

СЕРТИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ ПО ПАРАМЕТРАМ МИКРОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

*А.Т.Канаев, П.А.Тополянский²,
С.А.Ермаков², А.П.Тополянский²*

*²Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация

Где разработана методика испытаний тонкопленочных покрытий на микроабразивное изнашивание. Приведены результаты испытаний на микроабразивное изнашивание покрытия Multi Pateks (H-SiOCN), нанесенного методом финишного плазменного упрочнения, и PVD покрытия TiN на быстрорежущую сталь Р6М5.

Разработанное оборудование и методика проведения испытаний на микроабразивное изнашивание позволяет оценивать и сертифицировать параметры износостойкости поверхностных слоев материалов различных изделий, работающих в условиях трения и износа.

Ключевые слова: упрочнение, нанопокрытие, изнашивание, сертификация, материалы, испытание, стойкость, метод, сталь, твердость.

Введение

Выход из строя подавляющего большинства деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки связан с износом и разрушением их поверхностных слоев, проявляющимся в постепенном изменении размеров и формы их рабочих поверхностей. Традиционно борьба с износом основывается на конструировании деталей из объемно-легированных материалов с последующей термической обработкой, на использовании методов химико-термической обработки или нанесения электрохимических покрытий. Такой подход

осложняется дефицитностью и сокращением номенклатуры материалов выпускаемых металлоизделий, их чрезмерно высокой стоимостью, большими энергозатратами на термическую или химико-термическую обработку, экологическими проблемами, связанными с гальваническим производством. В настоящее время постоянно выдвигаются новые требования к надежности, долговечности, конкурентоспособности изделий, к специфическим условиям эксплуатации машин и механизмов, которые принципиально не могут быть решены при использовании

какого-либо одного сложнолегированного сплава.

В большинстве случаев конструирование деталей включает: выбор материала, определение геометрических параметров (в виде размеров, допустимых отклонений на размеры, параметров шероховатости), учет наличия технологических операций обработки на конкретном предприятии (механическая, термическая, абразивная, в отдельных случаях – химико-термическая обработка, наплавка или напыление износостойкими и антифрикционными материалами с последующей абразивной обработкой). На основании чертежа контролируемые параметрами деталей являются их геометрические размеры, шероховатость поверхности и твердость. Следует отметить, что данные характеристики не связаны с долговечностью и надежностью материалов деталей. На основании современных представлений наиболее важными характеристиками свойств поверхностного слоя материалов, которые могут быть сертифицированы, являются физико-механические свойства (нанотвердость, модуль упругости, упругое восстановление), трибологические характеристики (коэффициент трения, длительность приработки, тепловыделение при трении) и параметры износостойкости.

Методика исследований

Одним из новых направлений на пути создания

конкурентоспособных и долговечных деталей является применение технологий, связанных с обработкой поверхности плазменными струями с одновременным нанесением упрочняющих покрытий при атмосферном давлении (рисунок 1). Данные технологии обеспечивают создание деталей с повышенной износостойкостью, в том числе в условиях микроабразивного изнашивания. В условиях экономического кризиса эффективность использования таких технологий повышения стойкости, надежности и качества изнашиваемых деталей многократно возрастает.

Микроабразивное изнашивание – это процесс разрушения деталей, работающих в условиях трения скольжения или качения, при наличии в контакте трущихся поверхностей незакрепленных абразивных частиц с размером менее 100 мкм и твердостью, большей твердости материалов трибосопряжений. Данный вид изнашивания испытывают, например, открытые подшипники скольжения, направляющие станков, шестерни открытых передач и редукторов, шарнирные соединения цепей различных машин и т.п. Кроме этого, в связи с образованием продуктов износа, участвующих в процессах трения, возможности коксования масла, попадания абразивных частиц в смазку при нарушении герметичности смазочной системы, практически все поверхностные слои трибосопряжений также находятся

под воздействием микроабразивного изнашивания. Изучение этого вида изнашивания является актуальным для деталей и инструмента с износостойкими тонкопленочными покрытиями, осаждаемыми с использованием PVD и CVD процессов, при выборе оптимального технологического режима нанесения одного и того же материала покрытия и при исследовании влияния химического состава, вида и физико-

[1].

