

А.С. Лапковский, Н.И. Луцко, А.Г. Галилеев
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

ЛАЗЕРНАЯ ЗАКАЛКА СЕРЫХ ЧУГУНОВ С УПРАВЛЕНИЕМ ПРОЦЕССОМ ПЛАВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Введение

Среди эксплуатационных характеристик деталей важнейшее место занимает износостойкость. Для деталей, работающих в условиях трения или постоянного контакта, износостойкость напрямую определяет срок службы и, следовательно, на стоимость эксплуатации оборудования через стоимость ремонта, восстановления или замены изношенных деталей. Для повышения износостойкости поверхностных слоев применяется широкий спектр термических, химико-термических, поверхностно-пластических методов, основанных на создании верхнего модифицированного слоя с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами при неизменных свойствах основной массы материала детали [1].

Лазерная обработка относится к термическим методам воздействия и характеризуется следующими свойствами [2-6]:

- высокая концентрация источника нагрева;
- высокая управляемость параметрами процесса в широком диапазоне значений;
- высокие скорости нагрева и охлаждения материала детали.

Также важным преимуществом лазерной обработки является простая транспортировка лазерного луча в зону обработки и отсутствие необходимости в защитных средах.

В настоящее время лазерная термическая обработка (ЛТО) проводится различными типами лазеров, в т.ч. газовыми CO₂-лазерами, твердотельными лазерами с диодной накачкой, а также волоконными лазерами. Применение систем сканирования лазерного луча, совмещенных с волоконными лазерами, позволяет добиться высокопроизводительной обработки с созданием упрочненной зоны на поверхности детали.

1. Методика и оборудование

Лазерная термическая обработка производилась на MLS-2-3DF, оснащенной волоконным иттербиевым лазером производства НТО «ИРЭ-Полюс» мощностью 2 кВт. Закалка осуществлялась с помощью развертки лазерного луча по синусовидной траектории по-

средством сканирующей системы из двух колеблющихся зеркал (рисунок 1).

Упрочнению подвергались образцы из серого чугуна марки СЧ20. Обработка велась с оплавлением поверхности на мощности луча в фокусе 1 кВт. Варьировались два параметра: скорость перемещения лазерного луча в диапазоне 600-900 мм/мин, и распределение мощности между средним участком траектории сканирования и краями (рисунок 2). Рассматривались два варианта распределения мощности: 60% середина, 40% – края, и 80% середина и 20% края. Параметры сканирования: ширина – 5 мм, частота 220 двойных ходов в минуту.

Измерение микротвердости упрочненных слоев производилось на микротвердомере ПМТ-3. Фотографии сечений дорожек упрочнения выполнены на микроскопе MICRO 200.

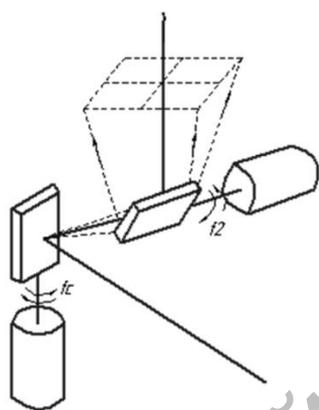


Рисунок 1 – Сканирующая система



Рисунок 2 – Ширина пятна

2. Результаты

Лазерная обработка серых чугунов позволяет с оплавлением материала позволяет получить в поверхностном слое структуру отбеленного чугуна [7]. В белом чугуне графит отсутствует, а углерод находится в связанном состоянии в химическом соединении с Fe и другими элементами. За счет этого белый чугун обладает высокой твердостью и износостойкостью, что позволяет деталям работать в тяжелых условиях трения.

С целью повышения ресурса деталей, работающих в условиях граничного трения, оптимальную структуру поверхностного слоя следует выбирать на основе комплексного анализа технологии изготовления детали и работы трущихся поверхностей. Лазерная обработка поверхностей трения позволяет формировать структуру чугуна с дифференцированными физико-механическими свойствами. В связи с этим важной задачей является установление зависимостей между ре-

жимами лазерной обработки и геометрическими характеристиками дорожек упрочнения, а также на их физико-механические характеристики, такие как микротвердость.

Важным критерием эффективности лазерной термообработки с оплавлением поверхности является производительность обработки, которая выражается в площади (объеме) обработанных участков в единицу времени. Использование сфокусированного луча для лазерного закалывания материалов обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами, однако размеры пятна при этом могут изменяться в сравнительно небольших пределах путем изменения фокусного расстояния. Производительность такой обработки довольно низка. Кроме того, неравномерность распределения плотности мощности по сечению пятна приводит к неравномерному нагреву различных участков дорожки упрочнения, из-за чего в ванне расплава начинают происходить термокапиллярные явления, избежать которых не представляется возможным. В результате термокапиллярного эффекта поверхность дорожки упрочнения приобретает волнообразную форму, что ухудшает работоспособность детали.

