

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ

Глушкова Д.Б.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

**Аннотация.** Поршневые кольца в процессе эксплуатации подвергаются износу. Недостаточная износостойкость материалов поршневых колец зачастую лимитирует рост производительности машин и сроков их эксплуатации. Не всегда требуемый комплекс свойств поршневых колец, изготовленных из чугуна, может быть достигнут традиционными методами термической или химико-термической обработки. Так, применение традиционных способов борирования, связанных с диффузией бора в твердую фазу, приводит к формированию рабочего слоя, обладающего высокой хрупкостью. Поэтому актуальной является проблема повышения износостойкости поршневых колец без охрупчивания. Применение лазерного нагрева при борировании обеспечивает образование нового слоя с особыми свойствами. Однако оптимальные свойства могут быть достигнуты только после установления взаимосвязи между параметрами проведения процесса и глубиной борированного слоя. Цель работы – установить влияние параметров лазерного нагрева на состав и глубину борированного слоя, так как свойства поршневых колец зависят от глубины последнего. В результате проведенных исследований установлено, что возрастание скорости перемещения детали в процессе лазерного нагрева уменьшает глубину борированного слоя. Такая зависимость наблюдается как при толщине обмазки 0,15 мм, так и при толщине 0,30 мм. При всех скоростях перемещения образца для использованной боросодержащей обмазки с указанными толщинами большая толщина борированного слоя и зоны термического влияния отвечает большей толщине обмазки. Увеличение диаметра пятна повышает глубину слоя. Рентгенографически и металлографически расшифрованы фазы и структурные составляющие борированного слоя. Рентгеноструктурным и микроструктурным анализом выявлена связь между скоростью облучения и долей высокобористых структур в слое. Показано, что борированный слой в высокопрочном чугуне содержит такие фазы, как FeB, Fe<sub>2</sub>B, α-фазу, бороцементит Fe<sub>3</sub>(B, C). Результаты исследований могут быть распространены и на другие детали, подвергающиеся интенсивному износу.

**Ключевые слова:** поршневые кольца, борированный слой, лазерный нагрев.

### Введение

Одним из способов улучшения эксплуатационных свойств поршневых колец из чугунов, подвергающихся износу, является борирование. Однако применение традиционных способов борирования, связанных с диффузией бора в твердую фазу, приводит к формированию рабочего слоя, обладающего высокой хрупкостью. Поэтому актуальной является проблема разработки другого способа упрочнения поверхности, не приводящего к охрупчиванию. Реализация такого процесса может быть осуществлена с использованием лазерного нагрева с оплавлением поверхностного слоя. Однако использование этого метода может быть предложено производству только после детального изучения взаимосвязи между параметрами проведения процесса и глубиной слоя, а также исследования особенностей структурообразования в специфических условиях лазерного борирования. Свойства

изделия, на которое нанесен борированный слой, зависят от глубины последнего.

### Анализ публикаций

Анализ публикаций свидетельствует о том, что не разработаны методики повышения износостойкости поршневых колец путем борирования, проведенного не традиционным способом, а с использованием современных технологий. В источниках [1–3] предлагается повышение долговечности или традиционным борированием, или лазерной обработкой. Однако отсутствует объединение этих двух технологических процессов. Реализация такого процесса может быть осуществлена путем установления взаимосвязи между параметрами лазерного нагрева и глубиной борированного слоя.

### Цель и постановка задачи

Целью настоящей работы было установление влияния параметров лазерного воздей-

ствия на глубину и структуру борированного слоя. Для этого необходимо выявить фазовый состав слоя, особенности формирования структуры и их зависимости от скорости облучения.

### Лазерная обработка поршневых колец

Материалом исследования был высокопрочный чугун, содержащий С 3,47 %, Si 2,15 %, Mn 1,36 %. После предварительной обработки он имел перлитно-ферритную структуру (85–90 % перлита). Размер шаровидного графита соответствует 3 баллу.

Лазерную обработку осуществляли на непрерывном CO<sub>2</sub>-лазере. При постоянной мощности облучения варьировали скорость перемещения образца в пределах 2–4 мм/с. Толщина боросодержащей обмазки была 0,15 и 0,30 мм. Условная расфокусировка позволяла изменять диаметр пятна облучения от 2 до 4 мм. В качестве обмазки использовали смесь аморфного бора с ацетоном и цапон-лаком.

