

УДК 621.785

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ПОСЛЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Д.Б. Глушкова, доц., к.т.н., В.П. Тарабанова, доц., к.т.н., В.А. Белый, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Представлены результаты исследования структуры и характера изменения твердости поверхности поршневых колец после газотермического напыления в процессе шлифования, обкатки и пробега дизелей.

Ключевые слова: сталь-молибденовое покрытие, структура, микротвердость, поршневые кольца, газотермическое напыление.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ХАРАКТЕРУ ЗМІНИ ТВЕРДОСТІ ПОВЕРХНІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ ПІСЛЯ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ НА РІЗНИХ СТАДІЯХ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ

Д.Б. Глушкова, доц., к.т.н., В.П. Тарабанова, доц., к.т.н., В.А. Білий, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Подано результати дослідження структури та характеру зміни твердості поверхні поршневих кілець після газотермічного наплення у процесі шлифування, обкатки і пробігу дизелів.

Ключові слова: сталь-молибденове покриття, структура, микротвердість, поршневі кільця, газотермічне наплення.

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND THE CHARACTER OF THE SURFACE HARDNESS CHANGE OF PISTON RINGS AFTER GAS THERMAL SPRAYING ON VARIOUS STAGES OF THE INDUSTRIAL PROCESS

D. Glushkova, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), V. Tarabanova, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
V. Belyj, P. G.,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The results of investigations of the structure and the character of surface hardness changes of piston rings after gas thermal spraying in the process of grinding, running and the test run of diesel engines are presented.

Key words: steel–molibdenic coating, structure, microhardness, piston rings, gas–thermal spraying.

Введение

В настоящее время одной из важных проблем машиностроения является повышение надежности и долговечности машин. Особое место в этом вопросе занимает увеличение износостойкости деталей. Что касается дизелестроения, то весьма актуальной является

проблема повышения твердости и, соответственно, износостойкости поршневых колец.

Недостаточная износостойкость материалов лимитирует рост производительности машин и сроки их эксплуатации, увеличивает расходы на ремонт и запасные части.

Далеко не всегда требуемый комплекс свойств поршневых колец может быть сформирован традиционными методами термической и химико-термической обработки. Все чаще для повышения эксплуатационных свойств привлекаются новые методы поверхностного упрочнения.

Анализ публикаций

К прогрессивным способам упрочнения и восстановления деталей машин, в частности, цилиндрической группы, относятся высокотемпературные методы нанесения покрытий – плазменные, газоплазменные и электродуговые напыления [1–2]. Широко используемые в практике отечественного и зарубежного машиностроения покрытия из электролитического хрома в ряде случаев удовлетворяют требованиям, предъявляемым к поршневым кольцам. Имея достаточную твердость, хромированные покрытия обеспечивают стойкость против абразивного износа. Однако пористый слой хрома толщиной 40–50 мкм за несколько часов срабатывает. Электролитический хром неудовлетворительно работает на трение и изнашивание при высоких температурах, что приводит к разупрочнению.

В последнее время получило распространение в машиностроении напыление поршневых колец молибденом [3]. Молибден обладает комплексом различных физико-механических свойств, которые придают покрытиям ряд ценных служебных свойств.

Однако окисление молибдена при напылении покрытий имеет свои отрицательные стороны, а именно – снижение пластичности, прочности, теплопроводности. В ряде работ [4, 5] отмечается, что при высоких форсировках дизелей применение хромированных и молибденированных колец становится нецелесообразным и необходимо применять для покрытия колец жаростойкие материалы.

Весьма перспективным является напыление на поршневые кольца различных сплавов или псевдосплавов, особенно молибденосодержащих. Последние напыляются из двух или более разнородных материалов, дающих гетерогенную структуру.

Дальнейшее продвижение в этом вопросе привело к идее использовать газотермиче-

ские комбинированные покрытия, состоящие из механической смеси компонентов и продуктов их взаимодействия в высокотемпературной струе.

Цель и постановка задачи

Целью настоящей работы было исследование структуры и характера изменения твердости поверхностного слоя, полученного газотермическим комбинированным напылением, после шлифовки, обкатки и пробега дизеля, т.е. на всех стадиях производственного цикла.

Материал и методика исследования

Объектом исследования было газотермическое покрытие из молибдена и стали, нанесенное на высокопрочный чугун. Покрытие на кольцо наносили методом двухпроволочной металлизации с независимой подачей проволоки стали 11Х18М и молибдена. В табл. 1 приведен режим напыления.

