

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**В.И. Мощенок, профессор, к.т.н., Е.А. Нестеренко, ассистент,
ХНАДУ, А.В. Сагалович, гл. инженер, НТЦ «Нанотехнология»,
А.К. Олейник, к.т.н., вед. инженер, Е.В. Чуйкова, инженер,
В.П. Черкашин, инженер, ГП «Завод им. В.А. Малышева»**

***Аннотация.** Приведены результаты испытаний по определению влияния состава композитных вакуумных ионно-плазменных покрытий на величину и характер изменения коэффициента трения в зависимости от нагрузки. Определена эффективность использования покрытий для поршневых колец дизельных двигателей.*

***Ключевые слова:** трение, поршневое кольцо, ионно-плазменные покрытия, микротвердость.*

Введение

Технико-экономические показатели двигателей внутреннего сгорания в значительной мере зависят от характеристик работы деталей цилиндра-поршневой группы и, прежде всего, поршневых колец. Снижение потерь на трение этих деталей в наибольшей степени определяет возможность повышения механического КПД и, соответственно, снижение расхода топлива в эксплуатации. В настоящей работе рассматривается изменение триботехнических характеристик композитных вакуумных ионно-плазменных покрытий при варьировании их элементного состава в диапазоне нагружений поршневых колец тепловозных дизельных двигателей. Исследована микротвердость покрытий и ее изменение после испытаний. Испытания показали возможность существенного повышения работоспособности деталей и улучшения характеристик выпускаемых двигателей.

Анализ публикаций

В настоящее время для повышения долговечности и работоспособности деталей и инструмента в различных отраслях промышленности используются вакуумные ионно-плазменные покрытия, которые обеспечива-

ют поверхностным слоям уникальное сочетание свойств, существенно отличающееся от свойств материала основы [1–3]. Это дает возможность многократно повышать триботехнические характеристики таких покрытий.

Исследование характеристик трения и износа ионно-плазменных покрытий в условиях работы деталей цилиндра-поршневой группы высокофорсированного дизельного двигателя [4], а также опыт эксплуатации алюминиевых поршней с композитным покрытием MoN + Mo свидетельствуют о высоких характеристиках этих покрытий по износостойкости и антифрикционным свойствам.

Испытания штампового инструмента с покрытиями показали высокую его работоспособность [5 – 6], что может обеспечить работу высоконагруженных деталей форсированных двигателей.

Цель и постановка задачи

Целью работы является определение характеристик трения и микротвердости композитных ионно-плазменных покрытий применительно к работе поршневых колец тепловозных дизельных двигателей, а также

оценка влияния этих покрытий на технико-экономические характеристики выпускаемых двигателей.

Материалы и методика исследования

Для испытаний были отобраны следующие варианты покрытий:

1. Покрытие TiN;
2. Покрытие TiAlN;
3. Покрытие MoN + Mo;
4. Покрытие MoCuN.

Исследованные покрытия нанесены в НТЦ «Нанотехнология» методом вакуумного ионно-плазменного напыления. Покрытия наносились на модернизированной установке, позволяющей программированно получать многослойные нано-композитные покрытия с улучшенным комплексом характеристик. Расчетная толщина исследованных покрытий составляла 3...5 мкм. Подложками для покрытий служили образцы из стали X12Ф1, термообработанные на твердость 60...61 HRC. Для сравнения испытывали образцы поршневых колец дизеля 10Д100М1 с хромовым покрытием, нанесенным электролитическим способом.

Испытания проведены по схеме «диск – колодка». В качестве «дисков» использовали стандартные для машин трения СМТ-1 и СМЦ-2 образцы диаметром 50 мм и высотой 12 мм, изготовленные из легированного чугуна, который применяется для отливок гильз цилиндров дизелей Д100 и Д80. В качестве «колодок» использовали образцы в виде куба 10x10x10 мм, на грани которого были нанесены исследуемые покрытия. Шероховатость рабочих поверхностей образцов без покрытий соответствовала Ra 0,44 – 0,40 мкм, образцов с покрытиями – Ra 0,16 мкм.

