

ПЕРСПЕКТИВНОЕ АНТИФРИКЦИОННОЕ ПРОТИВОИЗНОСНОЕ ПОКРЫТИЕ ПОРШНЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА БАЗЕ НАНОПОРОШКОВ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ВОЛЬФРАМА

Ю.В. Галышев, доктор технических наук, доцент;

А.Ю. Шабанов, кандидат технических наук, доцент;

О.В. Толочко, доктор технических наук, профессор;

А.Д. Бреки, кандидат технических наук, доцент;

Д.К. Ивановский.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Приведены результаты лабораторных и моторных стендовых испытаний модельных образцов и реальных деталей высокооборотного дизельного двигателя с разработанным защитным покрытием, нанесенным на их поверхности.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, механические потери, поршень, покрытие

PERSPECTIVE ANTIFRICTIONAL COVERING OF PISTONS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES ON THE BASIS OF NANO-POWDERS OF TUNGSTEN DICHALCOGENIDES

Yu.V. Galyshev; A.Yu. Shabanov; O.V. Tolochko; A.D. Breki; D.K. Ivanovsky.

Saint-Petersburg polytechnic university of Peter the Great

The results of laboratory and engine bench tests of model samples and real parts of high-speed diesel engine designed with a protective coating applied to their surfaces.

Keywords: internal combustion engine, mechanical losses, piston, coating

Проблема снижения мощности трения и интенсивности изнашивания деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) высокофорсированного двигателя является одной из наиболее актуальных в современном двигателестроении. Рост удельных нагрузок на детали дизеля с увеличением степени форсирования усложняет условия работы его узлов трения, что однозначно приводит к снижению степени надежности его работы, росту потерь трения и уменьшению ресурсных показателей двигателя. Для компенсации этих негативных факторов используются различные конструктивные и технологические мероприятия, направленные на оптимизацию условий смазывания, уменьшения уровня удельных нагрузок, а также формирования в зонах трения специальных разделяющих антифрикционных противоизносных слоев. Они могут иметь как гидродинамическую природу, получаемую путем специального подбора смазывающих материалов, так и характер постоянно действующих разделяющих слоев, сформированных путем нанесения на рабочие поверхности узлов трения специальных покрытий.

Одним из важных трибологических узлов ЦПГ двигателя внутреннего сгорания является пара трения «поршень-цилиндровая втулка». В общем балансе механических потерь в ЦПГ двигателя, являющихся основными для определения механического КПД, трение в этой паре в зависимости от режима работы составляет от 10...15 % на режимах малых и средних нагрузок до 25...35 % на пусковых режимах, режимах холостого хода и на номинальных режимах [1]. Износ этой пары трения приводит к увеличению зазоров

в ЦПГ, что увеличивает интенсивность перекладки поршней в цилиндрических втулках. Это приводит к росту динамических нагрузок на блок цилиндров, резко ухудшает условия смазывания зоны поршневых колец, повышает шумность работы двигателя. Кроме того, зона тронка поршня наиболее подвержена задирам при длительной работе двигателя на буксировочных режимах, в случае аварийных или эксплуатационных перегревов системы охлаждения, что резко снижает надежность работы двигателя в целом.

Одним из возможных решений проблемы снижения трения и износа пары трения «тронк поршня – цилиндрическая втулка» является использование различных антифрикционных покрытий, наносимых на рабочие поверхности тронковых частей поршней [2–4]. В настоящее время распространены покрытия на базе графитов, дисульфида молибдена, типа «Моликот». Все эти покрытия построены на базе использования так называемых слоистых модификаторов трения, то есть веществ, ввод которых в рабочую зону обеспечивает достижение аномально низких коэффициентов трения в рассматриваемом узле. Однако все эти варианты покрытий имеют общий существенный недостаток – низкую износостойкость, что ограничивает срок их эффективной работы в основном участке начальной приработки рабочих поверхностей пар трения. Поэтому эти покрытия в большой степени рассматриваются как приработочные, основной функцией которых является защита рабочих поверхностей деталей на начальной стадии эксплуатации двигателя. По окончании приработки формируется итоговое «пятно контакта» на рабочей поверхности тронка, в котором слой антифрикционного покрытия обычно срывается практически до подложки – основного материала тронка.

Авторами настоящей статьи было разработано антифрикционное противоизносное покрытие, отличающееся от аналогов повышенной износостойкостью, обеспечивающее значительный ресурс его работы. Основой для покрытия являются нанопорошки дихалькогенида вольфрама WSe_2 . Путем длительных многопараметрических триботехнических лабораторных испытаний на машинах трения была подобрана оптимальная концентрация нанопорошков в покрытии и выбран полимерный носитель, обеспечивающий максимальную износостойкость покрытия. В качестве носителя был взят полиимид на основе пиромеллитового диангирида и диаминодифенилового эфира.

