

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ МЕТОДОМ ДВУХПРОВОЛОЧНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Глушкова Д.Б.,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

***Аннотация.** Повышение надежности и долговечности поршневых колец, работающих в условиях трения и износа, требует совершенствования существующих и разработки новых технологий. Существующие упрочняющие технологии несовершенны, так как могут привести к короблению поверхности изделий, изменению микрогеометрии деталей, возникновению напряжений, экологическим проблемам.*

Наносимое в настоящее время электролитическое хромовое покрытие не удовлетворяет возрастающим требованиям к свойствам поршневых колец из высокопрочного чугуна. Вместо него предложено сталь-молибденовое покрытие, наносимое методом двухпроводочной металлизации. Технологический процесс нанесения сталь-молибденового покрытия на поршневые кольца включает следующие этапы: предварительная очистка, дробеструйная обработка, непосредственно напыление. Молибденовую и стальную проволоку подавали с определенной скоростью, молибденовую проволоку подсоединяли к положительному полюсу источника питания, стальную – к отрицательному.

Исследование микроструктуры полученного покрытия показало, что оно имеет типичный для газотермических покрытий слоистый характер с равномерно расположенными по толщине порами (до 12 %). Пористость покрытия обеспечивает повышенную маслостойкость колец, что положительно сказывается на процессе приработки рабочей пары гильза – поршневое кольцо и на работе поршневых колец при эксплуатации.

После травления микроструктура представляет собой сочетание участков молибдена и стали. Кроме двух основных фаз в покрытии наблюдаются и другие структурные составляющие, которые являются продуктами взаимодействия стальной и молибденовой проволок с кислородом и азотом воздуха, а также продуктами взаимодействия между собой молибдена и стали в процессе плазменного напыления.

Полученные при исследовании антифрикционных свойств результаты свидетельствуют о более высокой задиростойкости и лучших антифрикционных характеристиках поршневых колец со сталь-молибденовым покрытием в сравнении с электролитическим хромовым. Сталь-молибденовое покрытие в меньшей мере изнашивает сопрягаемый материал и имеет более низкий коэффициент трения.

Высокие показатели сталь-молибденового покрытия можно объяснить специфическими свойствами окислов молибдена, которые могут оказывать дополнительное смазывающее воздействие, выполняя роль твердой смазки. Кроме того, высокая температура плавления молибдена способствует меньшей склонности к схватыванию сопрягаемых материалов.

Ключевые слова: сталь-молибденовое покрытие, прирабатываемость, скорость износа, микротвердость, свойства окислов молибдена.

Введение

Одной из главных проблем в развитии современного машиностроения является существенное повышение надежности и долговечности узлов и деталей машин.

Решение этой проблемы связано с необходимостью разработки новых технологий, в частности, для деталей, работающих в условиях трения и износа.

Известные упрочняющие технологии, как правило, обладают рядом недостатков: изме-

нение микрогеометрии деталей после упрочнения, коробление поверхности изделия и возникновение в нем напряжений, влияющих на работоспособность узла машины, необходимость создания специальных и дорогостоящих условий для осуществления процесса упрочнения, экологические проблемы и т.д.

Данная работа посвящена разработке технологии и исследованию структуры и свойств поршневых колец после нанесения на них сталь-молибденового покрытия.

Анализ публикаций

Как указано в работе [1], износостойкость металла определяется сочетанием структуры и ряда свойств, а именно высокой твердости и пластичности при отсутствии хрупкости, устойчивости механических свойств в условиях работы на износ, высокой насыщенности и равномерности распределения легирующих элементов.

В работе [2] установлено, что интенсивность протекания релаксационных процессов при трении существенно влияет на износостойкость.

В последнее время для улучшения эксплуатационных характеристик материалов широко применяется обработка поверхности высокоинтенсивными источниками энергии, взаимодействие которых с материалами приводит к прохождению процессов, связанных с изменением структуры.

Прежде всего происходит изменение параметра кристаллической решетки, формируются дислокационные структуры, образуются ультрадисперсные фазы [3, 4].

Поэтому актуально исследование сталь-молибденового покрытия, наносимого на поверхность поршневых колец методом двухпроводочной металлизации.