механических свойств различных покрытий. Для испытаний на микроабразивное изнашивание таких покрытий разработан международный стандарт EN 1071-6:2007. За рубежом данный вид испытаний является наиболее часто используемым для оценки трибологических свойств покрытий, наряду с процессами индентирования и испытаниями на трение



Рисунок 1 – Процесс обработки плунжера топливного насоса плазменной струей с нанесением тонкопленочного покрытия

Определение параметров износа в условиях микроабразивного изнашивания основано на микроскопическом измерении отпечатка, полученного при точечном контакте двух сопряженных тел – свободно вращающегося стального шара и неподвижного плоского образца с покрытием (или без покрытия) при наличии в зоне трения абразивосодержащей суспензии. Необходимым условием измерений является четкое изображение отпечатка износа и контраста покрытия и подложки,

определяемые шероховатостью образца с покрытием. Испытания осуществляются в условиях наклонного расположения образца и прижатия к нему шара за счет собственной массы. Наличие определенного количества абразивосодержащей суспензии в зоне трения шара с образцом обеспечивает быстрое получение отпечатка с износом покрытия и подложки. Нагрузка в зоне контактного трения является постоянной величиной при использовании одинаковых шаров (размеров, параметров

шероховатости и материала) и их позиционирования относительно испытуемого образца. Условия износа образцов являются одинаковыми при постоянстве шаров, скорости вращения приводного вала, времени испытаний, использования одной и той же абразивосодержащей суспензии и постоянного количества или скорости её ввода.

Принцип микроабразивного изнашивания состоит в воздействии когезионно-прочных абразивных частиц микронного размера, содержащихся в абразивосодержащей суспензии, которые находятся в зазоре между двумя поверхностями в процессе трения. При этом они производят резание контактирующих поверхностей, действуя как (рисунки 2-4).

абразивный инструмент. В условиях вращения шара с большим диаметром относительно неподвижного образца с покрытием абразивные частицы удаляют с испытываемого образца выступы шероховатости и само покрытие на точечной поверхности, полируя и выглаживая ее, с образованием сферического сегмента износа.

Оборудование для определения параметров износа с использованием испытаний на микроабразивное изнашивание состоит из триботестера Tribotester PC102 (изготовитель ООО «Плазмацентр»), с комплектом шаров, микроскопа, компьютера, эталонной меры малой длины, соединительных проводов и программного обеспечения

