлифов осуществляли в трехпроцентном растворе HNO₃.

Микротвердость по глубине зоны лазерного воздействия определяли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1Н [2].

Триботехнические испытания проводились на установке «Шкода Савин» при внедрении вращающегося эталонного ролика из стали ШХ15, твердость HRC61, диаметром 40 мм и шириной рабочей зоны 3 мм в исследуемую поверхность.

Параметры испытаний на износостойкость:

- тип трения – трение скольжения;
- удельная нагрузка на поверхность трения – 10 кгс;
- скорость вращения ролика – 120 об/мин.;
- охлаждающая и абразивное среда – водный раствор дихромата калия;
- время испытаний – внедрение эталонного ролика в исследуемую поверхность на глубину эффективной толщины лазерного слоя;
- метод контроля глубины внедрения ролика – индикатор часового типа с ценой деления 0,001 мм;
- критерий износостойкости – время внедрения эталонного ролика в исследуемую поверхность на глубину эффективной толщины лазерного слоя.

Результаты исследований и их обсуждения.

В таблице приведен химический состав, исследуемый отливки из серого чугуна из СЧ20.

Химический состав исследуемой отливки из серого чугуна из СЧ20

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Ti
3,38	0,50	1,7	0,09	0,094	0,12	0,09	0,03

В результате металлографических исследований установлено, что микроструктура серого чугуна в исходном состоянии состоит из мелко- и среднего пластинчатого графита, перлитной металлической основы, до 2 % феррита и отдельных включений двойной фосфидной эвтектики (рис. 1).

Данная микроструктура определяет твердость отливки из серого чугуна СЧ20, которая как средняя арифметическая величина по трем измерениям составляет 229HB.

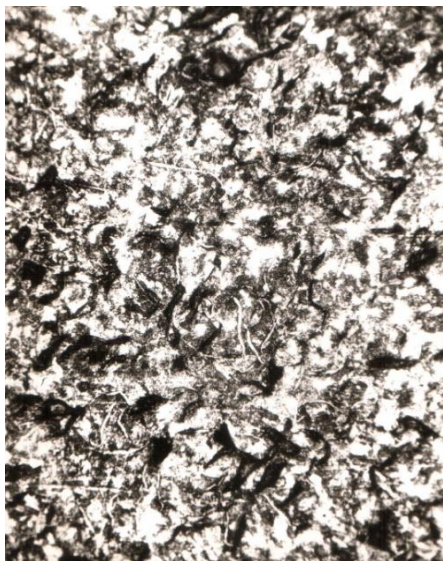


Рис. 1. Микроструктура металла отливки из серого чугуна СЧ20, $\times 100$

На рис. 2 приведен вид макрошлифа отливки из серого чугуна с лазерными дорожками, нанесенными с различной угловой скоростью перемещения из луча по обрабатываемой поверхности. Видно, что при одинаковых мощности излучения (900 Вт) и диаметра луча (4 мм) скорость обработки оказывает решающее влияние на глубину зоны лазерного воздействия (светлые участки на поверхности макрошлифа). Так, например, при перемещении луча по обрабатываемой поверхности со скоростью 20; 15; 10; 6; 4 и 2 мм/с формируются лазерные дорожки глубиной 0,2; 0,4; 0,6; 0,9; 1,2 и 1,3 мм соответственно.

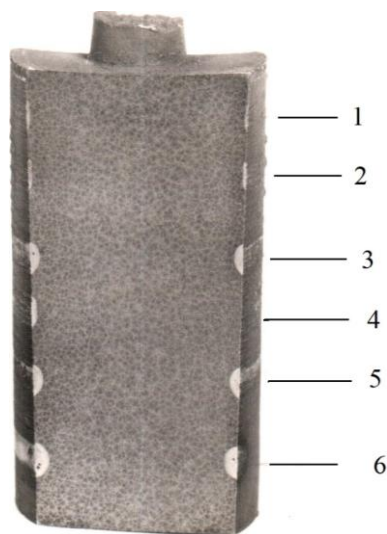


Рис. 2. Вид макрошлифа отливки из серого чугуна с отдельными лазерными дорожками при перемещении луча со скоростью 20; 15; 10; 6; 4 и 2 мм/с

Принимая во внимание, что согласно требованиям нормативно-технической документации на дробеметные лопатки и дробеструйные сопла эффективная толщина зоны лазерного воздействия должна быть не менее 0,7 мм, а значение базового параметра микротвердости в указанной зоне не должно опускаться ниже 7 ГПа, то режимы 1, 2 и 3 в данном случае не рассматривались. Режимы 5 и 6 также не подлежали анализу, так как в связи с оплавлением поверхности по всей глубине зоны лазерного воздействия были выявлены многочисленные трещины.

На рис. 3 приведена микроструктура зоны лазерного воздействия отливки из серого чугуна при перемещении луча по обрабатываемой поверхности со скоростью 6 мм/с. Установлено, что до глубины зоны лазерного воздействия 0,7 мм микроструктура состоит из многочисленных мелких включений цементита. С увеличением расстояния от поверхности количество цементита уменьшается. Однако в данном случае, как при обработке среднеуглеродистых сталей [3], плавного перехода от зоны лазерного воздействия к основному металлу не наблюдается.