Цель и постановка задачи

Цель исследований – разработка технологии нанесения сталь-молибденового покрытия для повышения износостойкости поршневых колец. В задачи исследования входило исследование структуры и свойств покрытия в различных условиях изнашивания.

Получение и исследование сталь-молибденового покрытия

Покрытия наносились на поршневые кольца из высокопрочного чугуна, применяемого в серийном производстве.

В настоящее время на эти кольца наносится электролитическое хромовое покрытие. Поэтому исследования проводились одновременно на кольцах, упрочненных по существующей и предлагаемой технологии упрочнения, результаты испытаний сравнивали по основным показателям, характеризующим работоспособность поршневых колец в процессе эксплуатации.

Поршневые кольца, подлежащие напылению сталь-молибденового покрытия, собирались на оправку по двадцать штук. Сборка колец производилась в специальном приспособлении, имитирующем втулку рабочего цилиндра. Кольца на оправке собирали таким образом, чтобы не произошло раскрытие замков.

На рабочих поверхностях колец под покрытие выполнена специальная канавка, что повышает надежность сцепления покрытия с основой.

Технологический процесс нанесения сталь-молибденового покрытия на поршневые кольца включает следующие этапы: предварительная очистка, дробеструйная обработка, непосредственно напыление.

Дробеструйная обработка предназначена для очистки поверхности подложки, повышения шероховатости поверхности подложки, что увеличивает суммарную площадь участков сцепления покрытия с основой и адгезию покрытия.

Молибденовая и стальная проволока подавалась с определенной скоростью. Покрытие наносилось методом электродугового напыления на той же оправке, что и дробеструйная обработка. Молибденовая проволока подсоединяется к положительному полюсу источника питания, стальная – к отрицательному.

Режимы нанесения сталь-молибденового покрытия приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Режимы напыления сталь-молибденового покрытия

| Состав покрытия, % по массе | | Диаметр проволоки, мм | | Скорость подачи проволоки, м/мин | | Состав покрытия, % по объему | | Напряжение дуги, В | Сила тока, А | Полярность | | Давление сжатого воздуха, кгс/см ² | Диаметр воздушного сопла, мм | Дистанция напыления, мм |
|-----------------------------|-----|-----------------------|-----|----------------------------------|------|------------------------------|-----|--------------------|--------------|------------|-----|---|------------------------------|-------------------------|
| Мо | Ст. | Мо | Ст. | Мо | Ст. | Мо | Ст. | | | Мо | Ст. | | | |
| 50 | 50 | 1,5 | 1,7 | 3,8 | 3,8 | 44 | 56 | 35 | 220 | + | - | 4,5÷5,0 | 7 | 100 - 110 |
| 50 | 50 | 2,0 | 2,3 | 3,8 | 3,8 | 44 | 56 | 40 | 400 | + | - | 5,0÷5,5 | 8 | 100 - 110 |
| 60 | 40 | 1,5 | 1,7 | 3,8 | 2,47 | 53 | 47 | 35 | 220 | + | - | 5,0÷5,5 | 7 | 100 - 110 |
| 60 | 40 | 2,0 | 2,3 | 3,8 | 2,47 | 53 | 47 | 40 | 250 | + | - | 5,0÷5,5 | 8 | 100 - 110 |
| 40 | 60 | 1,5 | 1,7 | 3,8 | 5,84 | 33 | 67 | 35 | 220 | + | - | 5,0÷5,5 | 7 | 100 - 110 |
| 40 | 60 | 2,0 | 2,3 | 3,8 | 5,84 | 33 | 67 | 40 | 400 | + | - | 5,0÷5,5 | 8 | 100 - 110 |

Температура поршневого кольца в процессе нанесения сталь-молибденового покрытия 150°C. Покрытие напылялось до толщины 0,8 мм. После нанесения покрытия производили механическую обработку. Толщина покрытия в окончательно готовом кольце – 0,5±0,1 мм.

Изучение структуры сталь-молибденового покрытия проводилось с использованием металлографического микроскопа при увеличении от x100 до x300.

Микроструктура покрытия имеет типичный для газотермических покрытий слоистый характер с равномерно расположенными по толщине порами (рис. 1).