Был проведен полный комплекс лабораторных, аналоговых и натурных моторных стендовых испытаний образцов деталей с применением разработанного покрытия.

На рис. 1 представлены микрофотографии участков рабочих поверхностей испытательных образцов четырехшариковой машины трения после проведения испытаний покрытий на базе серпентинита (левая фотография) и разработанного покрытия на базе дихалькогенида вольфрама (центральная и правая фотографии – при разных нагрузках).

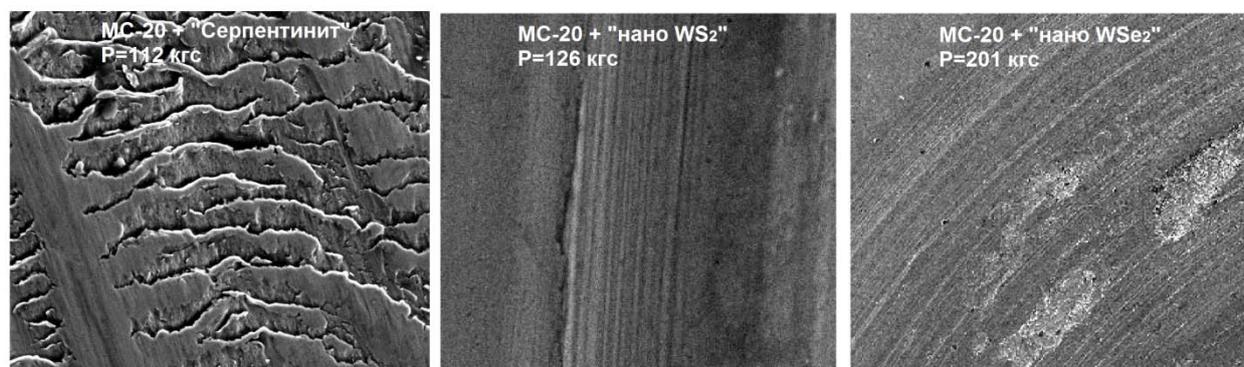


Рис. 1. Фотографии изношенных участков поверхностей верхних шариков, сделанных после испытаний при нагрузках, предшествующих процессу сваривания пирамиды из четырех шариков

Анализ результатов показывает, что при применении достаточно эффективного покрытия на базе мелкофракционных порошков серпентинитов задирные явления в паре трения наблюдаются уже при нагрузке в 112 кгс. Использование разработанного перспективного покрытия на базе WSe_2 существенно повышает износостойкость. Микрофотографии показывают возникновение схватывания в паре трения только при нагрузке порядка 200 кгс.

Аналоговые испытания новых покрытий были проведены с использованием специально разработанного аналогового устройства – поршневого трибометра. Он создан на базе полноразмерного двигателя ЗМЗ-402, приводимого от электродвигателя. Для обеспечения идентичности условий маслообеспечения и температурного состояния испытуемых пар трения он был оснащен автономными приводами системы охлаждения, а также специальными нагревателями охлаждающей жидкости и масла. При испытаниях контролировались момент трения в трибометре, температура масла, а также частота вращения коленчатого вала трибометра.

Испытания вариантов трибометра с серийными поршнями двигателя ЗМЗ-402 и с поршнями с нанесенным на их тронковые зоны антифрикционным покрытием показали снижение момента трения на 3...8 % в зависимости от режима работы трибометра, при этом температура масла в поддоне трибометра снизилась на 5...7 °С (рис. 2).

