

**Науменко А.А.**

Харьковский национальный  
технический университет  
сельского хозяйства  
имени П.Василенко,  
г. Харьков, Украина,  
E-mail: lajo@ukr.net

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ РАЗЛИЧНОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.47.019

*В работе рассмотрены различные методы упрочнения поршневых колец, требования, предъявляемые к ним, материал, условия эксплуатации, термообработка. Рассмотрены возникающие в них дефекты и факторы, влияющие на отказ. В результате обоснована необходимость повышения износостойкости высокофорсированных дизельных двигателей путем определения требований, предъявляемым к поршневым кольцам, и разработки прогрессивного технологического процесса нанесения износостойких покрытий на поршневые компрессионные кольца с учетом их вибрационного и напряженно-деформированного состояния.*

***Ключевые слова:** поршневое кольцо, упрочняющая обработка, эксплуатация нано покрытия, плазменное напыление, трение*

Опыт эксплуатации сельскохозяйственной техники показывает, что надежность двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в значительной степени зависит от скорости изнашивания верхних поршневых колец, которая определяется их вибрационным и напряженно-деформируемым состоянием, а также составом и технологией нанесения износостойких покрытий.

Однако до сих пор действительный ресурс верхних поршневых колец значительно ниже долговечности других деталей ЦПГ двигателей. Так, широко применяемый гальванический способ нанесения хрома на рабочую поверхность поршневых колец всего лишь на 30% снижает интенсивность изнашивания по сравнению с хромированными кольцами, что явно недостаточно особенно при повышенных давлениях сгорания в цилиндре, характерных для форсированных автотракторных дизелей.

Таким образом, исследование вибрационного и напряженно-деформируемого состояния и разработка новых технологий нанесения износостойких покрытий на поршневые кольца при работе на повышенных давлениях сгорания, является актуальным как для двигателестроительных, так и ремонтных предприятий.

Основное назначение компрессионных колец – обеспечение уплотнения между камерой сгорания и картером. При износе поршневого кольца возрастает прорыв газов в картер, что уменьшает мощность двигателя, увеличивает дымность отработавших газов, увеличивает возможность коррозии поверхностей, контактирующих с выхлопными газами, ухудшает пусковые свойства двигателя. Верхнее компрессионное кольцо во время работы дизеля испытывает напряжение сжатия от давления отработавших газов, напряжение изгиба, вибрационные нагрузки и трение о втулку цилиндра и поршневую канавку.

Основную роль в обеспечении уплотнения играют рабочие поверхности кольца, контактирующие одновременно с цилиндровой втулкой и с нижней частью поршневой канавки. Здесь решающее значение для износостойкости имеет материал и технология нанесения покрытия на рабочую поверхность поршневого кольца, а также эпюра напряжения поршневого кольца в зоне его контакта. С повышением уровня форсирования ДВС прежние технологии нанесения износостойких покрытий на поршневые кольца пористым хромом в меньшей степени удовлетворяют возросшим требованиям к покрытиям в условиях более высоких температур и давлений.

Фундаментальною проблемою підвищення ефективності роботи двигателів внутрішнього згорання, а також інших механізмів сільськогосподарських машин присвячені наукові праці багатьох вчених. Однак відсутність комплексного підходу до розробки ресурсозберігаючих технологій призводить до інтенсивного износу деталей циліндро-поршневої групи. Незважаючи на великий об'єм виконаних досліджень і проведених експериментальних робіт, на даний час проблема підвищення износоустойчивості поршневих кілець, а також пов'язана з нею підвищення ступеня форсування дизельних двигателів, залишається дуже актуальною.

Для збільшення ресурсу поршневих кілець з гільзами циліндрів з чугуна СЧ- 25, хромистого чугуна і сталі 38ХМЮА застосовують різні покриття. В даний час для підвищення износоустойчивості вузла «поршневе кільце – втулка циліндра» використовуються гальванічні та плазменні покриття, лазерну наплавку. Підвищення износоустойчивості поршневих кілець представляє собою комплексну задачу, де необхідно взяти до уваги багатство конструктивних і режимних параметрів. Поршні кільця виготовляють зі сталі 65Г, сталі 45 і чугуна. Форма, розміри і характер розподілу графіту, перліта і ферриту в матеріалі поршневих кілець, виготовлених з сірого низколегованого чугуна представлені на рис. 1, 2, з високопрочного – на рис. 3,4.