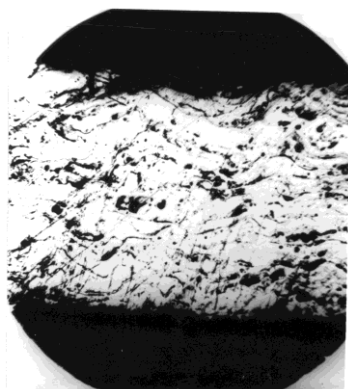


Рис. 1. Микроструктура сталь-молибденового покрытия ×115

Травление образцов проводилось реактивом Мураками (10 г NaOH, 10 г $K_3Fe(CN)_3$, 10 мл H_2O), который применяется для выявления структуры Mo и др. тугоплавких материалов.

На рис. 2 показана структура сталь-молибденового покрытия после травления. Микроструктура покрытия представляет собой сочетание молибдена (темные, травящиеся участки) и стали (светлые, не травящиеся участки).

При бóльшем увеличении в структуре покрытия выявляется крупнодисперсная составляющая молибдена, появившаяся, по-видимому, вследствие высоких скоростей кристаллизации в процессе нанесения покрытия (рис. 3).

Кроме двух основных фаз в покрытии наблюдаются и другие структурные составляющие, которые, можно сказать, являются продуктами взаимодействия стальной и молибденовой проволоки с кислородом и азотом воздуха, а также продуктами взаимодействия между собой молибдена и стали в процессе плазменного напыления.

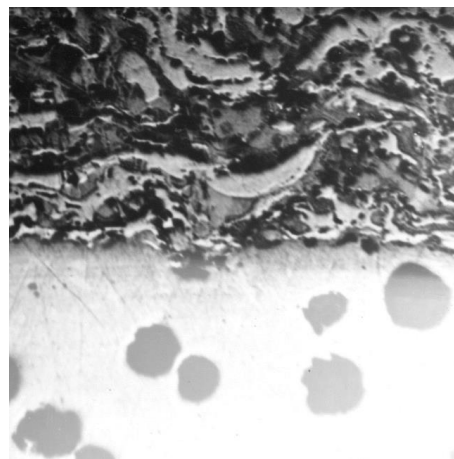


Рис. 2. Микроструктура сталь-молибденового покрытия в травленном состоянии, x115

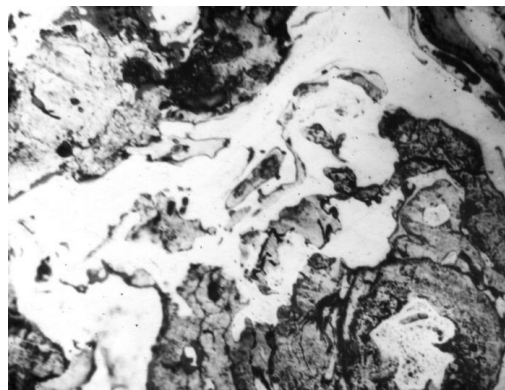


Рис. 3. Микроструктура поверхностного слоя стале-молибденового покрытия, ×400

Размер пор покрытия составляет 5...10 мкм, что является оптимальным для поршневых колец, работающих со значительными силовыми и температурными нагрузками.

Пористость покрытия (до 12%) обеспечивает повышенную маслосъемность колец, что положительно сказывается как на процессе приработки рабочей пары гильза – поршневое кольцо, так и на работе поршневых колец при эксплуатации.

Контроль прочности сцепления сталь-молибденового покрытия с основой осуществлялся на специальном приспособлении путем скручивания поршневого кольца с одновременным изгибом до отслоения покрытия. Угол закручивания, при котором происходило отслоение исследуемых покрытий – не менее 35°, что свидетельствует об удовлетворительном сцеплении покрытий.

Замер микротвердости по толщине покрытия показал, что для молибдена составляет $H_{\mu} = 550...590$, для стали $H_{\mu} = 460...560$.

После испытаний на износостойкость, микротвердость молибдена возросла до $H_{\mu} = 720 \dots 760$, а стали – до $H_{\mu} = 520 \dots 580$.