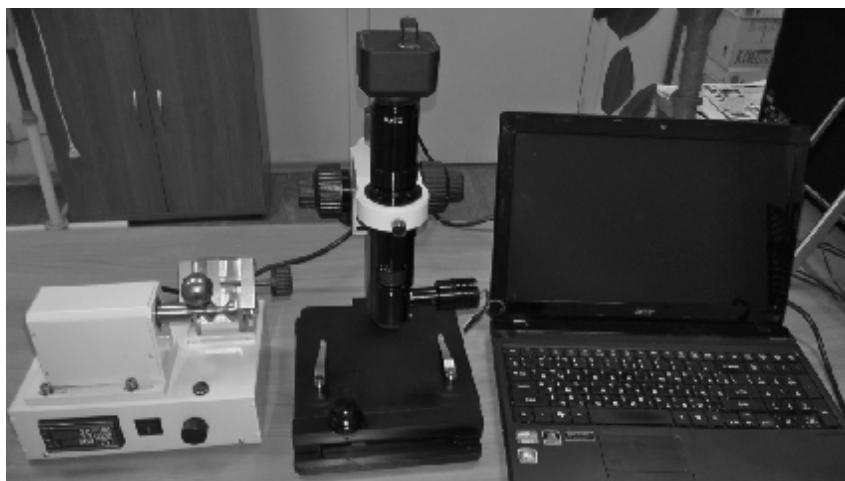


Рисунок 2 - Общий вид оборудования для испытаний на микроабразивное изнашивание

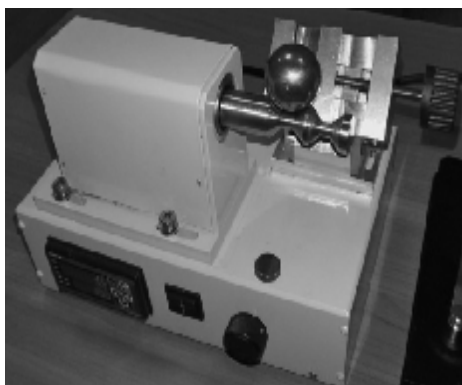


Рисунок 3 - Вид триботестера после установки шара



Рисунок 4 - Схема расположения образца относительно шара и приводного вала

Триботестер предназначен для осуществления позиционирования шара и его вращения с заданной скоростью относительно установленного образца с покрытием (или без него) в течение заданного времени испытаний, а также для возможности переустановки образца с целью его замены или получения нового отпечатка на заданной поверхности. Основными элементами триботестера являются: основание с панелью управления, устройство крепления приводного вала, регулируемый предметный стол с тисками, электродвигатель постоянного тока, частотный преобразователь, счетчик-таймер, элементы управления. Испытываемый образец устанавливается неподвижно перпендикулярно плоскости вращения шара на опорные поверхности губок тисков. На панели управления триботестера

устанавливаются два параметра - скорость вращения приводного вала и длительность испытаний.

Для визуализации зоны истирания используется моновидео микроскоп с трансфокатором высокого разрешения, с держателем грубой и точной фокусировки, основанием, предметным столом с микроподвижками. С целью передачи изображения объекта исследования на компьютер применяется цифровая окулярная USB видеокамера. По USB-кабелю изображение передается с микроскопа на компьютер, где его можно рассматривать, проводить измерения, а также сохранять в виде графических файлов. На компьютере устанавливается программа визуализации микроскопического изображения и определения геометрических размеров отпечатков.

Результаты исследований и их обсуждение

Основными (переменными, заменяемыми) компонентами испытаний являются шары и

абразивосодержащая суспензия. Шары, в основном, используются из производства подшипников качения. Материал шаров - термообработанная сталь ШХ15, твердость 60-62 HRC. Параметр шероховатости поверхности шаров $R_a=0,1$ мкм. Диаметр шара – 30 мм. В качестве абразивосодержащей суспензии используется суспензия на водной основе с монокристаллами синтетического алмаза диаметром 1 мкм (или на основе электрокорунда). Во время проведения испытаний подача суспензии в зону трения является строго дозированной и повторяемой в заданном временном интервале.

Для измерений используются плоские образцы с покрытием, нанесенным на торцевую поверхность. Размеры образцов ограничиваются размерами губок тисков триботестера - до 30 мм в ширину, до 40 мм в длину, до 10 мм в высоту. Рекомендуемый параметр шероховатости образцов с покрытием $R_a \leq 0,32$ мкм. Неплоскостность торцевых поверхностей образца не должна превышать 0,05 мкм. Рекомендуемая толщина покрытия ≤ 1 мкм.

Для образца, расположенного под углом 60-75° к горизонтальной поверхности, нормальная нагрузка стального шара диаметром $D_{\text{шар}} = 30$ мм составляет 0,25 Н:

- круговой скорости вращения вала $n_{\text{вал}}$ [об/мин];

- круговой скорости вращения шара $n_{\text{шар}}$ [об/мин], определяемой из зависимости $n_{\text{шар}} = n_{\text{вал}} \cdot d_{\text{вал}} / D_{\text{шар1}}$,

где $d_{\text{вал}}$ – диаметр вала в точках касания шара;

$D_{\text{шар1}}$ – диаметр сечения шара, в точках соприкосновения с валом;

- времени испытаний $t_{\text{исп.}}$, с (принимается на основании тестовых испытаний или знаний конкретных свойств покрытий);

- длины пути скольжения шара относительно плоскости образца

$$S = t_{\text{исп.}} \cdot n_{\text{шар}} \cdot \pi \cdot D_{\text{шар}},$$

где $t_{\text{исп.}}$ - время испытаний, мин;

Длительность испытаний определяется получением глубины кратера износа большего, чем толщина покрытия. Оценка параметров износа возможна также для толстых покрытий (глубина отпечатка меньше толщины покрытия) и для монолитного материала, например, подложки.