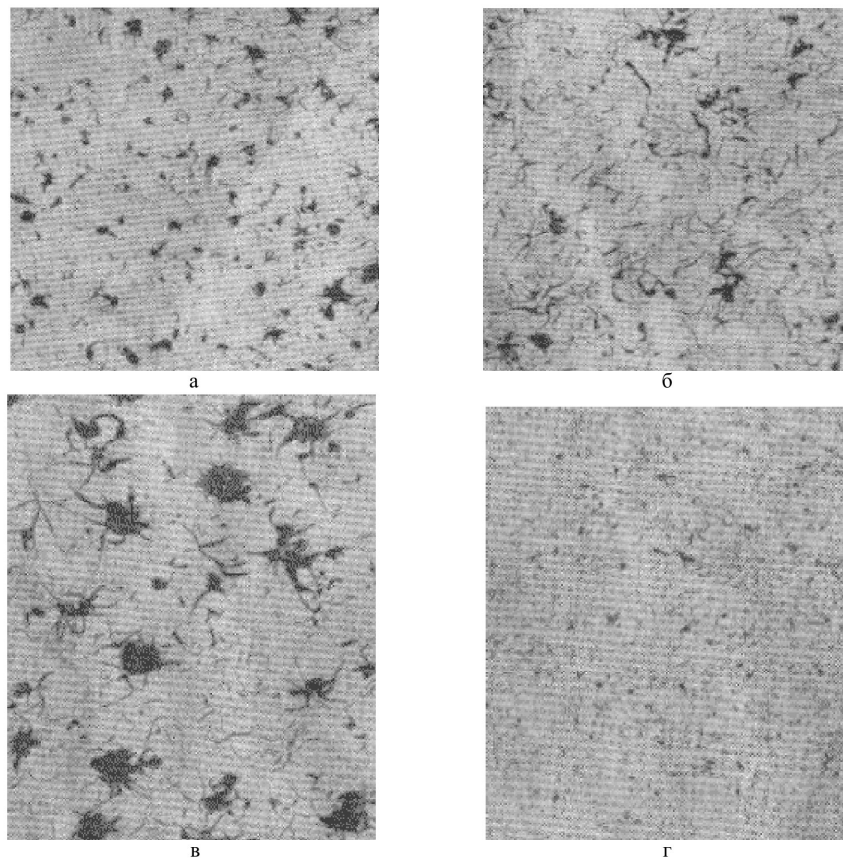


Рис. 1 – Характер розподілу графіту в структурі поршневого кільця,  $\times 100$   
а,б – задовільне, в,г – не задовільне

На износоустойчивість поршневих кілець впливають наступні фактори:

- режим роботи двигателя;
- вібрація компресійних кілець;
- конструкція кільця і поршневої канавки;
- матеріали поршня, кільця і гільзи циліндрів;
- матеріал і технологія нанесення покриття на робочі поверхності компресійних кілець.