Структуру, фазовый состав, глубину борированного слоя изучали методом оптической микроскопии с использованием обычного и окрашивающего травления и рентгеноструктурного анализа.

С помощью травления 4 % раствором азотной кислоты, выявляющим структуру всего слоя, установлено, что изменение структуры металла в результате легирования бором происходит только в зоне оплавления. Изучение профиля границы зоны оплавления показывает, что более глубокое проплавление металлической матрицы происходит около графитных включений, что сообщает границе волнообразный характер.

На рис. 1 показана зависимость глубины борированного слоя от скорости перемещения образца для двух случаев – при толщине обмазки 0,15 и 0,30 мм (кривая 2 и 1 соответственно).

Из графика следует, что с увеличением скорости перемещения образца глубина борированного слоя уменьшается. Такая зависимость наблюдается как при толщине обмазки 0,15 мм, так и при толщине 0,30 мм. При всех скоростях перемещения образца для использованной боросодержащей обмазки с указанными толщинами большая толщина борированного слоя и ЗТВ отвечает большей толщине обмазки.

На рис. 2 показана гистограмма глубины борированного слоя при толщине обмазки 0,3 мм и скорости перемещения образца 2 мм/с для диаметра пятна 2 и 4 мм, а на

рис. 3 – такая же гистограмма в случае скорости перемещения 4 мм/с.

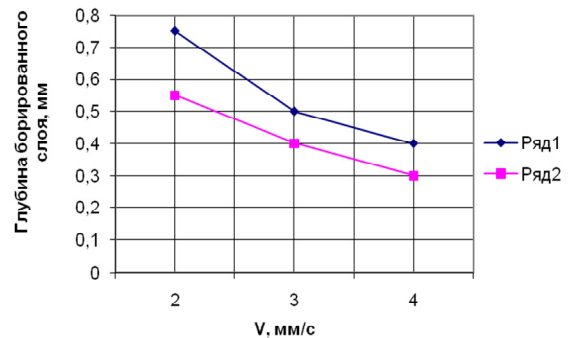


Рис. 1. Зависимость глубины борированного слоя от скорости перемещения образца: 1 – толщина обмазки 0,3 мм; 2 – толщина обмазки 0,15 мм

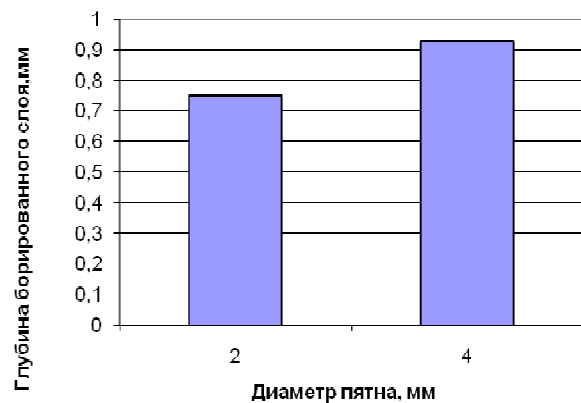


Рис. 2. Гистограмма глубины борированного слоя при толщине обмазки 0,3 мм и скорости перемещения образца 2 мм/с для разного диаметра пятна

Из представленных гистограмм следует, что варьирование условной расфокусировки, следствием чего является изменение диаметра пятна облучения, приводит к заметному изменению глубины слоя лазерного легирования. Так, уменьшение расфокусировки при прочих равных условиях, результатом чего есть уменьшение диаметра пятна, вызывает понижение глубины лазерного облучения.

Можно предположить, что полученный эффект обусловлен существенным ростом температуры поверхности, вызвавшим интенсивное испарение слоя обмазки и увеличением затраты энергии на испарение.

Рентгеноструктурный анализ показал, что борированный слой в высокопрочном чугуне содержит такие фазы, как FeB, Fe<sub>2</sub>B, α-фазу, бороцементит Fe<sub>3</sub>(B, C).