Основопологающим для воспроизводимости испытаний является постоянство следующих параметров:

- угла наклона поверхности образца к горизонту (порядка 60-75°), оптимального расположения шара относительно приводного вала (ось приводного вала должна быть параллельна поверхности образца);

- нормальной нагрузки свободно лежащего шара к поверхности образца N [Н], определяемой расчетным путем в зависимости от массы конкретно используемого шара, его расположения относительно приводного вала и испытываемого образца, а также коэффициентами трения между шаром с поверхностью образца и поверхностью приводного вала.

$n_{\text{шар}}$ - круговая скорость шара [об/мин];

$D_{\text{шар}}$ - диаметр шара, мм.

Основными измеряемыми параметрами на отпечатке являются: $b_{\text{пар}}$, $b_{\text{перп}}$, $a_{\text{пар}}$, $a_{\text{перп}}$ (рис. 5, 6), где 1 - направление вращения шара

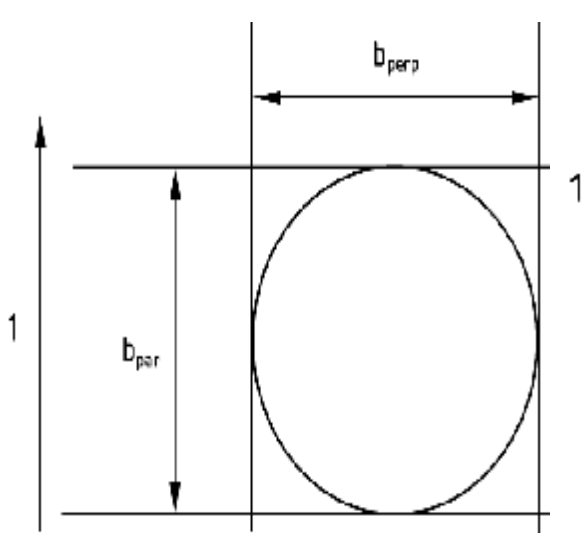


Рисунок 5 - Измеряемые параметры для монолитного материала (подложки или толстых покрытий)

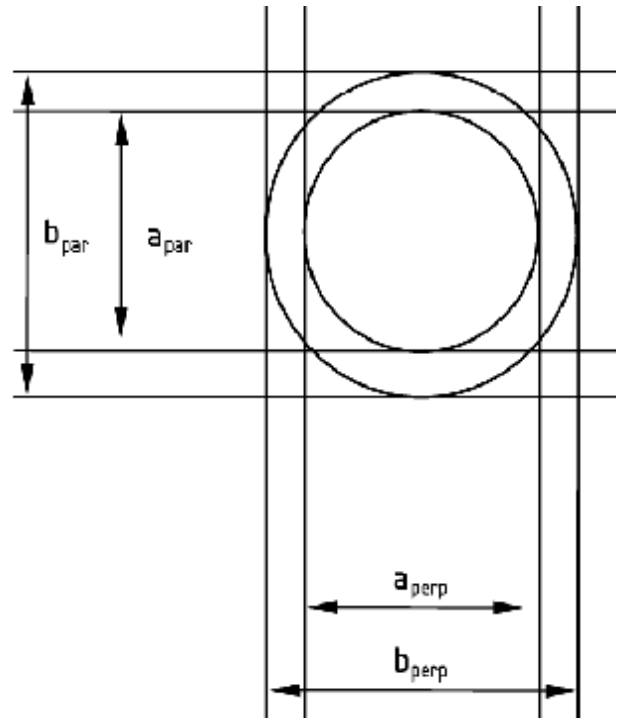


Рисунок - 6 Измеряемые параметры для тонкопленочных покрытий

Основными расчетными параметрами при испытаниях на микроабразивное изнашивание принимаются:

- для образцов основного материала (подложки) без покрытий (образцов с покрытием при глубине отпечатка меньше толщины покрытия): объемный износ подложки:

$$V_s = \pi \frac{b^4}{64R}, \text{ мм}^3, \quad (1)$$

или объемный износ покрытия при глубине отпечатка меньше толщины покрытия

$$V_c = \pi \frac{b^4}{64R}, \text{ мм}^3, \quad (2)$$

где R - радиус используемого шара;

b - среднее значение диаметров отпечатка подложки $b_{\text{ипар}}$ и $b_{\text{иперп}}$.