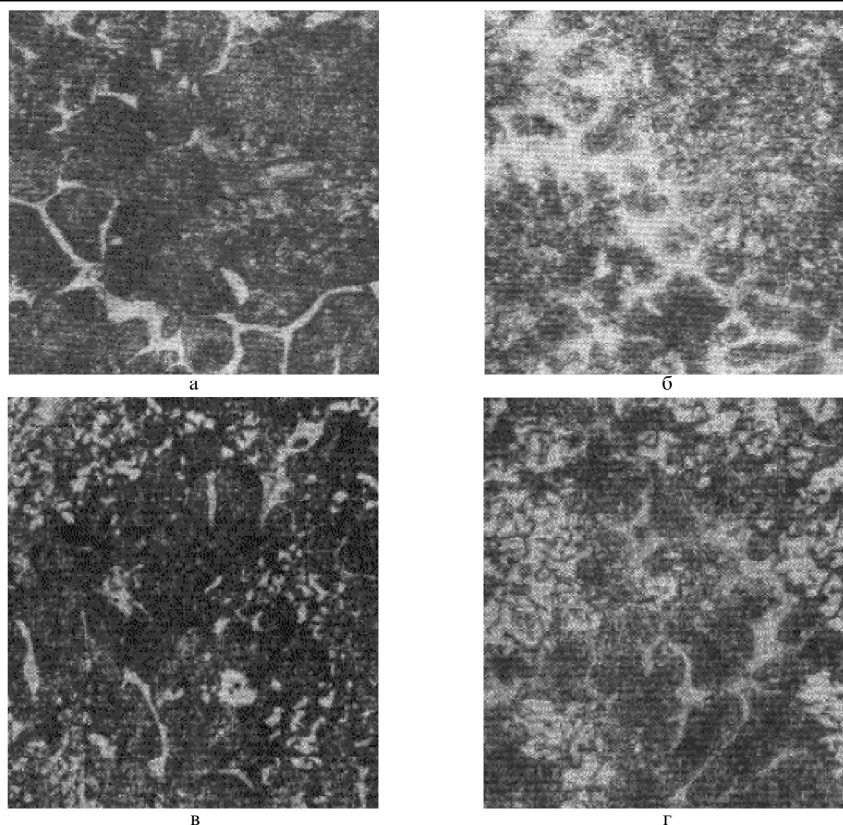


Рис. 2 – Характер распределения перлита и феррита в структуре поршневого кольца,  $\times 500$   
а,б – удовлетворительное, в,г – не удовлетворительное

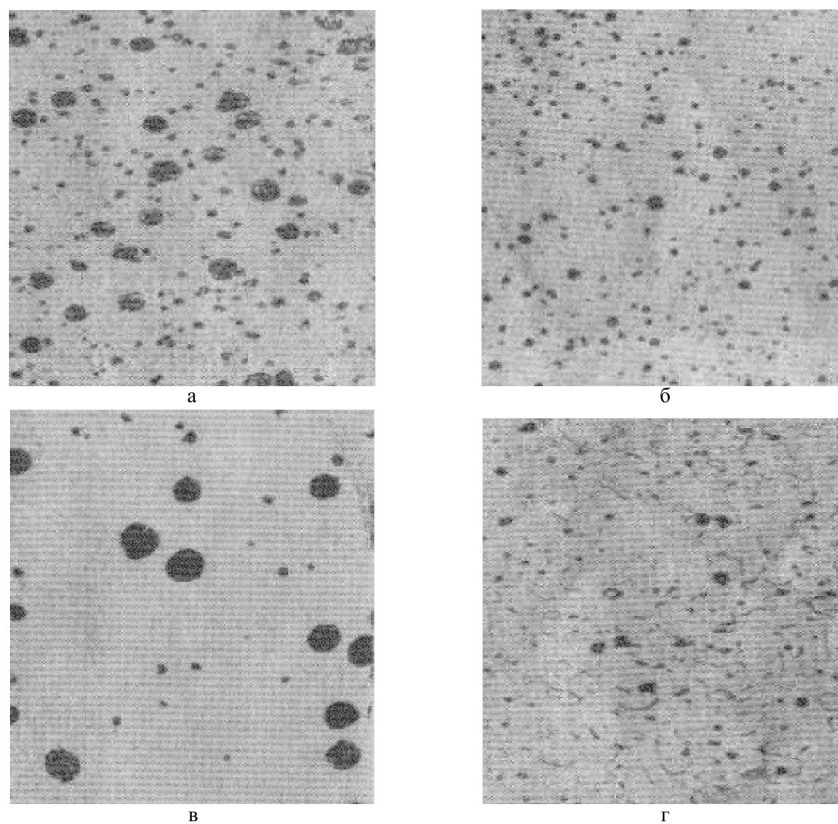


Рис. 3 – Характер распределения графита в структуре поршневого кольца,  $\times 100$   
а,б – удовлетворительное, в,г – не удовлетворительное