Таблица 1 Режим напыления

Напряжение на дуге, В	Сила тока, А	Давление сжатого воздуха, МПа	Диаметр воздушного сопла, мм
40	400	0,5–0,55	8

Для изучения структуры полученного покрытия использовали металлографический анализ. Состояние поверхностного слоя после нанесения покрытия, шлифовки, обкатки и пробега дизеля изучали с помощью замера микротвердости.

Результаты исследований и их обсуждение

Металлографические исследования напыленного слоя выявили слоистую структуру покрытия, а именно – частицы стали и молибдена распределены в каждом поперечном сечении неравномерно, а последовательно чередующимися слоями. Такое распределение частиц, очевидно, обусловлено особенностями движения в газовой струе частиц разной массы.

Так как невозможно было подобрать травитель, одновременно выявляющий структуру и молибдена, и нержавеющей стали, то применяли последовательное травление слоя на одну (рис. 1, б), а затем на другую составляющую. На рис. 1, а представлено полное травление.

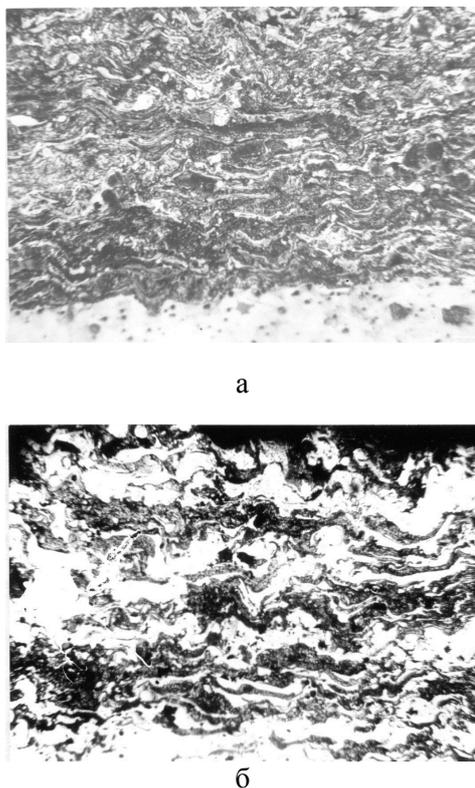


Рис. 1. Микроструктура напыленного слоя: а – полное травление, x115; б – травление на молибден, x115

Важнейшей характеристикой напыленного слоя, определяющей успешную работу покрытия, является его связь с поверхностью подложки. Металлографический анализ границы сталь-молибденовое покрытие – чугун показывает, что покрытие плотно примыкает к подложке вдоль всего профиля.

Выявляемая металлографически структура частиц молибдена демонстрирует их мелкозернистость. Это обусловлено тем, что скоростная кристаллизация под давлением способствует созданию мелкозернистой структуры.

На рис. 2 представлены микротвердость частиц молибдена после напыления (а), шлифования (б), обкатки 100 ч (в), а на рис. 3 – микротвердость частиц стали после напыления (а), шлифования (б), обкатки 100 ч (в).

Для установления влияния условий эксплуатации на структуру и твердость сталь-молибденовых покрытий поршневые кольца с нанесенными на них покрытиями были установлены на четных блоках 10-цилиндрового двигателя тепловоза. После 100000 км пробега, что тождественно 4000 часам рабо-

ты, были сняты и исследованы комплекты из четырех колец.

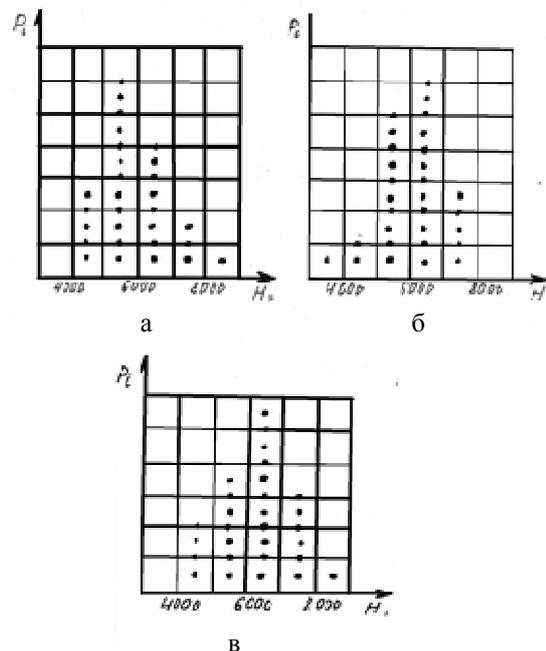


Рис. 2. Микротвердость частиц молибдена: а – после напыления; б – после шлифования; в – после обкатки 100 ч

В табл. 2 приведены значения микротвердости исследуемых материалов при нагрузке 1,96 Н.

