

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЯ SiOCN, НАНЕСЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АТМОСФЕРНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ ДУГОВОГО РАЗРЯДА И ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ PVD-МЕТОДОМ

ТОПОЛЯНСКИЙ А.П., ЕРМАКОВ С.А., ТОПОЛЯНСКИЙ П.А.

Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого, НПФ «Плазмацентр», Санкт-Петербург, Россия

Приведены результаты трибологических испытаний покрытия SiOCN, нанесенного при финишном плазменном упрочнении и износостойких и антифрикционных покрытий TiAlN и MoCrN, нанесенных методом PVD.

Ключевые слова: финишное плазменное упрочнение, PVD, износостойкое нанопокрытие, трибологические испытания.

Results of the tribological tests of the SiOCN coating layered by finishing plasma hardening and of the wear-resistant and anti-friction TiAlN and MoCrN coatings layered by the PVD method.

Key words: PECVD by cold atmospheric plasma, finish plasma strengthening, PVD, wear-resistant nanocoating, tribological tests.

При создании различных технических средств, имеющих трибосопряжения, с целью повышения их долговечности и надежности необходимо выбирать оптимальные материалы пар трения и оценивать их износостойкость. Эти исследования связаны с научными направлениями, получившими название инженерия поверхности и трибология материалов.

Первая в России лаборатория трения и износа была организована в Санкт-Петербургском политехническом университете в 1903 году выдающимся ученым в области механики и сопротивления материалов профессором В.Л. Кирпичевым (1845-1913) при активном участии основоположника гидродинамической теории трения Н.П. Петрова (1836-1920). Именно В.Л. Кирпичеву принадлежат знаменитые слова, связанные с инженерной деятельностью: «Инженеру, если он хочет двигаться вперед, необходима фантазия, побуждающая к изобретениям, созданию нового и прогрессивного».

После смерти В.Л. Кирпичева эту лабораторию почти 40 лет (с 1913 по 1951 г.) возглавлял его ученик - доктор технических наук профессор А.К. Зайцев (1873-1951), фундаментальные исследования которого в области трения и износа машин и механизмов обобщены в написанной им первой в послереволюционной России 4-х томной монографии [1-4].

А.К. Зайцевым впервые в России были разработаны: детальная классификация видов износа, систематизация испытательных машин для исследования трения и моторных масел, низкотемпературная смазка для кремлевских часов Спасской башни. Под его руководством было сконструировано и изготовлено порядка 70 установок для испытаний на трение и износ [5], в том числе машины для трибологических исследований деталей железнодорожного транспорта и рельсов, ответственных деталей авиадвигателей. Он обосновал минимизацию коэффициента трения при использовании антифрикционных баббитов, структура которых отвечает правилу Шарпи, доказал поглощение пористыми подшипниковыми сплавами масла, снабжающего поверхности трения в момент местного перегрева и при запуске трибосопряжений [6, 7], вывел парадигму при изучении трения и износа, связанную с проведением пяти этапов трибологических испытаний:


- испытуемого материала при использовании более износостойкого эталонного (сертифицированного), имеющего известные физико-механические и геометрические характеристики контртела;
- с целью выбора рациональных кинематических пар эксплуатации трибосопряжений;
- трибосопряжений на установках, как можно ближе воспроизводящих условия их работы для оценки длительности эксплуатации и оптимальности выбранных материалов и качества их изготовления;
- изделий (машин, установок) с входящими трибосопряженными деталями и оценки их выходных параметров и надежности;
- серии изделий (машин, установок) для определения статистической закономерности выходных характеристик и, соответственно, оптимальности выбранных трибосопряжений.

Основополагающие знания о трении и износе, разработанные А.К. Зайцевым, актуальны на современном этапе развития применительно к развиваемому в Санкт-Петербургском политехническом университете научному направлению - трибология покрытий.

В данной работе проводилось сравнение трибологических характеристик покрытия системы SiOCN толщиной до 2 мкм, наносимого с использованием технологии финишного плазменного упрочнения и покрытий TiAlN и MoCrN толщиной до 4 мкм наносимых методом физического осаждения из паровой фазы (PVD-процесс) с помощью вакуумного ионно-плазменного напыления на модернизированной установке ННВ-6,6 И1 с сепарацией плазменного потока. В качестве материала подложки использовалась традиционно термообработанная быстрорежущая сталь Р18. Технологии нанесения покрытий соответствовали режимам, на которых проводится нанесение покрытий на промышленный металлорежущий инструмент.