$$b = (b_{\text{ипарср}} + b_{\text{иперпср}})/2, \quad (3)$$

- для образцов с покрытием (глубина отпечатка больше толщины покрытия): объемный износ покрытия

$$V_c \approx \frac{\pi}{64R} (b^4 - a^4), \text{ мм}^3, \quad (4)$$

- объемный износ подложки (с учетом их совместного влияния)

$$V_E \approx \frac{\pi a^4}{64R}, \text{ мм}^3, \quad (5)$$

сумма объемного износа покрытия и подложки $V_c + V_s$, мм³,

где a - среднее значение диаметра покрытия $a_{i\text{парср}}$ и $a_{i\text{перср}}$

$$a = (a_{i\text{парср}} + a_{i\text{перср}})/2. \quad (6)$$

Результаты испытаний для подложки без покрытия приведены в таблице 1, а на рисунке 6 показан один из исследуемых отпечатков подложки. В таблице 2 и 3 приведены результаты измерений и расчетов данной подложки с нанесенными покрытиями Multi Pateks и TiN, а на рис. 7 и 8 – микрофотографии отдельных отпечатков подложки с покрытиями Multi Pateks и TiN соответственно.

Таблица 1 - Результаты измерений и расчетов испытания подложки

Измерения			Расчет				
№	$b_{i\text{пар}}, \text{ мкм}$	$b_{i\text{пер}}, \text{ мкм}$	$b, \text{ мкм}$	$V_s \cdot 10^5, \text{ мкм}^3$	$K_s \cdot 10^{-13}, \text{ м}^3\text{Н}^{-1}\text{м}^{-1}$	$I_s \cdot 10^{-5}, \text{ мм}^3/\text{м}$	$W_s \cdot 10^5, \text{ мкм}^3/\text{с}$
1	654,15	654,15	681,9	7,07	8,96	22,41	0,24
2	699,59	699,59					
3	692,01	692,01					

Таблица 2 - Результаты расчетов испытания покрытия Multi Pateks на стали Р6М5 для средних диаметров отпечатков $a=585$ мкм и $b=639$ мкм

$V_s \cdot 10^5$	$V_c \cdot 10^5$	$(V_s + V_c) \cdot 10^5$	$K_c \cdot 10^{-13}$	$I_c \cdot 10^{-5}$	$W_c \cdot 10^5$	$K_s \cdot 10^{-13}$	$I_s \cdot 10^{-5}$	$W_s \cdot 10^5$	$I_{cs} \cdot 10^{-5}$	$W_{cs} \cdot 10^5$
мкм ³	мкм ³	мкм ³	м ³ Н ⁻¹ м ⁻¹	мм ³ /м	мкм ³ /с	м ³ Н ⁻¹ м ⁻¹	мм ³ /м	мкм ³ /с	мм ³ /м	мкм ³ /с
3,8	1,6	5,5	6,9	5,2	0,05	4,9	12,2	0,13	17,3	0,18

Таким образом на рисунке 6 показан один из исследуемых отпечатков подложки, а на 7 рисунке микрофотографии отдельных отпечатков подложки с покрытиями Multi Pateks.

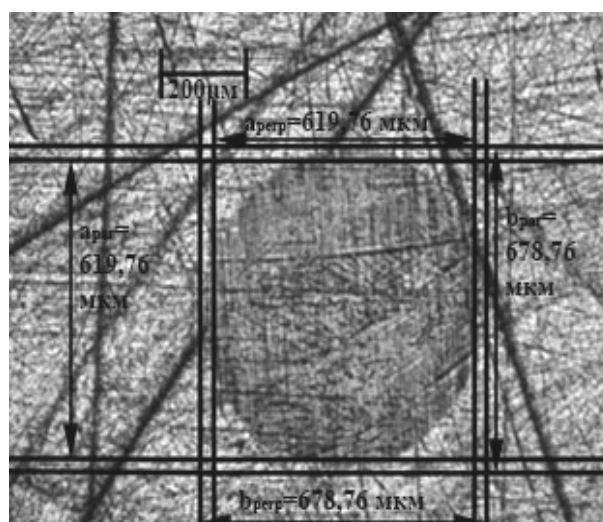
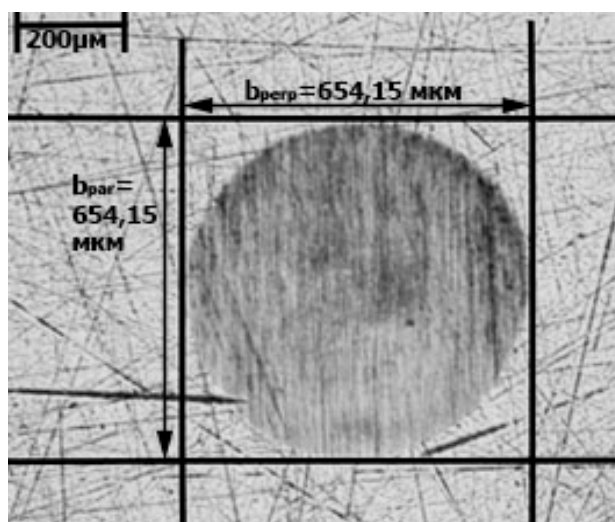


