

Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня. Материалы 11-й Международной научно-практической конференции 14-17 апреля 2009 г. Санкт-Петербург. Изд. СПбГПУ, 2009, Ч. 2. - С. 308-311

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ, РАБОТАЮЩИХ В ПАРЕ С ЧУГУННОЙ ВТУЛКОЙ**

ТОПОЛЯНСКИЙ А.П., МЯКОНЬКОВ М.Б., САБУРОВ С.А.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,  
Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций,  
Санкт-Петербург, Россия

В статье приведены исследования триботехнических характеристик поршневых колец после нанесения на них покрытий хромированием, с использованием технологии финишного плазменного упрочнения и плазменным напылением с послойной ультразвуковой обработкой (УЗО). Испытания образцов проводились на машине трения СМЦ-2 при различном нагружении. Остаточные напряжения в поверхностном слое определялись на приборе «Ситон». По данным измерений построен график изменения коэффициента трения от нагрузки.

Повышение надёжности машин и механизмов является актуальной проблемой, ввиду огромных экономических затрат по обеспечению работоспособности подвижных соединений работающих в тяжёлых условиях эксплуатации, в связи с увеличением интенсивности изнашивания, с повышенными затратами на топливо и масло. Это ужесточается с отсутствием методов обоснованного выбора износостойких покрытий и смазочных материалов, эффективных методик оптимизации режимов эксплуатации оборудования, обеспечивающих наибольший ресурс деталей и высокие экономические показатели.

Поршневые кольца служат для уплотнения камеры сгорания и картера. Износ поршневого кольца создает нагар на поверхности поршня, повышает расход топлива и масла. Ресурс поршневых колец определяется износостойкостью их рабочих поверхностей.

Высота кольца по отношению к высоте цилиндра очень мала, поэтому поршневые кольца, особенно верхнее, которое смазывается меньше, нуждаются в дополнительной защите рабочей поверхности. Когда кольцо еще не потеряло подвижность, оно соскабливает со стенок втулки цилиндра коксующееся масло, которое забивает пространство между кольцом и задней стенкой поршневой канавки. Чем больше масла попадает на зеркало цилиндра, тем больше образуется нагара.

В настоящее время на кольцах наносят покрытия гальваническим методом и с использованием процесса плазменного напыления. Гальванические покрытия на кольцах создаются хромированием, при плазменном напылении наносятся покрытия на основе карбида хрома и молибдена, механической смеси ПН85Ю15 с карбидами хрома или карбидами вольфрама. Плазменные покрытия имеют недостаточную адгезионную прочность к подложке.

В настоящей работе исследуются процессы нанесения покрытий из газовой фазы при использовании электродугового плазмотрона с плазмохимическим генератором (метод финишного плазменного упрочнения - ФПУ), а также плазменное напыление с последующей УЗО. При помощи плазмы отдельные жидкие капли металла распыляются на рабочую

поверхность поршневых колец. При их застывании образуется износостойкая, прочная, но в то же время пористая поверхность. Пористый слой впитывает моторное масло и сохраняет его в резерве: при экстремальных нагрузках и критических моментах, когда смазки недостаточно, используется «резервное» масло для смазки поверхности кольца. Это гарантирует надёжность работы двигателя в экстремальных условиях.

Исследовались образцы из хромистого чугуна, используемого для изготовления поршневых колец. Первое кольцо было покрыто гальваническим хромом, второе - с использованием процесса ФПУ путем осаждения из газовой фазы покрытия на основе оксикарбонитрида кремния (рис.1). Толщина такого покрытия составляла 200 нм.

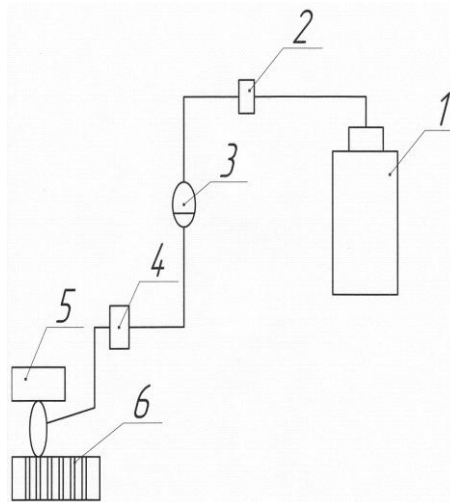


Рис. 1. Схема нанесения покрытия на основе карбида, нитрида и оксида кремния с использованием ФПУ, где 1 - баллон с аргоном; 2 - редуктор, 3 - жидкостный питатель; 4 - ротаметр; 5 - плазмотрон с плазмохимическим генератором; 6 - поршневое кольцо



Рис. 2. Ролик с образцом, вырезанным из поршневого кольца

Третье кольцо имело покрытие ПН85Ю15 с 10% карбида хрома толщиной 0,2 мм, нанесенное плазменным напылением с УЗО.