Результаты измерений трибологических свойств в условиях трибоиспытаний без смазки рассматриваемых материалов покрытий приведены в табл. 1.

Таблица 1. Трибологические характеристики покрытий в условиях трибоиспытаний без смазки

Покрытие	Вид образца с дорожкой износа	Износ 10^{-6} , мм ³ /Н/м		Коэффициент трения			
		шар	диск	Начальный	Максимальный	Средний	Конечный
TiAlN		0,51	3,73	0,21	0,73	0,53	0,60
MoCrN		0,37	-	0,1	0,52	0,44	0,49
SiOCN		1,03	-	0,39	0,63	0,59	0,66

Оптимальным по коэффициенту трения и параметрам износа по трибологическим характеристикам в условиях трения без смазки является покрытие MoCrN. Для сравнительного анализа на рис. 1-3 представлены

кривые изменения коэффициента трения, износа образцов и контртела для исследуемых покрытий в условиях трения без смазки.

Отличительной характеристикой покрытия SiOCN при трибоиспытаниях без смазки является образование продуктов износа, которые сами не выносятся из зоны износа, а остаются на дне канавки, тем самым обеспечивая залечивание зон износа.

Результаты измерения трибологических свойств в условиях трибоиспытаний с капельной смазкой (режим граничного трения) рассматриваемых покрытий приведены в табл. 2.

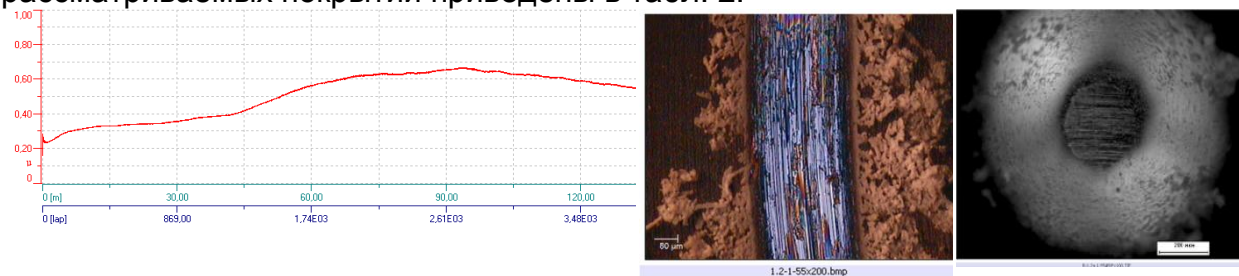


Рис. 1. Вид кривой изменения коэффициента трения, износа образца и контртела для покрытия TiAlN

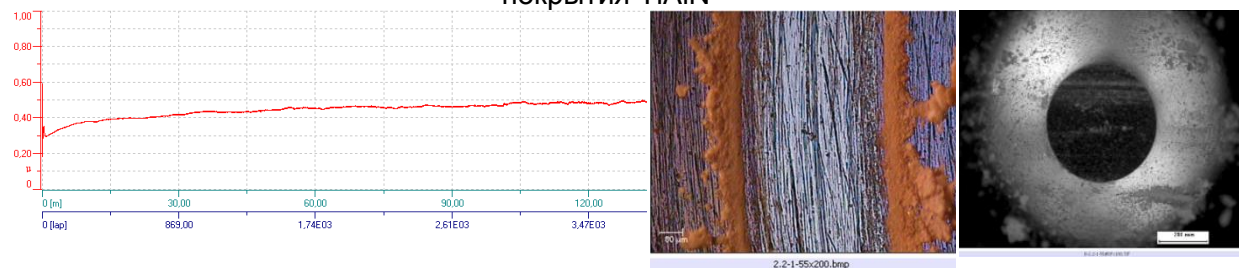


Рис. 2. Вид кривой изменения коэффициента трения, износа образца и контртела для покрытия MoCrN