Испытания по определению коэффициентов трения проводили на машине трения СМТ-1 при ступенчатом нагружении в диапазоне общих нагрузок (P) 0,2 – 1,4 кН и скорости скольжения 1,3 м/с. Смазку осуществляли маслом М14В2 однократно перед началом испытаний.

Результаты исследований

Результаты испытаний по определению коэффициентов трения ($f_{тр}$) приведены в табл. 1.

Таблица 1 Результаты испытаний исследованных покрытий

Покры- тие	Значения $f_{тр}$ при нагрузке P , кН						
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
TiN	0,025	0,033	0,040	0,051	0,085	0,097	0,086
TiAlN	0,020	0,023	0,028	0,034	0,040	0,057	0,086
MoN + Mo	0,020	0,23	0,032	0,038	0,049	0,060	0,065
MoCuN	0,020	0,025	0,030	0,036	0,044	0,050	0,080
Хромир. кольцо	0,120	0,105	0,093	0,92	0,096	↑*	

↑* – стрелками показаны моменты начала зади-рообразования.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что использование для поршневых колец исследованных композитных покрытий может обеспечить более высокую задиростойкость и лучшие характеристики трения сопряжения гильза – поршневое кольцо по сравнению с используемым электролитическим хромовым покрытием. Однако следует обратить внимание на то, что при повышении общих нагрузок коэффициенты трения исследованных покрытий несколько увеличиваются, тогда как коэффициент трения хромированного поршневого кольца снижается. Это свидетельствует о том, что для достижения большего эффекта использования исследуемых перспективных покрытий поршневых колец целесообразно одновременно проработать возможность снижения действующих нагрузок в сопряжениях.

Для оценки эффективности использования различных покрытий в табл. 2 приведены средние значения коэффициентов трения ($f_{тр}$) в диапазоне общих нагрузок 0,2 – 1,0 кН, характерных для условий работы компрессионных поршневых колец.

Таблица 2 Средние значения коэффициентов трения ($f_{тр}$) в диапазоне общих нагрузок 0,2 – 1,0 кН и микротвердость исследованных покрытий

Материал покрытия	Зна- че- ния $f_{тр}$	Микротвердость, HV50, кг/мм ²	
		исходная	дорожек трения
TiN	0,054	2515	3334
TiAlN	0,029	1503	1720
MoN + Mo	0,032	1507	2335
MoCuN	0,031	2022	2212
Хромирован- ное кольцо	0,101	1057	755

Анализ средних значений показывает, что покрытия TiAlN, MoN + Mo и MoCuN дают примерно одинаковые коэффициенты трения в диапазоне 0,029 – 0,032, что более чем в три раза меньше, чем значения коэффициентов трения хромированных поршневых колец. Покрытие TiN снижает коэффициент трения примерно в два раза по сравнению с хромовым покрытием. Наиболее низкие значения коэффициентов трения в рассматриваемом диапазоне нагрузок получены при испытаниях покрытия TiAlN.

Для определения эффективности применения исследованных покрытий на поршневых кольцах выпускаемых дизельных двигателей проведен предварительный расчет потерь мощности на трение цилиндра-поршневой группы двигателя 10Д100 при использовании компрессионных поршневых колец с такими покрытиями. Учитывая более высокую эффективность покрытий в снижении коэффициентов трения при меньших нагрузках, в расчете рассмотрена возможность снижения действующих нагрузок за счет уменьшения осевой высоты поршневых компрессионных колец.