С целью определения антифрикционных свойств полученного сталь-молибденового покрытия поршневых колец и склонности к схватыванию его с гильзой были проведены испытания по определению зависимости коэффициента трения от нагрузки. Испытывались образцы, вырезанные из хромированных и сталь-молибденовых колец, при трении в паре с дисковыми образцами из чугуна. Исследования проводились на машине трения СМЦ-2 при ступенчатом нагружении. Смазывание маслом осуществлялось окунанием, а также нанесением его на рабочие поверхности образцов перед испытанием. Результаты испытаний представлены в табл. 2.

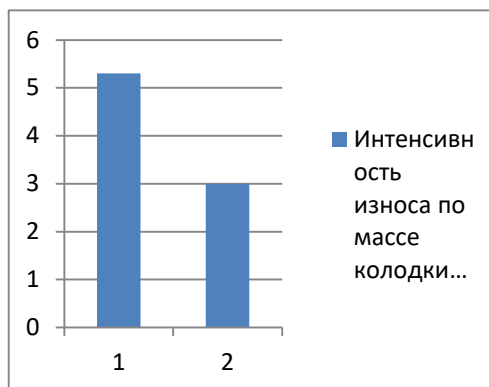
Полученные данные свидетельствуют о том, что сталь-молибденовое покрытие не схватывается с гильзовым чугуном во всем диапазоне нагрузок. А при трении в более жестких условиях (с однократным смазыванием перед испытанием) коэффициент трения при высоких нагрузках оказывается даже меньшим, чем при обильном смазывании. В

то же время образцы хромированных колец при работе в более жестких условиях выдерживают меньшие нагрузки до задириобразования. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о более высокой задиристости и лучших антифрикционных характеристиках поршневых колец со сталь-молибденовым покрытием в сравнении с электролитическим хромированным. Для определения износостойкости и изнашивающей способности сталь-молибденового покрытия при приработке его в паре с гильзой проведены испытания на износостойкость в сравнении с хромированными поршневыми кольцами. Испытание проводилось на машине СМЦ-2 с возвратно-поступательным движением в течение двух часов при нагрузке 1 кН и скорости скольжения 1,3 м/час. Смазка – окунание в масло.

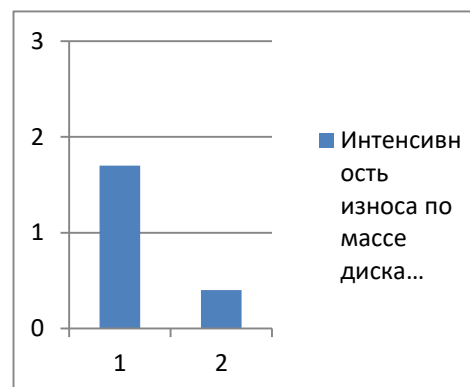
На рис. 4 представлены для сравнения гистограммы интенсивности износа по массе диска (гильзы) и колодки (кольца), обрабатываемых по существующей технологии (электролитическим хромированием) и после нанесения сталь-молибденового покрытия.

Таблица 2 – Зависимость коэффициента трения от нагрузки

| Кольцо | Смазка | Коэффициент трения при нагрузке Р, кН | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | |
| Хромиров. | Окунан. | 0,079 | 0,077 | 0,082 | 0,077 | 0,074 | Задир | | | | | |
| Сталь-молибд. | --- | 0,066 | 0,068 | 0,072 | 0,070 | 0,070 | 0,072 | 0,072 | 0,072 | 0,072 | 0,072 | |
| Хромиров. | Смазывает. | 0,098 | 0,099 | 0,103 | Задир | | | | | | | |
| Сталь-молибд. | --- | 0,068 | 0,069 | 0,070 | 0,070 | 0,072 | 0,072 | 0,062 | 0,067 | 0,067 | 0,065 | |



а



б

Рис. 4. Гистограммы интенсивности износа по массе колодки (кольца) «а» и диска (гильзы) «б»; 1 – хромированное покрытие; 2 – сталь-молибденовое покрытие

Анализ результатов свидетельствует о том, что сталь-молибденовое покрытие оказывается более износостойким, чем электролитически хромированное. Сталь-молибденовое покрытие в меньшей мере изнашивает

сопрягаемый материал и имеет более низкий коэффициент трения.

На рис. 5 представлена зависимость износа поршневых колец, хромированных и со сталь-молибденовым покрытием, от времени испытаний.