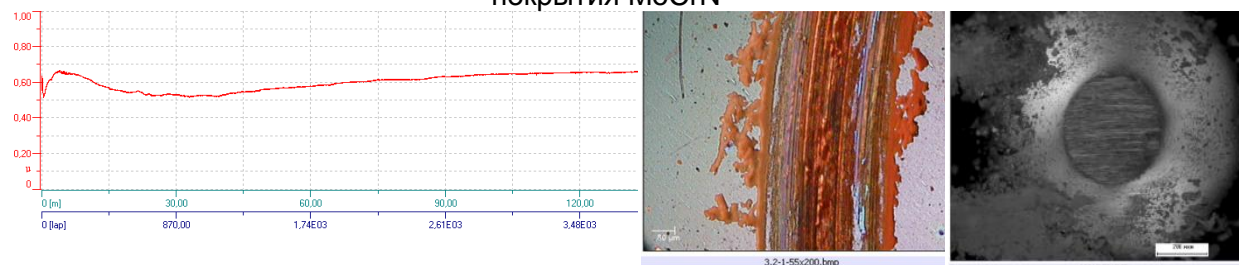


Рис. 3. Вид кривой изменения коэффициента трения, износа образца и контртела для покрытия SiOCN

Таблица 2. Трибологические характеристики покрытий в условиях трибоиспытаний со смазкой

№	Вид покрытия	Коэффициент трения				Износ, мкм	
		Начальный	Минимальный	Максимальный	Средний	Глубина	Ширина
1	TiAlN	0,24	0,23	0,25	0,25	5,2	90,9
2	MoCrN	0,22	0,20	0,22	0,21	1,8	151,9
3	SiOCN	0,19	0,18	0,19	0,19	1,8	123,7

Оптимальным по трибологическим характеристикам в условиях трения со смазкой является покрытие SiOCN, имеющее самый низкий коэффициент трения.

Ниже на диаграммах представлены сравнительные характеристики покрытий и исходного материала подложки (сталь P18) при трибоиспытаниях со смазкой (рис. 4-6).

На рис. 7, в качестве примера, представлен протокол трибоиспытаний со смазкой и след износа покрытия SiOCN, материал основы - сталь P18.

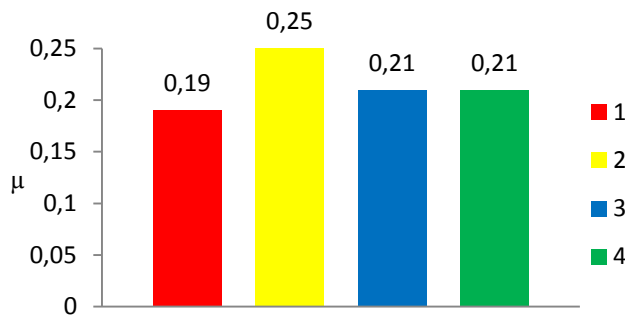


Рис. 4. Диаграмма значений коэффициента трения в условиях трибоиспытаний со смазкой для покрытий: 1) SiOCN; 2) TiAlN; 3) MoCrN; 4) материал основы - сталь P18

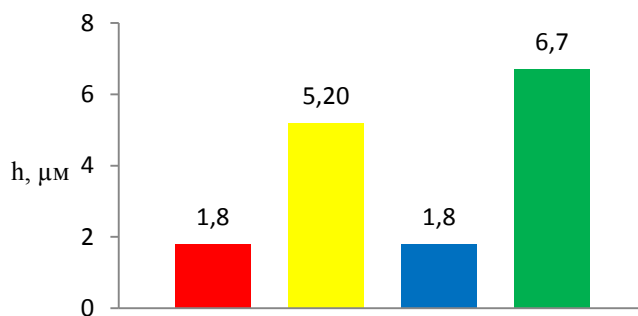


Рис. 5. Диаграмма значений глубины износа в условиях трибоиспытаний со смазкой для покрытий: 1) SiOCN; 2) TiAlN; 3) MoCrN; 4) материал основы - сталь P18

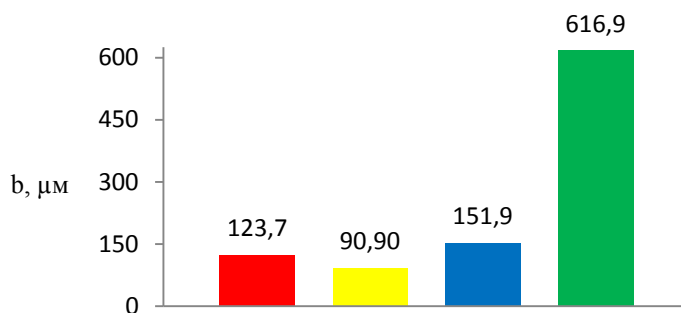


Рис. 6. Диаграмма значений ширины дорожки износа в условиях трибоиспытаний со смазкой для покрытий: 1) SiOCN; 2) TiAlN; 3) MoCrN; 4) материал основы - сталь P18

Как видно из рис. 7 коэффициент трения на исследуемой длине пути снижается со временем. Это является обоснованием, что продукты изнашивания покрытия SiOCN играют роль твёрдой смазки.