Рассмотрена также эффективность использования исследованных покрытий при уменьшении общего количества поршневых колец, что является общей тенденцией в современном поршневом двигателестроении. Результаты проведенных предварительных расчетов представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3 Изменение технико-экономических показателей двигателя 10Д100

№ вар.	Комплектация поршня	Номинал. N _e , кВт	Удельный расх. топл. g _e , г/(кВт ч)	Стоимость компл. п/к, грн.	Измен. стоим., грн.	Ресурс ЦПГ, млн.км
1	Покр. хром 4 п/к, h8мм	2200	228	7080	-	1,2
2	Покр. TiAlN 4 п/к, h4мм	2394,8	209,5	7480	+400	>2,4
3	Покр. TiAlN 3 п/к, h4мм	2385,4	210,3	5610	-1470	>2,4
4	Покр. TiAlN 4 п/к, h8мм	2362,3	212,7	12880	+5800	>1,2

Результаты расчетов показывают, что снижение потерь на трение поршневых колец приводит к существенному повышению номинальной мощности двигателя, а также к снижению удельного расхода топлива. В табл. 4 приведены результаты расчета экономии топлива на один двигатель в год и за весь предполагаемый ресурс эксплуатации двигателя по ЦПГ.

Таблица 4 Экономический эффект в эксплуатации за счет экономии топлива (грн)

№ вар.	Экономия при годовом пробеге 200000 км/год	Экономия при годовом пробеге 300000 км/год	Экономия за весь ресурс работы ЦПГ	Время окупаемости при N _e
1	-	-	-	-
2	407667	611500	>4892000	< 2 час
3	406116	609174	>4873339	-
4	401534	602300	>2409200	30 час

Расчет выполнен по предварительным данным, полученным при лабораторных испытаниях на машинах трения с учетом условного расхода топлива 5 тыс. кг / 1 тыс. км и стоимости топлива 5 грн. / кг.

Полученные результаты настоящих исследований, а также известные данные по многократному повышению износостойкости деталей и инструментов при использовании вакуумных ионно-плазменных покрытий позволяют рекомендовать покрытия MoN + Mo, TiAlN и MoCuN на поршневых кольцах выпускаемых дизельных двигателей для опробования в условиях стендовых испытаний и испытаний на опытных двигателях.

Выводы

1. Проведены испытания по определению триботехнических характеристик покрытий, полученных методом вакуумного ионно-плазменного напыления в сравнении с электролитическим хромовым покрытием для поршневых колец выпускаемых дизельных двигателей.

2. Покрытие TiN снижает коэффициент трения примерно в два раза по сравнению с хромовым покрытием.

3. Покрытия TiAlN, MoN + Mo и MoCuN дают примерно одинаковые коэффициенты трения, которые в диапазоне нагрузок 0,2 – 1,0 кН более чем в три раза меньше, чем значения коэффициентов трения хромового электролитического покрытия поршневых колец дизельного двигателя 10Д100М1.

4. Целесообразно опробование покрытий MoN + Mo, TiAlN и MoCuN на поршневых кольцах выпускаемых дизельных двигателей для опробования в условиях стендовых испытаний и испытаний на опытных двигателях.

Литература

1. Еременко В.Н. Титан и его сплавы. – К.: Изд-во АН УССР, 1960. – 500 с.
2. Семенов А.П. Схватывание металлов и методы его предотвращения при трении // Трение и износ. – 1980. – Т. 1. – № 2. – С. 236 – 243.
3. Любченко А.П., Мацевитый В.М., Бакин Г.Н., Береснев В.М., Олейник А.К. Исследование износа вакуумно-плазменных покрытий из TiN при трении по

металлическим материалам // Трение и износ. – 1983 (4). – № 5. – С. 892 – 897.

4. Дудник С.Ф., Сагалович А.В., Сагалович В.В., Любченко А.П., Олейник А.К. Исследование характеристик трения и износа ионно-плазменных покрытий, полученных на алюминиевом сплаве // Физическая инженерия поверхности. – 2004. – Т. 2. – № 1 – 2. – С. 110 – 114.
5. Применение износостойких покрытий на рабочей поверхности штампов. Coating improve punch and die life and productivity. “Sheet Metal Ind”. – 1985. – 62. – № 4. – 217 с.
6. Повышение долговечности штампов. Titanium coatings extend tool life. “Mach. and Prod. Eng.”. – 1985. – 143. – № 3666. – С. 28 – 29.

Рецензент: И.П. Гладкий, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 29 июня 2009 г.