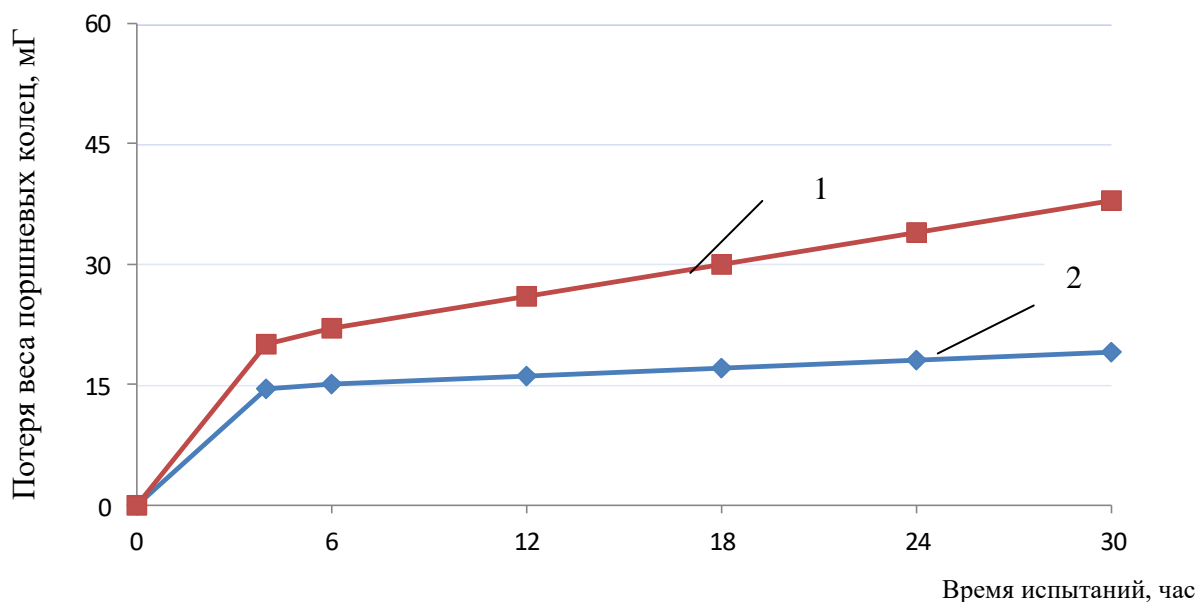


Рис. 5. Зависимость износа поршневых колец от времени испытаний: 1 — хромированное кольцо; 2 — кольцо со сталь-молибденовым покрытием

Анализ полученных результатов свидетельствует о более быстрой прирабатываемости поршневых колец со сталь-молибденовым покрытием. Для поршневого кольца со сталь-молибденовым покрытием характерна также меньшая интенсивность износа, что подтверждают полученные данные о хороших антифрикционных свойствах этих покрытий.

Такой комплекс показателей сталь-молибденового покрытия можно объяснить специфическими свойствами окислов молибдена, которые могут оказывать дополнительное смазывающее воздействие, выполняя роль твердой смазки. Кроме того, высокая температура плавления молибдена (2600°C) способствует меньшей склонности к схватыванию (привариванию) сопрягаемых материалов.

Уменьшению схватывания способствует отличие параметров кристаллического строения молибдена и Fe_α , являющегося основой металлической матрицы чугуна. Молибден кристаллизуется с образованием объемно-центрированной кубической решетки с периодом $a = 3,1474$, тогда как у Fe_α $a = 2,8665$ (у хрома период решетки $a = 2,8829$).

Выводы

Предложена технология нанесения сталь-молибденового покрытия.

Исследование структуры сталь-молибденового покрытия показало, что оно имеет гетерофазное строение.

Пористость сталь-молибденового покрытия обеспечивает повышенную маслоемкость колец, что положительно сказывается на процессе приработки рабочей пары гильза - поршневое кольцо.

При всех исследованных нагрузках коэффициент трения сталь-молибденового покрытия на 20 % ниже, чем у хромированного покрытия.

Интенсивность износа хромированного кольца в 2 раза выше, чем у кольца со сталь-молибденовым покрытием.

Поршневые кольца со сталь-молибденовым покрытием отличаются более быстрой прирабатываемостью, чем кольца с хромированным покрытием.