Из колец вырезаны образцы, которые вставлялись в ролик для испытания на машине трения СМЦ - 2 (рис. 2). Произведены испытания с изменением нагрузки через 15 мин. После нагружения до 200 кг, производилось испытание на трение и износ в течение 9 часов. В процессе испытания

определялась нагрузка схватывания по графику изменения коэффициента трения. Сравнительные испытания приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1

Данные триботехнических испытаний

Материал кольца и покрытия	Ктр	N, кг	T, ч	Pсх, кг	Изн, мм	сп, МПа	Nц×10 <sup>4</sup>	σа	Nтц×10 <sup>6</sup>
Хромистый чугун	0,08	20	0,25	100	0,02	+10	3	-	2
	0,08	50	0,25						
	0,08	100	0,25						
	0,095	150	0,25						
	0,01	200	0,25						
	0,12	200	9						
Хромистый чугун + ФПУ	0,065	20	0,25	150	0,01	-50	5	20	4
	0,07	50	0,25						
	0,07	100	0,25						
	0,08	150	0,25						
	0,08	200	0,25						
	0,08	200	9						
Хромистый чугун, ПН85Ю15+УЗО	0,08	20	0,25	200	0,01	-100	6	6	15
	0,08	50	0,25						
	0,07	100	0,25						
	0,07	150	0,25						
	0,075	200	0,25						
	0,065	200	9						

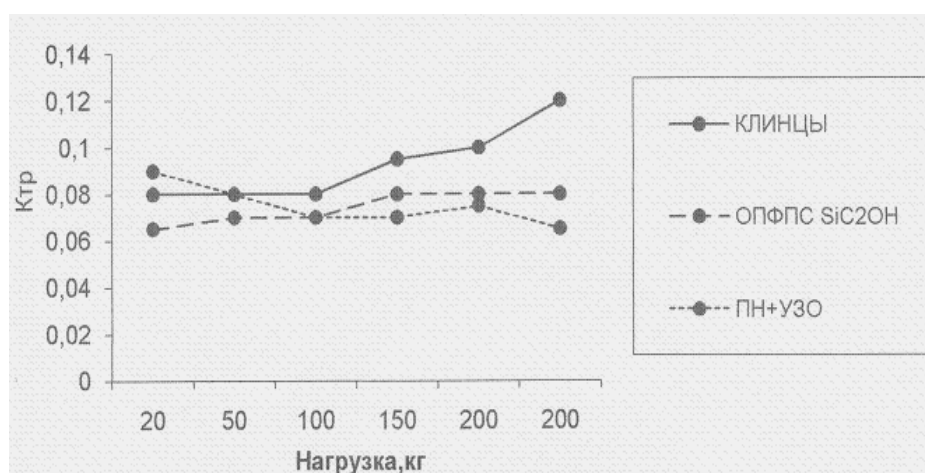


Рис. 3. График сравнительных данных испытаний поршневых колец

Анализ результатов показывает, что коэффициент трения покрытия нанесённого плазменным напылением с послойной УЗО ниже, чем при нанесении покрытия осаждённого из газовой фазы методом ФПУ и хромированием. При длительном испытании в течение 9 часов коэффициент трения хромированных колец повышается, при осаждении из газовой фазы - остаётся постоянным, а при плазменном напылении с УЗО - уменьшается.

Исследование с использованием прибора «Ситон» показало, что остаточные напряжения на поверхности при хромировании растягивающие, а при осаждении из газовой фазы и при плазменном напылении с УЗО - сжимающие. Данные исследования приведены в табл. 1, там же приведены данные адгезионной прочности и термоциклической прочности, проведенные на установке, показанной на рис. 4

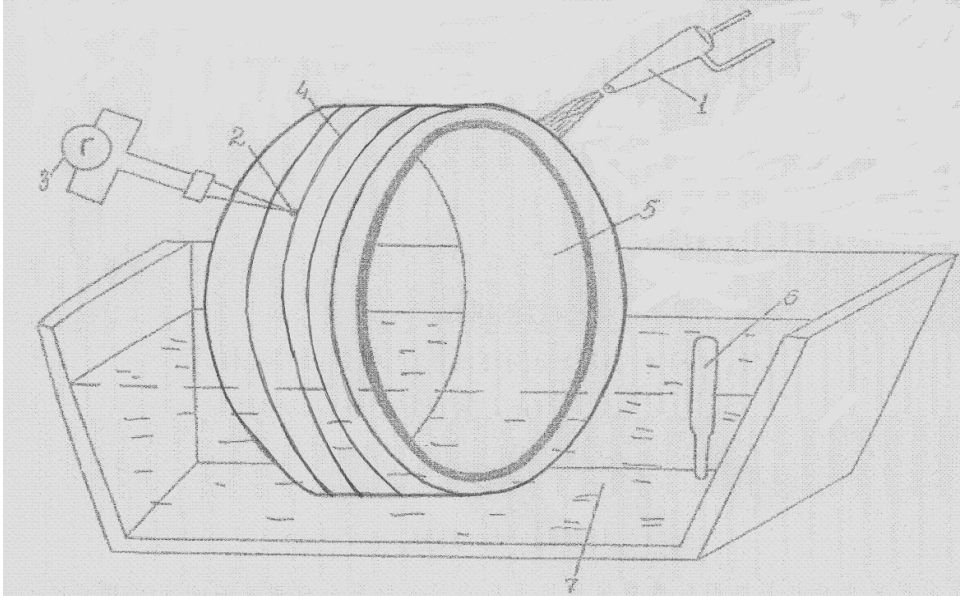


Рис. 4. Схема определения износа при термоциклировании: 1 - газопламенная горелка; 2 - точка замера температуры; 3 - термометр; 4 - наружная поверхность кольца; 5 - внутренняя поверхность кольца; 6 - ротаметр; 7 - ванна

### Выводы

Исследования триботехнических характеристик образцов из материала поршневых колец показывает их повышенную износостойкость с покрытием на основе оксикарбонитрида кремния, при его осаждении из газовой фазы методом ФПУ и с покрытием ПН85Ю15 с 10% карбида хрома, нанесенным плазменным напылением с послойной УЗО, по сравнению с покрытием электролитического хрома.