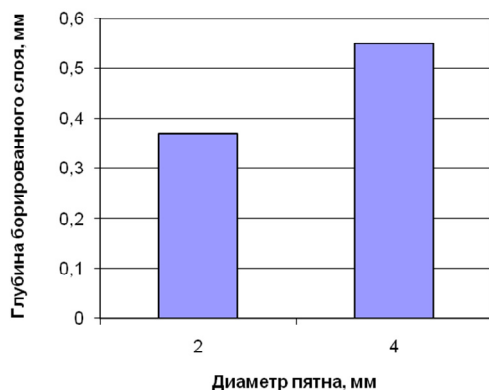


Рис. 3. Гистограмма глубины борированного слоя при толщине обмазки 0,3 мм и скорости перемещения образца 4 мм/с для разного диаметра пятна

Сопоставление данных микроскопического и рентгеноструктурного анализов с диаграммами состояния Fe-V и Fe-Fe<sub>2</sub>V-Fe<sub>3</sub>C позволило установить, что эти фазы при кристаллизации расплава могут образовывать по всему объему оплавленного слоя различные структурные составляющие: смесь перитектического типа (FeV + Fe<sub>2</sub>V), заэвтектические, эвтектические и доэвтектические структуры.

Дифференциация фаз в различных структурах проведена способом окрашивающего травления, анализом формы первичных кристаллов. Избыточная α-фаза образуется из первичных кристаллов γ-фазы по мартенситному механизму. Бороцементит Fe<sub>3</sub>(V, C) и бориды FeV, Fe<sub>2</sub>V различаются металлографически – формой избыточных кристаллов и поведением при окрашивающем травлении. Первичные кристаллы бороцементита представляют пластинчатые образования – плоские дендриты, которые в сечениях, перпендикулярных поверхностям, выявляются в виде тонких полосок. В соответствии с тройной диаграммой бороцементит может образовываться не только непосредственной кристаллизацией из жидкого раствора, но также и в результате перитектического превращения [2]. Структурно-свободные кристаллы боридов Fe<sub>2</sub>V наблюдаются в виде стержневых кристаллов, имеющих в поперечном сечении форму квадратов, ромбов, треугольников, т.е. всех возможных сечений тетрагональной призмы. Эвтектические составляющие структур в борированном слое характеризуются определенным разнообразием строения и дисперсности. Эвтектика в разных слоях и в пределах одного слоя отличается как разной дисперсностью, так и различным количественным соотношением между фазами.

Сравнение структур слоев с сопоставимыми глубинами иллюстрирует влияние толщины обмазки на структуру. Например, трехзонный слой с преобладанием эвтектической и доэвтектической структур может стать двухзонным с заэвтектической и эвтектической зонами и с преобладанием первой при изменении толщин обмазки от 0,3 до 0,15 мм.

С увеличением скорости облучения при прочих равных условиях обработки уменьшается глубина слоя, т.е. уменьшается объем ванны расплавленного металла, а, следовательно, увеличивается количество растворенного в ней бора. Данные рентгеноструктурного и микроскопического анализов фиксируют изменение состава слоя. Рентгенографически это проявляется в увеличении интенсивности линий бороцементита с ростом скорости облучения, а микроструктурно – в увеличении доли высокобористых структур.

### Выводы

Установлено, что при проведении лазерного борирования с увеличением скорости перемещения образца глубина борированного слоя уменьшается.

Построенные гистограммы глубины борированного слоя свидетельствуют об увеличении последнего с возрастанием диаметра пятна облучения от 2 до 4 мм.

Рентгенографически и металлографически выявлены фазы и структурные составляющие борированного слоя.

Установлено влияние толщины обмазки на структуру.

Рентгеноструктурным и микроструктурным анализом выявлена связь между скоростью облучения и долей высокобористых структур в слое.

Результаты исследований могут быть рекомендованы для внедрения их в производство не только поршневых колец, но и других деталей из высокопрочных чугунов, подвергающихся в процессе эксплуатации износу.

### Литература

1. Технология конструкционных материалов и материаловедение / И.П. Гладкий и др. – Харьков: ХНАДУ, 2014. – 464 с.
2. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – Москва: Машиностроение, 2009. – 272 с.
3. Матвеев Ю.И. Повышение долговечности деталей с использованием лазерной обработки. – Новгород, 2003. – 329 с.

4. Упрочнение изделий из высокопрочного чугуна / Ю.Н. Дзуба и др. // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2003. – С. 72–74.

### References

1. Gladky I., Moschenok V., Tarabanova V., Lalazarova N., Glushkova D. (2014). The technology of constructional materials and materials conduct. Kharkov: KhNAHU, 464.
2. Grigorjanz A. (2009). The foundation of laser's processing of materials. Moscwa: Mashine-building, 272.
3. Matveev U. (2003). The increasing of durability of details with using of laser's processing. Novgorod, 329.
4. Dzuba Yu., Lyubchenko A., Glushkova D., Tarabanova V. (2003). The strengthening of details of high-duty cast iron. Bulletin of KhNAHU. 72–74.