Выводы

1. Покрытие SiOCN, наносимое методом финишного плазменного упрочнения имеет преимущество по минимальному коэффициенту трения в условиях трибоиспытаний при граничной смазке по сравнению с покрытиями TiAlN и MoCrN.
2. Коэффициент трения покрытия SiOCN при трибоиспытаниях на заданной длине пути имеет падающую характеристику, т.е. снижается со временем.
3. Покрытие SiOCN может быть отнесено к твердосмазочным.

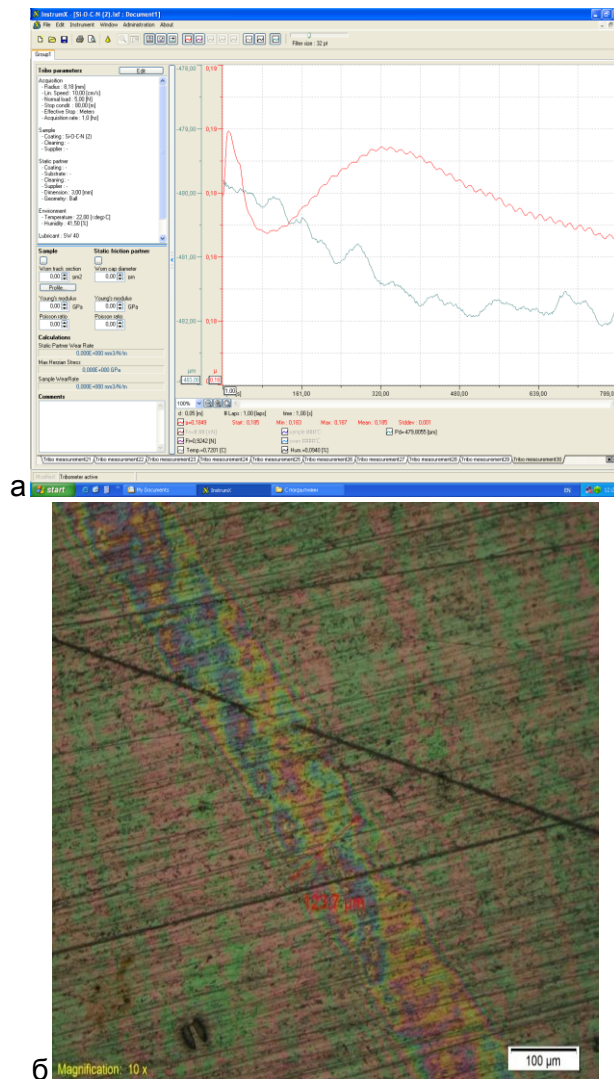


Рис. 7. Протокол испытания (а) и вид дорожки износа (б) покрытия SiOCN при трибоиспытаниях со смазкой

Литература

1. Зайцев А.К. Основы учения о трении, износе и смазке машин. Часть 1. Трение в машинах. Теория, расчет и конструкция подшипников и подпятников скольжения. Машгиз. М.-Л. - 1947. - 256 с.
2. Зайцев А.К. Основы учения о трении, износе и смазке машин. Часть 2. Износ материалов. Классификация видов износа, методов и машин для лабораторного испытания материалов на износ машины и производственные на них исследования. Машгиз. М.-Л. - 1947. - 220 с.
3. Зайцев А.К. Основы учения о трении, износе и смазке машин. Часть 3. Износ машин. Износ машин и деталей и способы борьбы с их износом. Машгиз. М.-Л. - 1947. - 164 с.
4. Зайцев А.К. Основы учения о трении, износе и смазке машин. Часть 4. Смазка машин. Машгиз. М.-Л. - 1948. - 279 с.
5. Зайцев А.К. Методика лабораторного испытания материалов на износ (методы и машины). Трение и износ в машинах. Труды Всесоюзной конференции по трению и износу в машинах. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР. - 1939. - С. 310-327
6. Зайцев А.К. Антифрикционные сплавы, их основные типы, применение, свойства и испытания. «Журнал русского металлургического общества». - 1925. - №3. - с. 304-358
7. Зайцев А.К. Типовые баббиты (стандартные и новые). Сравнительные лабораторные исследования. М.-Л., Цветметиздат, 1932, 134 с.