Таблица 2 Твердость исследуемых материалов

Материал	Микротвердость, Н _ц
Проволока молибдена	1800–2000
Проволока стали	2900–3200
Сталь-молибденовое покрытие после напыления:	
Частицы молибдена	4000–8000
Частицы стали	3000–6000
Сталь-молибденовое покрытие после шлифования	
Частицы молибдена	5000–8000
Частицы стали	3000–6000

Сопоставление данных, приведенных в табл. 2 и на рис. 2, свидетельствует о значительном упрочнении молибдена при напылении. Наибольшее число частиц молибдена обладает микротвердостью Н_ц в диапазоне 5000–7000, в то время как микротвердость исходной проволоки составляет лишь 2000. Это, вероятно, связано с наибольшим насыщением молибдена примесями, которое про-

исходит в процессе напыления. Металлографические исследования позволяют предположить, что основная масса частиц имеет структуру перенасыщенного твердого раствора с начальными стадиями старения. Что касается структур частиц стали, то это, в основном, частицы со структурой более или менее равномерно распределенных в матрице зернистых карбидов.

Частицы стали также заметно упрочняются по сравнению с исходной проволокой. Наибольшее число частиц имеет твердость H_{μ} 4000-5000.

Поршневые кольца со сталь-молибденовым покрытием по техническим условиям эксплуатируются после шлифования. После шлифования по-прежнему наибольшее число частиц молибдена соответствует диапазону микротвердости 5000–6000, но наблюдается заметный сдвиг твердости в интервал 6000–7000, по сравнению с напылением.

Для стали (рис. 3, а, б) после шлифования увеличивается число частиц с твердостью в интервале 4000-5000. Таким образом, можно сказать, что происходит некоторое повышение микротвердости стали (рис. 3).

Представляло теоретический и практический интерес проследить характер изменения микротвердости исследуемых покрытий после дальнейшей обработки, а именно – после обкатки. Так, на рис. 2, в показана микротвердость молибдена после обкатки 100 ч, а на рис. 3, в – микротвердость стали после обкатки 100 ч.

Как следует из графиков, микротвердость частиц молибдена и стали после обкатки несколько увеличивается. Структура составляющей после обкатки сопоставима с исходным состоянием.

Что касается значений микротвердости покрытий после эксплуатации, представленных на рис. 4 и 5, то экспериментальные данные свидетельствуют о стабильности твердости как частиц молибдена, так и частиц стали, что немаловажно для работы покрытия в условиях эксплуатации.

Следует отметить также стабильность структуры. Исследование поверхности износа свидетельствует, что в основном реализуется абразивный износ.

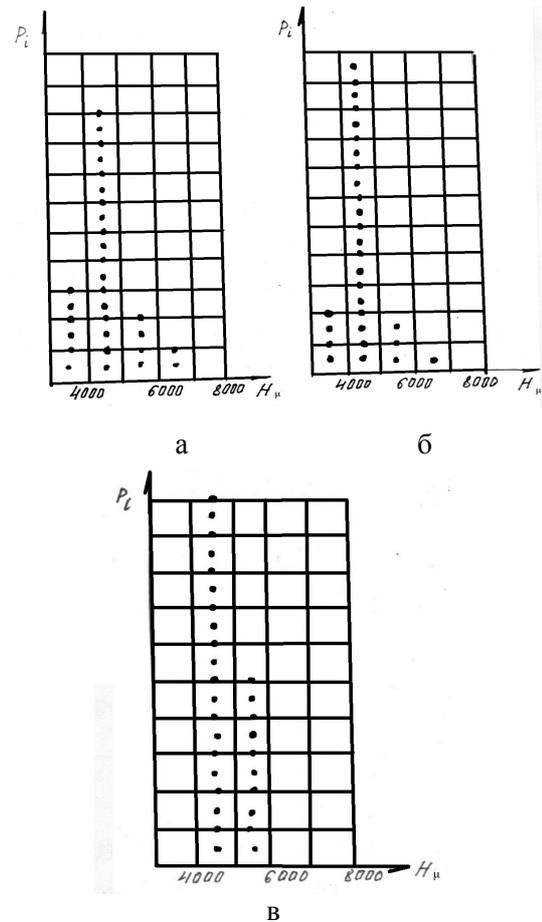


Рис. 3. Микротвердость частиц стали: а – после напыления; б – после шлифовки; в – после обкатки