Дано обоснование более высокому комплексу антифрикционных свойств и износостойкости поршневых колец со сталь-молибденовым покрытием по сравнению с хромированным.

Литература

1. Кудинов В.В. Теория и практика газотермического нанесения покрытий / В.В. Кудинов. – М.: Металлургия, 2000.
2. Kitahara Sh. Some contributions on adhesive mechanism and composition of boundary between sprayed coating and substrate. *Y Gap / Sh. Kitahara // WeldSoc.* – 2003. – Vd. 42, № 2. – P. 91–99.
3. Антошин Е.В. Нанесение металлических и неметаллических покрытий посредством газотермического напыления / Е.В. Антошин. – М.: Машиностроение, 2002.
4. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий. – Киев : Техника, 2000. – 396 с.
5. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Мorigaki. – Москва : Машиностроение, 1985. – 240 с.
6. Современные методы упрочнения поверхностей деталей машин. Аналитический обзор : Научно-технический прогресс в машиностроении / под ред. К.В. Фролова. – М.: ИМАШ АН СССР, 2009. – Вып. 9.1 – С. 205–271.
7. Panin V. K. Influence of thin strength coating of the deformation and fracture mechanisms / V. K. Panin., P. V. Makarov, S. V. Panin // *Int. Conf. «Math. Metli. Phys, Mech and Mesomech. Fract».* – Tomsk, 1996. – С. 123.
8. Большаков В. И. Об эффективности защитных покрытий деталей газотурбинных двигателей / В. И. Большаков, В. И. Харченко, В. Н. Журавель // *Перспективные задачи современной науки : сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2002 – С. 109–111.*
9. Никитин М.Д. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизеля / М.Д. Никитин, А.Я. Кулик, Н.И. Захаров. – Львов: Машиностроение, 2007. – 115 с.
10. Diesel Engine Cylinder Bore Coating for Extreme Operating Conditions / Kamo Lloyd, Dorsaf Saad, Philippe Saad, Milad H.Mekari // *SAE Technical Paper 2007-01-1439, 2007.* DOI: 10.4271/2007-01-1439
11. Agarwala R.C. Electroless alloy/composite coatings: A review / R.C. Agarwala, V. Agarwala // *Sadhana.* 2003. Vol. 28. Parts 3 & 4. P. 475-493.
12. Хокинг М. Металлические и керамические покрытия / М. Хокинг, В. Васантасри, П. Сидки. – М.: Мир, 2000. – 518 с.
13. Holmberg K. Coatings Tribology – Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering / K.Holmberg, A.Matthews // *Tribology and Interface Engineering Series 56.* Amsterdam: Elsevier, 2009. 560 p.
14. Krasnyy V. Increase of wear and fretting resistance of mining machinery parts with regular roughness patterns / V.Krasnyy, V.Maksarov, J.Olt // *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium.* 2016. P. 151-156.
15. Musil J. Hard and super hard nanocomposite coatings // *Surface and coatings technology.* 2000. Vol. 125. Iss. 1-3. P. 322-330.
16. Shaffer S.J. Tribological performance of various coatings in unlubricated sliding for use in small arms action components / S.J.Shaffer, M.J.Rogers // *Wear.* 2007. Vol. 263. P. 1281-1290.
17. Maksarov V. The Formation of Surface Roughness of Piston Rings for the Purpose of Improving the Adhesion of WearResistant Coatings / V.Maksarov, V.Krasnyy // *Key Engineering Materials.* 2017. Vol. 736. P. 73-78.
18. Sigmund P. Nucl. Mechanisms and theory of physical sputtering by particle impact // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B.* 1987. Vol. 27. Iss. 1. P. 1-20. DOI:10.1016/0168-583X(87)90004-8
19. ASTM E 384-10e2 Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials. – 42 p.
20. Катц Н.В. Металлизация распылением / Н.В. Катц и др. – М.: Машиностроение, 2006.