Рисунок 6 - Микрофотография отпечатка №1 после испытаний на микроабразивное изнашивание стали Р6М5

Рисунок 7 - Микрофотография одного из отпечатков покрытия Multi Pateks на стали Р6М5 после испытаний на микроабразивное изнашивание

Таблица 3 - Результаты расчетов испытания покрытия TiN на стали Р6М5 для средних диаметров отпечатков $a=585$ мкм и $b=639$ мкм

$V_s \cdot 10^5$ мкм ³	$V_c \cdot 10^5$ мкм ³	$(V_s + V_c) \cdot 10^5$ мкм ³	$K_c \cdot 10^{-13}$ м ³ Н ⁻¹ м ⁻¹	$I_c \cdot 10^{-5}$ мм ³ /м	$W_c \cdot 10^5$ мкм ³ /с	$K_s \cdot 10^{-13}$ м ³ Н ⁻¹ м ⁻¹	$I_s \cdot 10^{-5}$ мм ³ /м	$W_s \cdot 10^5$ мкм ³ /с	$I_{cs} \cdot 10^{-5}$ мм ³ /м	$W_{cs} \cdot 10^5$ мкм ³ /с
2,2	9,81	12,01	7,61	15,54	0,16	1,39	3,49	0,04	19,03	0,2

На нижеприведенном рисунке 8 представлены микрофотографии отдельных отпечатков подложки с покрытиями Multi Pateks и TiN соответственно.

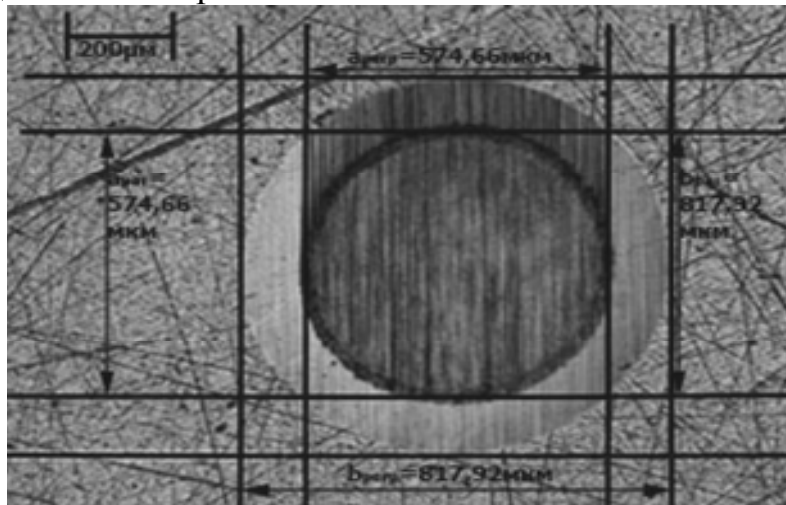


Рисунок 8 - Микрофотография одного из отпечатков покрытия TiN на стали Р6М5 после испытаний на микроабразивное изнашивание

Вспомогательными расчетными параметрами являются:

- коэффициент износа подложки - отношение объемного износа подложки к длине пути скольжения и нормальной нагрузке:

$$K_s = \pi \frac{b^4}{64RSN}, \text{ м}^3\text{Н}^{-1}\text{м}^{-1} \text{ или } \text{мм}^3/\text{Нмм},$$

где S -длина пути скольжения;

N -нормальная нагрузка к поверхности образца.