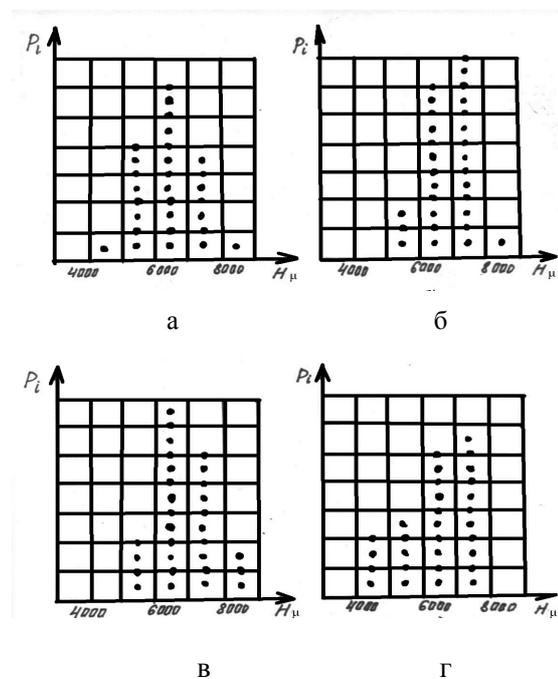


Рис. 4. Микротвердость молибденовой составляющей после пробега 10000000 км: а, в – верхнее кольцо; б, г – нижнее кольцо

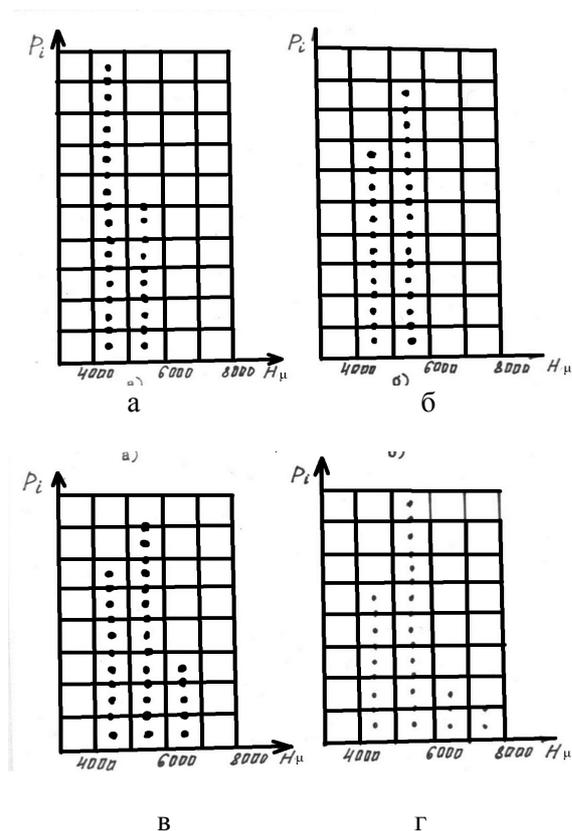


Рис. 5. Микротвердость частиц стали после пробега 100000 км

Таким образом, предложенная технология нанесения газотермического напыления существенно повышает срок службы поршневых колец, работающих в условиях износа.

Выводы

Сравнение микротвердости проволок молибдена и стали со сталь-молибденовым покрытием свидетельствует о значительном упрочнении частиц молибдена и стали при напылении, что объясняется процессами структурообразования.

При последующем шлифовании покрытия происходит некоторое повышение микротвердости.

Твердость сталь-молибденового покрытия в процессе эксплуатации не уменьшается.

Сталь-молибденовые покрытия являются действенным способом повышения долговечности изделий в условиях абразивного износа и могут быть рекомендованы для практического использования как в условиях первичного упрочнения, так и восстановления поршневых колец.

Литература

1. Бычков Т.П. Исследование газотермических покрытий / Т.П. Бычков // Сварка. Современные проблемы и достижения в области технологии XXI века: материалы Международной конференции. – Санкт-Петербург, 2009. – С. 11–15.
2. Погадаев Л.И. Исследование плазменно-напыленных покрытий / Л.И. Погадаев, В.Б. Хмелевская // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2003. – №3. – С. 29–31.
3. Белащенко В.В. Эффективная температура подложки при воздействии высокотемпературной струи в процессе напыления / В.В. Белащенко, В.А. Вахалин, В.В. Кудинов и др. // Физика и химия обработки материалов. – 2004. – №4-5. – С. 22–26.
4. Шмаков А.М. Газотермическое напыление покрытий на порошковые материалы. Сообщение 1 / А.М. Шмаков, С.С. Ермаков // Порошковая металлургия. – 1996. – №3. – С. 27–31.
5. Карлов Л.Н. Надежность судовых двигателей / Л.Н. Карлов. – Л.: Судостроение, 1995. – 176 с.

Рецензент: В.И. Мощенок, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 18 мая 2015 г.