**Глушкова Диана Борисовна**, д.т.н., заведуючий кафедри технології металів і матеріалознавства, 097-481-15-93, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

### Laser processing for increasing the durability of the piston rings

**Abstract. Problem.** *In the process of operation piston rings are subject to wear. Non-sufficient wear resistance of piston ring materials often limits the growth of productivity of machines and the timing of their operation. It is not always that the desired set of properties of piston rings made of cast iron can be achieved by traditional methods of thermal or chemical-thermal treatment. Thus, application of traditional boriding methods associated with diffusion of boron into the solid phase leads to formation of the working layer having high brittleness. Therefore, the actuality of the problem is to increase the wear resistance of piston rings without embrittlement. Use of laser heating at boriding provides the formation of a new layer with special properties. However, the optimum properties can only be achieved after establishing a relationship between the parameters of running a process and the depth of the borated layer. The goal was to determine the effect of laser heating parameters on the structure and depth of the borated layer, since the properties of piston rings depend on the depth of the latter. The studies conducted revealed that the increase in the speed of displacement of the part in the process of laser heating reduces the depth of the borated layer. Such a dependence is observed both at 0.15 mm thickness of coating and at a thickness of 0.30 mm. For all modes of workpiece displacement speed for the used boron containing envelope with the above-specified thickness a higher thickness of the borated layer and the heat affected area corresponds to a higher thickness of coating. Increase of the spot size leads to an increase in the depth of the layer. By X-ray and metallographic diffraction the phases and structural constituents of the borated layer were decoded. X-ray diffraction and microstructural analysis revealed an association between the exposure speed and shape of high-boron layer structures. It is shown that the borated layer in the ductile iron includes such phases as FeB, Fe<sub>2</sub>B,*

*α-phase, and borocementite Fe<sub>3</sub>(B, C). The research results can be extended to other parts subject to intensive wear.*

**Key words:** *piston rings, borated layer, laser heating.*

**Glushkova D.**, Kharkiv National Automobile and Highway University, 097-481-15-93, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

### Застосування лазерного оброблення для підвищення довговічності поршневих кілець

**Анотація.** *Поршневі кільця в процесі експлуатації підлягають зношуванню. Недостатня зносостійкість матеріалів поршневих кілець часто обмежує зростання продуктивності машин і терміну їх експлуатації. Не завжди потрібний комплекс властивостей поршневих кілець, виготовлених з чавуну, може бути досягнутий традиційними методами термічного або хіміко-термічного оброблення. Так, використання традиційних способів борування, пов'язаних з дифузійною боруванням в тверду фазу, призведе до формування робочого шару, що має високу крихкість. Тому актуальною є проблема підвищення зносостійкості поршневих кілець без окрихчування. Використання лазерного нагріву під час борування забезпечує утворення нового шару з особливими властивостями. Однак оптимальні властивості можуть бути досягнуті тільки після встановлення зв'язку між параметрами проведення процесу та глибиною борваного шару. Метою роботи було встановлення впливу параметрів лазерного нагріву на склад та глибину шару борування, оскільки властивості поршневих кілець залежать від глибини останнього. Унаслідок проведених досліджень встановлено, що збільшення швидкості переміщення деталі в процесі лазерного нагріву зменшує глибину шару борування. Така залежність спостерігається як за умови товщини обмазки 0,15 мм, так і в разі товщини 0,30 мм. У випадку всіх швидкостей переміщення зразка для використаної обмазки, що містить бор, із вказаними товщинами більша товщина борваного шару та зони термічного впливу відповідає більшій товщині обмазки. Збільшення діаметра плями сприяє зростанню глибини шару. Рентгенографічним і металографічним методами розшифровані фази і структурні складові шару борування. Рентгенографічним і металографічним аналізом визначений зв'язок між швидкістю опромінення і часткою високобористих структур у шарі. Показано, що борований шар у високоміцному чавуні містить такі фази, як FeB, Fe<sub>2</sub>B, α-фазу, бороцементит Fe<sub>3</sub>(B, C). Результати досліджень можуть бути поширені й на інші деталі, що підлягають інтенсивному зношуванню.*

**Ключові слова:** *поршневі кільця, шар борування, лазерний нагрів.*

**Глушкова Д.Б.**, Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
097-481-15-93, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)