- коэффициент износа покрытия при глубине отпечатка меньше толщины покрытия - отношение объемного износа подложки к длине пути скольжения и нормальной нагрузке

$$K_c = \pi \frac{b^4}{64RSN}, \text{ м}^3\text{Н}^{-1}\text{м}^{-1} \text{ или } \text{мм}^3/\text{Нмм}, \quad (7)$$

- коэффициент износа покрытия при глубине отпечатка больше толщины покрытия

$$K_c = \frac{1}{\frac{SN}{V_c} - \frac{1}{K_s} \times \frac{V_s}{V_c}}, \text{ м}^3\text{Н}^{-1}\text{м}^{-1} \text{ или } \text{мм}^3/\text{Нмм}, \quad (7^1)$$

- скорость изнашивания подложки - отношение величины объемного износа подложки ко времени, в течение которого возник износ

$$W_s = V_s/t_{\text{исп}}, \text{ мм}^3/\text{с}, \quad (8)$$

- интенсивность изнашивания подложки - отношение величины объемного износа подложки к пути трения, на котором происходил износ

$$I_s = V_s/S, \text{ мм}^3/\text{м}, \quad (9)$$

- скорость изнашивания покрытия - отношение величины объемного износа покрытия ко времени, в течение которого возник износ

$$W_c = V_c/t_{\text{исп}}, \text{ мм}^3/\text{с}, \quad (10)$$

- интенсивность изнашивания покрытия - отношение величины объемного износа покрытия к пути трения, на котором происходил износ

$$I_c = V_c/S_0, \text{ мм}^3/\text{м}, \quad (11)$$

- скорость изнашивания покрытия и подложки - отношение величины суммарного объемного износа покрытия и подложки ко времени, в течение которого возник износ

$$W_{cs} = V_c + V_s/t_{\text{исп}}, \text{ мм}^3/\text{с}, \quad (12)$$

- интенсивность изнашивания покрытия и подложки - отношение величины суммарного объемного износа покрытия и подложки к пути трения, на котором происходил износ

$$I_{cs} = V_c + V_s/S, \text{ мм}^3/\text{м}. \quad (13)$$

Сравнительный анализ расчетных параметров производится:

- между объемным износом подложки без покрытия (например, измеренным на обратной стороне образца с покрытием) и суммарным объемным износом покрытия с подложкой;

- между объемным износом одной и той же подложки (образцов из одинакового исходного материала и технологии их изготовления) с

различными тонкопленочными покрытиями (по толщине, по составам, по видам, по физико-механическим свойствам).

Покрытие, повышающее стойкость образца-подложки против микроабразивного изнашивания, должно иметь объемный износ $V_s + V_c$ меньше, чем объемный износ образца-подложки без покрытия V_s .

Объективность сравнительной оценки покрытий по параметрам, связанным с объемным износом,

основана на постоянстве вида трения (скольжение), силовых и кинематических параметров (давления на поверхность трения, скорости скольжения), внешних условий (температуры, влажности, вибраций) и условий проведения испытаний (постоянства контртела, абразивного материала и его количества).

Используемый процесс ФПУ – это метод повышения долговечности деталей и инструмента путем нанесения тонкопленочных покрытий толщиной до 3 мкм с использованием технологии бескамерного химического осаждения при применении жидких элементоорганических соединений и активации электродуговой плазмой. Основными достоинствами ФПУ (финишное плазменное упрочнение) являются: осуществление процесса без вакуума и без применения специализированных камер; минимальный нагрев изделий, не превышающий 200°C; улучшение параметров шероховатости поверхностей с покрытием; возможность нанесения покрытия локально, в труднодоступных зонах и на изделиях любых габаритов; безопасность процесса с существенно меньшей нагрузкой на

окружающую среду; использование малогабаритного, мобильного и экономичного оборудования.