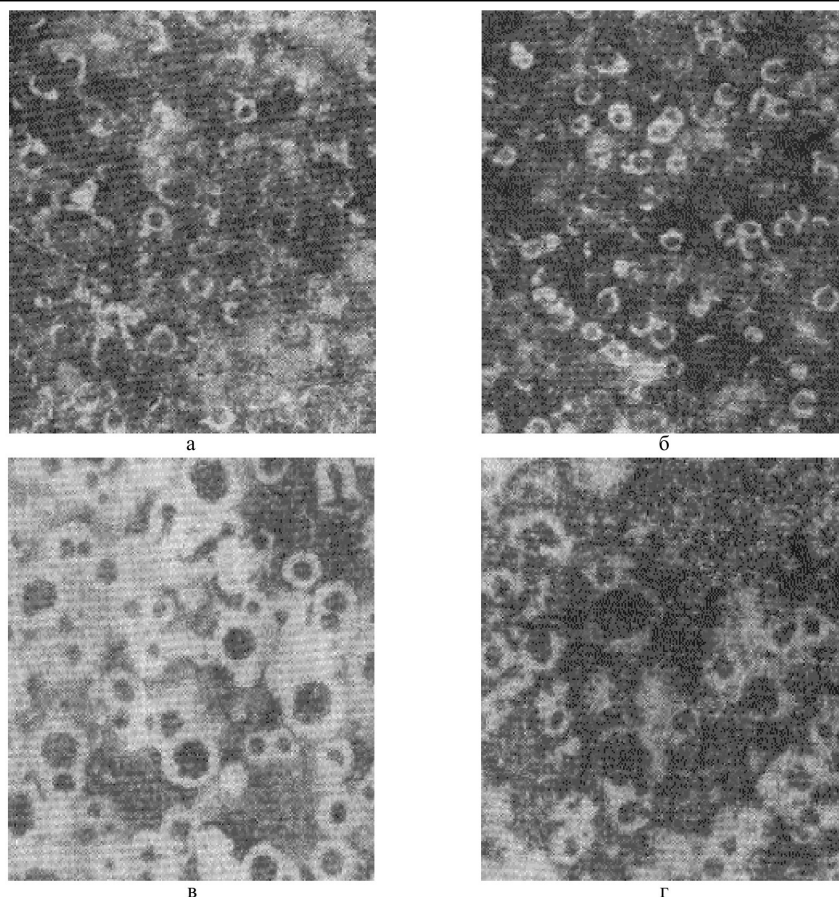


Рис. 4 – Характер распределения феррита в структуре поршневого кольца,  $\times 500$   
а,б – удовлетворительное, в,г – не удовлетворительное

В результате воздействия максимального давления сгорания газов деформируется кольцо, втулка и поршневая канавка, что в свою очередь меняет положение кольца в поршневой канавке. Эти изменения ведут к перераспределению эпюры контактных напряжений кольца, что может повлиять на его уплотняющее свойство. Анализ литературы показал, что в настоящее время отсутствует комплексный подход к решению таких разнородных задач как повышение износостойкости и долговечности узла трения. Для повышения износостойкости поршневых колец, а также для улучшения условий эксплуатации на поверхность наносят различные виды покрытий.

Одним из наиболее распространённых является способ [ 1 ], который включает преждевременное осаждения хрома и окончательное хромирование с механическим воздействием на катодную пленку за счет контакта обрабатываемой поверхности с хонинговальным брусом, который делает возвратно-поступательное движение при вращении обрабатываемого изделия с принудительной прокачкой электролита в межэлектродном зазоре, при этом перед предварительным осаждением хонинговальные бруски устанавливают с гарантированным зазором, равным 0,3-0,5 мм, а после нанесения покрытия толщиной 8-200 мкм на 6-15 мин делают паузу в подаче технологического тока без отключения на протяжении всего процесса.

При этом окончательное хромирование проводят с начальным плавным повышением плотности тока со скоростью 4-6 А/с до момента резкого изменения катодного потенциала, после чего ток повышают до рабочей величины. Способ используется для деталей, работающих в условиях интенсивных контактных силовых нагрузок.

Недостатком этого способа является его сложность в осуществлении технологического процесса, который не может быть использован для таких прецизионных деталей, как компрессионные поршневые кольца, со сложной профильной поверхностью. При

увеличении прочности сцепления поверхности хромированием лучшие показатели качества упрочнённого слоя достигаются предварительной его активацией. Один из способов повышения износостойкости покрытий с использованием активации поверхности игольчатой фрезой [2], используется как для предварительного, так и последующего процесса нанесения покрытий газотермическим напылением для уменьшения порообразования, и увеличения прочности сцепления нанесенного слоя с основой. При хромировании фасонных поверхностей невозможно проводить дополнительную обработку фрезой в процессе нанесения покрытия, которая бы обеспечила повышение его сцепления с основой.

Одним из наиболее прогрессивных, получивших широкое распространение в последнее время, является метод упрочнения изделий из высокопрочного чугуна высококонцентрированным источником энергии - плазменной обработкой [3], которую выполняют под разными углами 40-50°, плазменной струей  $I = 400\text{A}$ , при плотности плазменного потока 25-40 Дж / см<sup>2</sup>, и дистанции обработки  $h = 5\text{мм}$ , при размере зоны упрочнения - толщиной  $\delta = 2,5\text{мм}$  и шириной  $a = 10\text{мм}$ .