Reference

1. Kudinov V.V. Theory and practice of gas-thermal coating /V.V. Kudinov. - М .: Metallurgy, 2000.
2. Kitahara Sh. Some contributions on adhesive mechanism and composition of boundary between sprayed coating and substrate. *Y Gap / Sh. Kitahara // WeldSoc.* – 2003. – Vd. 42, № 2. – P. 91–99.
3. Antoshin E.V. Applying metallic and nonmetallic coatings by means of thermal spraying / EV Antoshin. - М .: Mashinostroenie, 2002.
4. Kostetsky B.I. Friction, lubrication and wear in machines / B.I. Kostetsky. - Kiev: Technique, 2000. - 396 p.
5. Hasui A. Surfacing and spraying / A. Hasui, O. Morigaki. - Moscow: Machine building, 1985. - 240 p.
6. Modern methods of hardening the surfaces of parts of the machine. Analytical review: Scientific and technical progress in machine building / ed. K.V. Frolova. - Moscow. : IMASH Academy of Sciences of the USSR, 2009. - Vol. 9.1 - p. 205–271.
7. Panin V. K. Influence of thin strength coating of the deformation and fracture mechanisms / V. K. Panin., P. V. Makarov, S. V. Panin // *Int. Conf. «Math. Metli. Phys, Mech and Mesomech. Fract».* – Tomsk, 1996. – С. 123.
8. Bolshakov V. I. On the effectiveness of protective coatings for parts of gas-turbine engines / V. I. Bolshakov, V. I. Kharchenko, V. N. Zhuravel - // *Perspective tasks of modern science: Proc. scientific tr. - Dnepropetrovsk, 2002 - pp. 109 - 111.*

9. Nikitin M. D. Heat-proof and wear-resistant coatings for diesel engine parts / M. D. Nikitin, A. Ya. Kulik, N. I. Zakharov. - Lviv: Mashinostroenie, 2007. - 115 p.
10. Diesel Engine Cylinder Bore Coating for Extreme Operating Conditions / Kamo Lloyd, Dorsaf Saad, Philipe Saad, Milad H.Mekari // SAE Technical Paper 2007-01-1439, 2007. DOI: 10.4271/2007-01-1439
11. Agarwala R.C. Electroless alloy/composite coatings: A review / R.C. Agarwala, V. Agarwala // Sadhana. 2003. Vol. 28. Parts 3 & 4. P. 475-493.
12. Hawking, M. Metallic and ceramic coatings / M. Hawking, V. Wasan-tasri, P. Sidka. - M.: Mir, 2000. - 518 p.
13. Holmberg K. Coatings Tribology – Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering / K.Holmberg, A.Matthews // Tribology and Interface Engineering Series 56. Amsterdam: Elsevier, 2009. 560 p.
14. Krasnyy V. Increase of wear and fretting resistance of mining machinery parts with regular roughness patterns / V.Krasnyy, V.Maksarov, J.Olt // Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium. 2016. P. 151-156.
15. Musil J. Hard and super hard nanocomposite coatings // Surface and coatings technology. 2000. Vol. 125. Iss. 1-3. P. 322-330.
16. Shaffer S.J. Tribological performance of various coatings in unlubricated sliding for use in small arms action components / S.J.Shaffer, M.J.Rogers // Wear. 2007. Vol. 263. P. 1281-1290.
17. Maksarov V. The Formation of Surface Roughness of Piston Rings for the Purpose of Improving the Adhesion of WearResistant Coatings / V.Maksarov, V.Krasnyy // Key Engineering Materials. 2017. Vol. 736. P. 73-78.
18. Sigmund P. Nucl. Mechanisms and theory of physical sputtering by particle impact // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B. 1987. Vol. 27. Iss. 1. P. 1-20. DOI:10.1016/0168-583X(87)90004-8
19. ASTM E 384-10e2 Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials. – 42 p.
20. Katz N.V. Spray metallization / N.V. Katz et al. - M.: Mashinostroenie, 2006.