Современные устройства сканирования лазерного луча позволяют решить сразу несколько проблем. Во-первых, «размазывание» луча по ширине зоны упрочнения устраняет влияние распределения мощности в пятне на характеристики упрочненного материала. Во-вторых, синхронное управление плотностью мощности на различных участках траектории упрочнения позволяет управлять процессами нагрева, создавая необходимый температурный режим в различных зонах, вплоть до управления термокапиллярным эффектом в ванне расплава. И в-третьих, производительность такого процесса выше, чем при обработке сфокусированным лучом.

На рисунке 3 представлены фотографии микрошлифов упрочненных образцов из серого чугуна СЧ-20. Зона, оплавленная в процессе лазерной закалки, имеет характерную линзовидную форму.

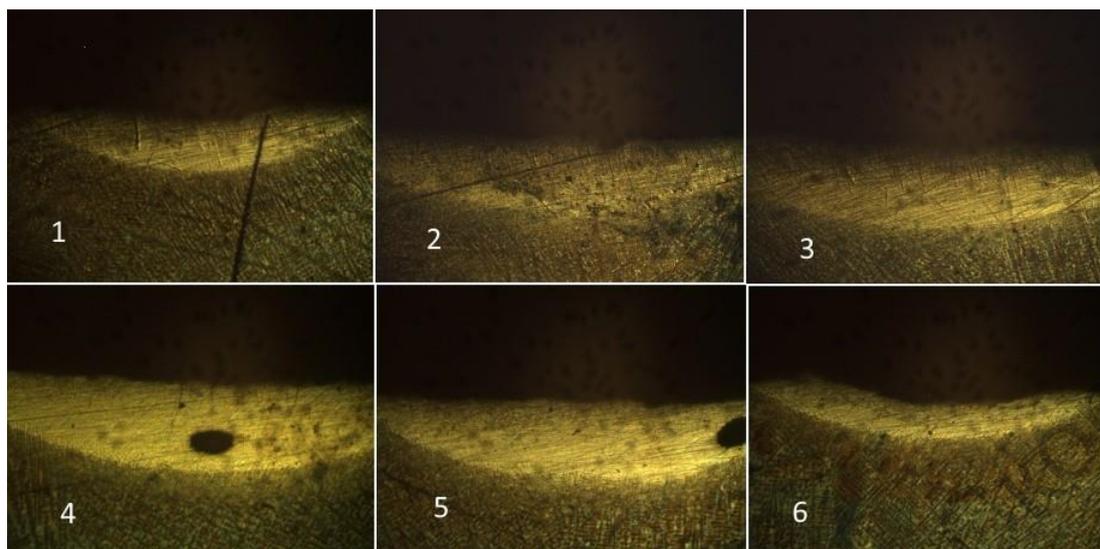


Рисунок 3 – Зоны белого чугуна, полученные в результате лазерной обработки образцов из чугуна СЧ-20

На некоторых образцах (1, 6) видна «волнистость» поверхности, свидетельствующая о протекании термокапиллярных процессов, однако выраженность этого явления гораздо ниже, чем при обработке сфокусированным лучом [8]. Для большинства образцов качество поверхности не требует дополнительной финишной обработки.

На рисунках 4–6 представлены результаты измерения некоторых характеристик упрочненной зоны: геометрических (глубина и ширина) и физико-механических (микротвердость). Как видно из них, на скорости обработки 900 мм/мин зона переплава практически отсутствует, и упрочнение представлено лишь зоной термического влияния. На более жестких режимах обработки формируется упрочненная зона, микротвердость которой может достигать 7500–7800 МПа.

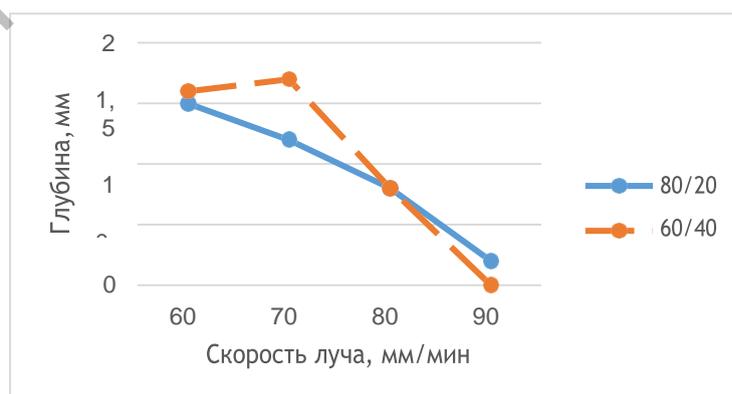


Рисунок 4 – Зависимость глубины упрочнения от режимов сканирующей лазерной обработки