Использование этого метода упрочнения поверхности тонкостенных деталей из чугуна со сложным профилем поверхности будет приводить к потере их геометрической формы. Кроме того, такие параметры обработки испаряют рабочий слой и не могут обеспечить эффективную работу сопряжения. Разновидностью данного метода является вакуумно-плазменный [4], который можно использовать совместно с предварительным хромированием поверхности. Обработку проводят с использованием 3-5 или 3-10 плазменных импульсов длительностью до 10мкс при плотности энергии плазменного потока 25-40 Дж / см<sup>2</sup> и охлаждением поверхностного слоя толщиной 20-100мкм при скорости 106 ° С<sup>-1</sup>.

Недостатком способа упрочнения является невозможность его использования для тонкостенных деталей из чугуна, он также не обеспечивает формирование качественной поверхности упрочнения.

Наряду с традиционными, всё более широкое распространение получают способы повышения износостойкости с применением нанопокровов [5]. Рассматривают характеристики трения и микротвердости композитных ионно-плазменных покрытий нескольких составов, а именно TiN, TiAlN, MoN + Mo и MoCuN на примере работы поршневых колец тепловозных дизельных двигателей с оценкой их влияния на технико-экономические показатели. Была обоснована эффективность предложенной технологии упрочнения колец такими покрытиями, однако, в работе не использовали стабильно упрочняющие композиции, которые бы состояли из многослойного нанопокровов. Кроме того, эта технология не отражает поэлементного изменения химического состава покрытий при эксплуатации и не контролирует, влияние изменения скорости трения при испытаниях.

Другой способ упрочнения [6], предусматривает процессы формирования нитридных покрытий путем распыления систем на основе двух элементов Al+Ti и Ti+C методом вакуумно-дугового осаждения, с фиксацией их физико-механических свойств. Используемые материалы и способ упрочнения обеспечивают достаточный уровень свойств покрытий, незначительный износ и низкий коэффициент трения. Однако, как и в предыдущем случае не использовано преимущество многослойного покрытия и не установлено оптимальное соотношение содержания твердой составляющей в более мягкой при изменении параметров трения. Кроме того, технологический процесс не предусматривает использование таких покрытий для узконаправленного упрочнения поршневых колец, для которых требуются специфические эксплуатационные показатели.

Таким образом, из рассмотренного выше, можно сделать вывод, что разнообразие способов упрочнения поршневых колец, в полной мере не решает проблему повышенного износа деталей ЦПГ двигателей, и требуется разработка технологии, которая комплексно решит данную проблему.

### Литература

1. Наноструктурные покрытия / Под ред. А. Кавалейро. М.: Техносфера, 2011. 752 с.
2. Способ электролитического хромирования. Патент РФ № 2175032 от 20.10.2001
3. Спосіб напилювання газотермічного порошкового покриття, Патент України № 44694
4. Вакуумно-плазмовий спосіб зміцнення різального інструменту з вуглецевої сталі. Патент України № 57072
5. Соснин Н. А., Ермаков С. А., Тополянский П. А. Плазменные технологии: Руководство для инженеров. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 406 с.
6. Повышение надежности трибосопряжений. Погодаев Л. И., Кузьмин В. Н., Дудко П. П. СПб.: Академия транспорта РФ, 2001. 304 с.

### Summary

**Naumenko A.A.** Various machines pistons rings fitting methods analysis

*The article considers various methods of piston rings strengthening, the requirements imposed on them, material, operating conditions, heat treatment. The defects appearing in them and the factors influencing the failure are examined. As a result, the necessity of increasing the wear resistance of high-powered diesel engines is proved by determining the requirements for piston rings and developing a progressive process for applying wear-resistant coatings to piston compression rings, taking into account their vibrational and stress-strain state.*

**Keywords:** piston ring, hardening treatment, nano-coating operation, plasma spraying, friction

### References

1. Nanostrukturniye pokrytiya /pod red. A. Kavaleiro, M. Technosfera, 2011, 752 p.
2. Sposob electroliticheskogo khromirovaniya. Patent RF №2175032, 20.10.2001
3. Sposib napylyuvannya gazotermichnogo poroshkovogo pokryttia, Patent Ukrainy №44694
4. Vakuumno-plazmovyi sposib zmichennia rizalnogo instrumentu z vuglecevoyi stali Patent Ukrainy № 57072
5. Sosnin N.A., Yermakov S.A., Topolyanskiy P.A. Plazmenniyе technologies. Rukovodstvo inzhenerov. SPb. Izdatelstvo Politehnicheskogo universiteta, 2008, 406 p.
6. Povysheniye nadezhnosti tribosopriazheniy. Pogodayev L.I., Kuzmin V.N., Dudko P.P. SPb. Akademiya transporta RF, 2001, 304 p.