Глушкова Діана Борисівна – д.т.н., професор,
зав. кафедри технології металів та
матеріалознавства, 057-707 37-29,
diana@gmail.com,

Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, 61002, Україна, м. Хар-
ків, вул. Ярослава Мудрого, 25

INCREASE OF LONGNESS OF PISTON RINGS METHOD OF TWO-WIRE METALIZATION Glushkova D.B., KhNAHU

Abstract. Problem. *Improving the reliability and durability of piston rings operating in conditions of friction and wear, requires the improvement of existing and the development of new technologies. Existing hardening technologies are imperfect, as they can lead to warping of the surface of products, changes in the microgeometry of parts, the appearance of stresses, and environmental problems. The currently applied electrolytic chrome plating does not satisfy the increasing requirements for the properties of piston rings made of high-strength cast iron. Instead, proposed steel-molybdenum coating applied by the method of two-wire metallization. The technological process of applying steel-molybdenum coating on piston rings includes the following steps: pre-cleaning, shot blasting, direct spraying. Molybdenum and steel wire was fed at a certain speed, molybdenum wire was connected to the positive pole of the power source, steel - to the negative. The study of the microstructure of the obtained coating showed that it has a layered character typical for gas-thermal coatings with pores evenly spaced in thickness (up to 12%). The porosity of the coating provides increased oil absorption of the rings, which has a positive effect on the process of burn-in of the working pair of liner - piston ring and on the operation of piston rings during operation. After etching, the microstructure is a combination of molybdenum and steel. In addition to the two main phases in the coating, other structural components are observed, which are products of the interaction of steel and molybdenum wires with oxygen and nitrogen of air, as well as products of interaction between each other of molybdenum and steel in the process of plasma spraying. The results obtained in the study of antifriction properties indicate a higher durability and better antifriction characteristics of piston rings with steel-molybdenum coating in comparison with electrolytic chromic. Steel-molybdenum coating at least wears out the mating material and has a lower coefficient of friction. High performance steel-molybdenum coating can be explained by the specific properties of molybdenum oxides, which can have an additional lubricating effect, acting as a solid lubricant. In addition, the high melting point of molybdenum contributes to a lower tendency to setting of the mating materials.*

Key words: *steel-molybdenum coating, conformability, wearability rate, microhardness, characteristics of molybdenum oxides.*

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ МЕТОДОМ ДВОХДРОТОВОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ Глушкова Д.Б., ХНАДУ

Анотація. *Підвищення надійності та довговічності поршневих кілець, що працюють в умовах тертя та зношування, вимагає вдосконалення*

існуючих і розробки нових технологій. Зміцнюючі технології, що існують, недосконалі, бо можуть привести до короблення поверхні виробів, зміни мікрогеометрії деталей, виникненню напружень та екологічним проблемам. Електролітичне хромове покриття, яке наносять на поршневі кільця зараз, не задовольняє зростаючим вимогам до властивостей кілець із високоміцного чавуну. Замість нього запропоновано сталь-молібденове покриття, отримане методом дводротової металізації. Технологічний процес нанесення сталь-молібденового покриття на поршневі кільця містить такі етапи: попереднє очищення, дрібнорумова обробка, безпосередньо напилення. Молібденовий та сталевий дріт подавали з певною швидкістю, молібденовий дріт підключали до позитивного полюсу джерела струму, а сталевий – до негативного. Дослідження мікроструктури отриманого покриття показало, що воно має типовий для газотермічних покриттів шаруватий характер з рівномірно розташованими по товщині порами (до 12 %). Пористість покриття забезпечує підвищену маслоємність кілець, що добре впливає на процесі припрацьовування робочої пари гільза – поршневе кільце та на роботі

поршневих кілець при експлуатації. Після травлення мікроструктура являє поєднання ділянок молібдену та сталі. Крім двох основних фаз в покритті виявляються й інші структурні складові, що є продуктами взаємодії сталевого та молібденового дроту з киснем і азотом повітря, а також продуктами взаємодії молібдену та сталі в процесі плазмового напилення. Отримані при дослідженні антифрикційних властивостей результати свідчать про більш високу задиростійкість та кращі антифрикційні характеристики поршневих кілець зі сталь-молібденовим покриттям в порівнянні з електролітичним хромовим. Сталь-молібденове покриття в меншій мірі зношує матеріал пари і має нижчий коефіцієнт тертя. Високі показники сталь-молібденового покриття можна пояснити специфічними властивостями окислів молібдену, що можуть оказувати додаткове змащення і грати роль твердого мастила. Крім того, висока температура плавлення молібдену сприяє зменшенню схильності до схоплювання матеріалів.

Ключові слова: сталь-молібденове покриття, припрацьовуваність, швидкість зношування, мікротвердість, властивості оксидів молібдену.