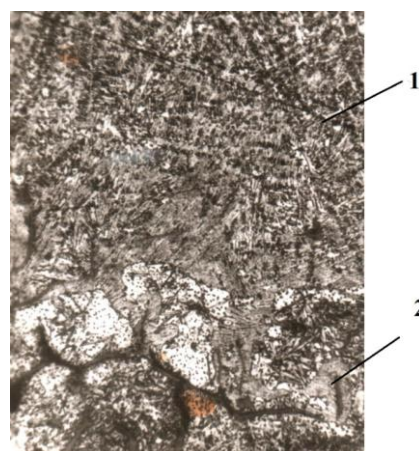


Рис. 3. Микроструктура зоны лазерного воздействия отливки из серого чугуна при обработке со скоростью 6 мм/с, $\times 200$:
1 – зона лазерного воздействия; 2 – основной металл

На рис. 4 показано распределение микротвердости по толщине зоны лазерного воздействия отливки из серого чугуна при перемещении луча по обрабатываемой поверхности со скоростью 6 мм/с.

Из рис. 4 видно, что при перемещении лазерного луча по обрабатываемой поверхности со скоростью 6 мм/с (кривая 1) эффективная толщина лазерного слоя с микротвердостью не менее 7 ГПа составляет 0,8 мм, что соответ-

вует требованиям нормативно-технической документации на дробебетные лопатки и дробеструйные сопла.

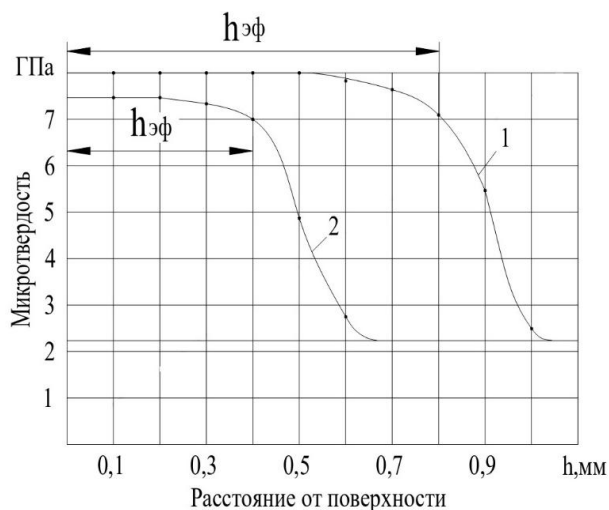


Рис. 4. Распределение микротвердости по толщине зоны лазерного воздействия отливки из серого чугуна при перемещении луча по обрабатываемой поверхности:
1 – скорость перемещения луча 6 мм/с;
2 – скорость перемещения луча 10 мм/с

Для сравнения на рис. 4 (кривая 2) приведена кривая распределения микротвердости по глубине зоны лазерного воздействия при перемещении лазерного луча по обрабатываемой поверхности со скоростью 10 мм/с. Видно, что для данного варианта обработки эффективная толщина лазерного слоя с микротвердостью не менее 7 ГПа составляет всего 0,4 мм, что не соответствует требованиям нормативно-технической документации.

По микрошлифам можно осуществлять предварительную отбраковку режимов лазерной обработки с последующим окончательным их выбором по соответствию требованиям нормативно-технической документации для конкретной детали по результатам измерения микротвердости с определением эффективной толщины упрочненного слоя.

В результате приведенных триботехнических испытаний установлено, что сопротивляе-

мость изнашиванию исследуемых образцов хорошо коррелирует с их микротвердостью.

Так, например, время внедрения эталонного ролика в образец серого чугуна в исходном состоянии (твердость 229НВ) на глубину 0,8 мм составляет 85 мин. Время внедрения эталонного ролика в лазерную дорожку также на 0,8 мм значительно увеличилось и составило 387 мин, что более, чем в 4,5 раза больше, чем при испытании серого чугуна в исходном состоянии.

Таким образом, по результатам измерения микротвердости можно судить о износостойкости обработанных лазером поверхностных слоев деталей, изготовленных из серого чугуна.

Следует особо отметить, что при износе деталей на глубину равной эффективной толщине упрочненного слоя имеется возможность проведения повторной лазерной обработки, что позволит значительно увеличить их ресурс. Так, например, замена дробебетных лопаток происходит при их износе на глубину не более 5 мм. Таким образом, повторная лазерная обработка для них может проводиться не менее 5 раз.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что лазерная закалка деталей, изготовленных из серого чугуна является эффективным средством повышения их твердости и износостойкости. При этом вывод о сопротивляемости изнашиванию обработанных лазером поверхностных слоев можно сделать по результатам измерений микротвердости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 1412–85. Марки. Технические условия. Методы анализа. – М. : Издательство стандартов, 2004. – 5 с.
- ГОСТ 9450–76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. – М. : Издательство стандартов, 1976. – 34 с.
- Гурьев, В. А. Влияние лазерной обработки на структуру и свойства среднеуглеродистой стали / В. А. Гурьев, Е. И. Тескер, Ф. В. Казак // Физика и химия обработки материалов. – 1999. – № 4. – С. 10–15.