Заключение

Таким образом, анализ проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

- объемный износ, интенсивность изнашивания и скорость изнашивания и, соответственно, коэффициент износа подложки – стали Р6М5 после нанесения покрытий Multi Pateksi TiN снизился на 50% и 70%;

- коэффициент износа покрытия Multi Pateks соответствует $6,9 \text{ м}^3\text{Н}^{-1}\text{м}^{-1}$, что меньше значения этого коэффициента для вакуумного покрытия TiN, равного $7,61 \text{ м}^3\text{Н}^{-1}\text{м}^{-1}$, при этом диапазон измеренного последнего коэффициента сравним с полученными ранее при аналогичных испытаниях [3];

- разработанное оборудование и методика проведения испытаний на микроабразивное изнашивание позволяет оценивать и сертифицировать параметры износостойкости поверхностных слоев материалов различных изделий, работающих в условиях трения и износа.

Список литературы

1. Тополянский П.А., Тополянский А.П., Ермаков С.А., Дунаев А.В., Поджарая К.С. Аттестация трибологических свойств упрочняющих тонкопленочных покрытий // Трение и смазка в машинах и механизмах. - 2014. № 8, С. 20-29.
2. Горленко А.О., Тополянский П.А., Тополянский А.П. Трибологические возможности финишного плазменного упрочнения для повышения ресурса металлорежущего инструмента // Металлообработка. - 2016. № 3, - С. 33-41.

3. Rutherford K.L., Hutchings I.M. A micro-abrasive wear test, with particular application to coated systems // Surface and Coatings Technology. - 79 (1996). p 231-239.

Түйін

Әзірленген әдістеме негізінде Multi Pateks (көп компонентті, көп қабатты, H-SiOCN жүйесінің градиентті нанокабаты) қабатының микроабразивті тозуына сынау жүргізілген, бұл қабат финишті плазмалық беріктендіру технологиясы және TiN қабатының кең түрде қолданылуы арқылы вакуумдық ионды-плазмалық тозандату әдісін пайдалана отырып плазмалық ағынының HNB6.6И1 жетілдірілген жабдықтаманың көмегімен іске асты. Материал ретінде төсеніштерге тез кескіш P6M5, HRC 62-64 болат пайдаланылған. Қабаттың қалыңдығы шамамен 2-3 мкм құрады.

Жүргізілген тәжірибелік зерттеулер көлемді тозу және тозудың қарқындылығы мен жылдамдығы, сонымен қатар төсеніштердің тозу коэффициенті - P6M5 болаттың Multi Pateks және TiN қабаттарын енгізу нәтижесінде 50 % және 70 % кеміді. Бұл кезде Multi Pateks қабатының тозу коэффициенті $6,9 \text{ м}^3\text{Н}^{-1}\text{м}^{-1}$ сәйкес келеді, бұл коэффициент вакуумды TiN қабаты үшін $7,61 \text{ м}^3\text{Н}^{-1}\text{м}^{-1}$ тең болады.

Микроабразивті тозуға сынау әдістемесі әртүрлі бұйымдар материалдарының сыртқы қабатының тозу параметрлерін бағалау мен сертификаттауға мүмкіндік береді. Түйіскен материалдар қажалу мен тозу жағдайында жұмыс істеулері керек.

Summary

On the basis of the developed methods were tested in the microabrasive wear coating Multi Pateks (multi-component, multi-layer, gradient nanocoating system of H-SiOCN), applied using the technology of finishing plasma hardening and widely used TiN coating deposited by vacuum ion-plasma sputtering with separation of plasma flow at the upgraded setup HNB6.6И1. As the substrate material used was high speed steel P6M5, HRC 62-64. The thickness of the applied coating was about 2-3 microns.

Experimental studies showed that the volumetric wear, wear rate and wear rate and, consequently, the wear rate of the substrate - steel P6M5 after coating Multi Pateks and TiN declined by 50 and 70 percent. The coefficient of wear of coating Multi Pateks corresponds to $6,9 \text{ м}^3\text{Н}^{-1}\text{м}^{-1}$, which is less than the value of this coefficient for the vacuum coating of TiN equal $7,61 \text{ м}^3\text{Н}^{-1}\text{м}^{-1}$.

Methods of the test for microabrasive wear enables you to assess and certify the parameters of wear resistance of surface layers of materials of different products, working in conditions of friction and wear.