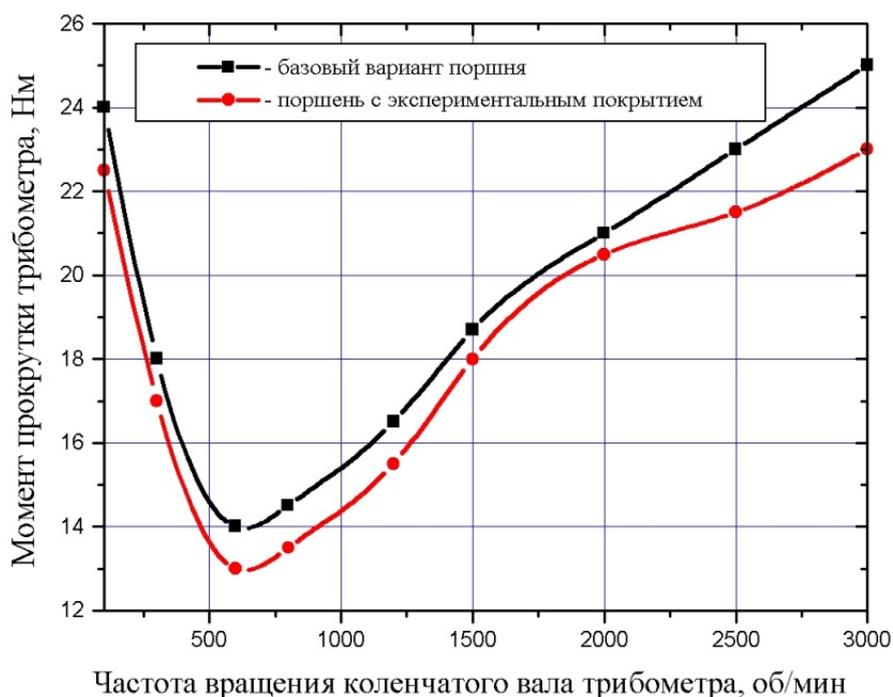


Рис. 2. Изменение момента прокрутки поршневого трибометра с базовым вариантом поршней и вариантом поршней с нанесенным антифрикционным покрытием

Основной цикл испытаний разработанного антифрикционного покрытия на базе нанопорошков дихалькогенида вольфрама был проведен на моторном стенде с дизельным двигателем КАМАЗ-740. Испытания носили длительный характер, протяженностью 150 моточасов, на различных режимах работы. Целью испытаний являлась оценка эффективности применения разработанного покрытия в плане снижения мощности трения двигателя (по изменению величины удельного расхода топлива), скорости износа, оцениваемой по изменению содержания продуктов износа в моторном масле, а также стойкости покрытия (рис. 3).



Рис. 3. Поршень с антифрикционным покрытием на базе дихалькогенидов вольфрама (по окончании длительных испытаний)

В ходе испытаний были подтверждены данные лабораторных и аналоговых испытаний по определенному снижению мощности трения в ЦПГ. Оно вывилось средним снижением удельного расхода топлива на 1,2...1,5 %. Спектральный анализ образцов моторных масел, отобранных по итогу испытаний, показал снижение содержания в моторном масле основных продуктов износа, в первую очередь – по алюминию (рис. 4).

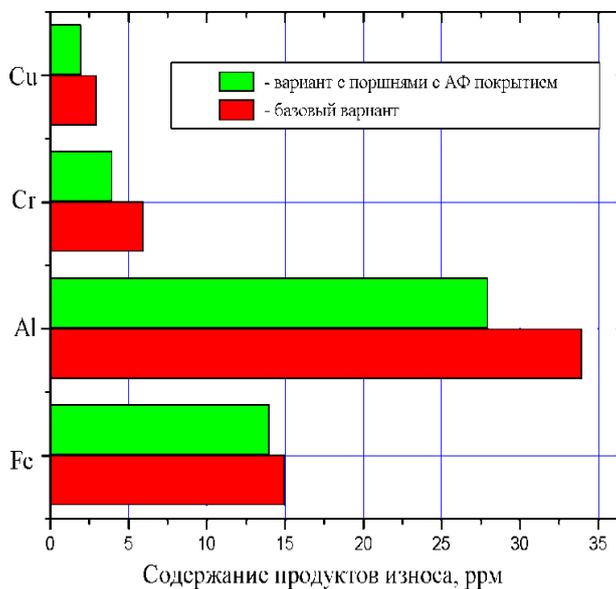


Рис. 4. Результаты измерения содержания продуктов износа в пробах масла, отобранных по итогам испытаний

Визуальный анализ состояния покрытия по окончании длительных испытаний показал невысокую степень его износа, что обеспечивает сохранение положительного эффекта в течение длительного промежутка жизненного цикла двигателя. Реальный ресурс покрытия будет установлен в ходе натурных испытаний парка реальных двигателей, планируемых в плане дальнейшего развития настоящей работы.

Литература

1. Трение и теплообмен в поршневых кольцах ДВС / Р.М. Петриченко [и др.]. Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. 245 с.
2. Никитин М.Д., Кулик А.Я., Захаров Н.И. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизеля. Л.: Машиностроение (Ленинград. отд.), 1977. 168 с.
3. Трение полимеров / В.А. Белый [и др.]. М.: Наука, 1972. 202 с.
4. Мишин И.А. Долговечность двигателей. Л.: Машиностроение (Ленинград. отд.), 1976. 288 с.