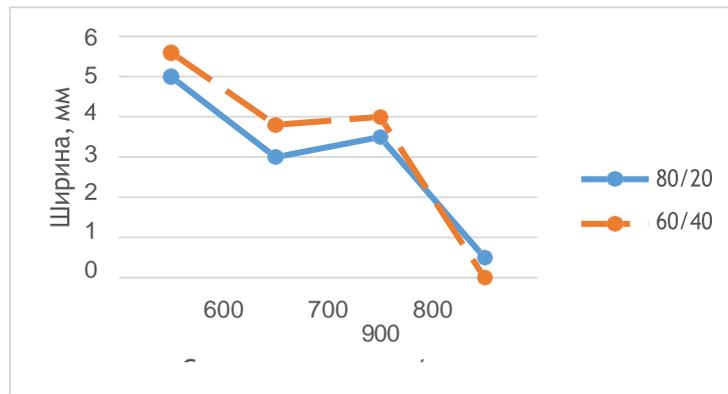


Рисунок 5 – Зависимость ширины упрочненной зоны от режимов сканирующей лазерной обработки

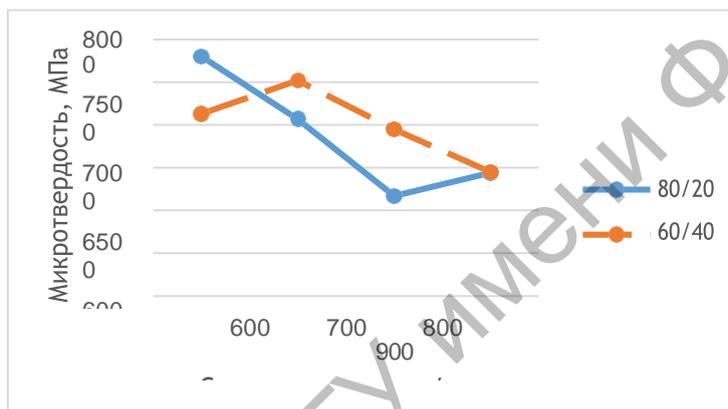


Рисунок 6 – Зависимость микротвердости упрочненной зоны от режимов сканирующей лазерной обработки

Заключение

В данной работе была изучена возможность применения сканирующего излучения лазера с управлением мощностью по ширине сканирования. Полученные результаты говорят о том, что сканирование можно использовать для снижения термокапиллярного эффекта при обработке с оплавлением материала. Обработка на оптимальных режимах позволяет получать упрочненную зону белого чугуна на деталях из чугуна СЧ20, обладающую повышенными физико-механическими свойствами.

Литература

1. Козаков, А.Т. Модификация и анализ поверхности сталей и сплавов. / А.Т. Козаков, С.И. Ярьсько, А.В. Сидашов // Ростов на Дону: ФГБОУ ВПО РГУПС, 2015. – 378 с.
2. Повов, В. Лазерное упрочнение сталей: сравнение волоконных и СО₂-лазеров / В. Повов // Фотоника. – 2009. – № 4. – С. 18–21.

3. Кобяков, О.С. Технологические особенности лазерного термоупрочнения внутренних плоских поверхностей деталей машин лучом лазера / О.С. Кобяков, Н.В. Спиридонов, А.М. Каленик // Теория и практика машиностроения. – Минск: УП «Технопринт», 2005. – № 2. – С. 10–13.
4. Сомонов, В.В. Эффективность использования волоконных лазеров для лазерной закалки изделий в промышленности / В.В. Сомонов, И.А. Цибульский // Металлообработка. – 2014. – № 1. – С. 9–12.
5. Lee, J.-H. Laser surface hardening of AISI H13 tool steel / Lee J.-H. [et. al] // Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition). – 2009. – Vol. 19, № 4. – P. 917–920.
6. Макаров, А.В. Влияние лазерной обработки на структуру, износостойкость и усталостные свойства высокопрочного чугуна / А.В. Макаров, И.Ю. Малыгина, А.Л. Осинцева // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – № 4. – С. 46–55.
7. Коченов, В.А. Формирование износостойких структур лазерной обработкой чугуна поршневых колец дизелей / В.А. Коченов, Ю.И. Матвеев, А.Ю. Маринин // Совершенствование средств механизации и мобильной энергетики в сельском хозяйстве: Сб. науч. тр. Рязань, РГСХА. – 2000. – С. 83–85.
8. Огин, П.А. Влияние мощности лазерного излучения и скорости движения луча на геометрию зоны оплавления при лазерной закалке стали 40Х / П.А. Огин, Д.Л. Мерсон, С.И. Ярьско // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2016. – № 2. – С. 46–51.