

УДК 67.03

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОФРИКЦИОННЫХ PVD ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИВОДОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Кононов Дмитрий Михайлович⁽¹⁾

Российская Федерация, г. Владимир, Владимирский государственный университет, кафедра «Технологии машиностроения»

Научный руководитель: А.В. Жданов

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»

Актуальность проблемы снижения коэффициента трения в винтовых исполнительных механизмах (ИМ) приводов летательных аппаратов (ЛА) неуклонно растёт. Особенную важность разработка новых высокоэффективных низкофрикционных покрытий имеет в приводах с высокими энергетическими характеристиками, т.к. потери в них довольно существенны. Потери на трение в ИМ приводов ЛА достигает 60%.

Снижение коэффициента трения можно добиться путём использования высокоэффективных низкофрикционных покрытий в узлах трения. Такие покрытия могут быть нанесены многими способами, такими как: резистивное испарение, электронно-лучевое испарение, лазерное испарение, вакуумно-дуговое испарение, магнетронное распыление (PVD-покрытия -Physical Vapour Deposition – физическое осаждение из паровой фазы).

В отличие от остальных методов нанесения покрытий магнетронное распыление обладает преимуществами: плотная микро- (нано-) кристаллическая структура металлических и керамических покрытий при отсутствии капельной фазы; возможность нанесения покрытий на термочувствительные материалы при низких температурах; широкий спектр покрытий различного назначения; высокая скорость осаждения; высокие антифрикционные свойства покрытий.

Вопросы трибологии, в частности исследование явления, так называемого безыносного трения с учётом экстремальных условий эксплуатации, имеют очень большую актуальность для приводов ЛА. Важной составляющей таких работ является применение ультрадисперсных материалов для формирования износостойких антифрикционных покрытий деталей ИМ. Эффект безыносного трения может быть получен в парах трения при покрытии их рентгеноаморфным TiO, модифицированными соединениями Mo, Al и P. Такое покрытие обладает гораздо большей

пластичностью по сравнению с кристаллической фазой, поэтому выполняет роль сухой смазки, обеспечивая снижения коэффициента трения до 0,06-0,16. В некоторых случаях уже сейчас, благодаря таким наноструктурным покрытиям можно отказаться от традиционных видов смазки и избежать контактного схватывания и задиров контактных узлов.

Таблица 1

Характеристики лучших зарубежных низкофрикционных PVD покрытий

Покрытие	Коэфф. трения	Коэфф. износа
WC/C:H	0.2	$3 \cdot 10^{-15}$
TiC/C:H	0.2	$4 \cdot 10^{-15}$
SiC/C:H	0.09	$4 \cdot 10^{-15}$
Cr/C	0.11	$1.26 \cdot 10^{-17}$
TiAlN/VN	0.5 – 0.2	$1.26 \cdot 10^{-17}$
AlCrVN	0.7 – 0.2	$0.8 \cdot 10^{-15}$
AlCrN	0.36 – 0.55	10^{-15}

Например, многофункциональное PVD покрытие nc-CrN/nc-AlN, состоящее из нанокристаллитов нитрида хрома, распределённых в кристаллической матрице нитрида алюминия, имеет твердость 3700 HV, температурную стойкость до 1150⁰C, коэффициент трения по стали – 0,25. Покрытие хорошо зарекомендовало себя при высокоскоростной обработке металлов без СОЖ, при обработке вязких материалов (нержавеющая сталь, титан, никелевые сплавы), а также как низкофрикционное покрытие, работоспособное при экстремальных условиях.

Как видно из рис.1 меняется значение КПД в зависимости от коэффициентов трения и диаметров валов, при увеличении диаметра вала КПД увеличивается, снижая тем самым потери в передачи ЛА.

Из рисунков рис.2 и рис.3 видно, что нанесение любого антифрикционного PVD-покрытия на ИМ приводов ЛА резко повышает его КПД. На Рис.3 показаны КПД двух ИМ работающих в одинаковых условиях, на верхней кривой показан КПД механизма на которое нанесли покрытие, данное антифрикционное покрытие обеспечивает низкий коэффициент трения (0,05), на нижней кривой КПД механизма без покрытия.

На рис.4 показаны поверхности после 4,5 миллионов циклов работы, на левом рисунке показано покрытие на котором после работы видны небольшие трещины, царапины и сколы, при нанесении более прочного покрытия с более низким коэффициентом трения видна более чистая

поверхность с менее выраженными признаками износа, это показывает то что необходимо использовать более прочные покрытия.

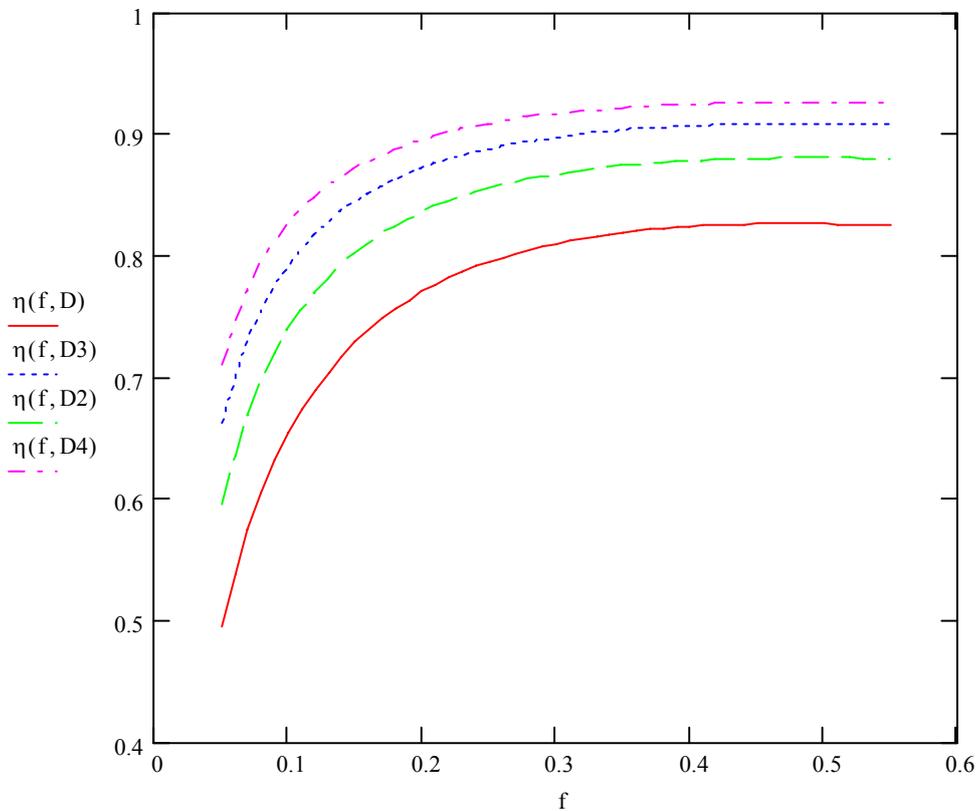


Рис.1. Зависимость КПД (η), от изменения коэффициента трения ($\mu=0,05-0,55$) при различных диаметрах ходового винта шарико-винтовой передачи ($D=10$ мм; $D1=15$ мм; $D2=20$ мм; $D3=25$ мм)

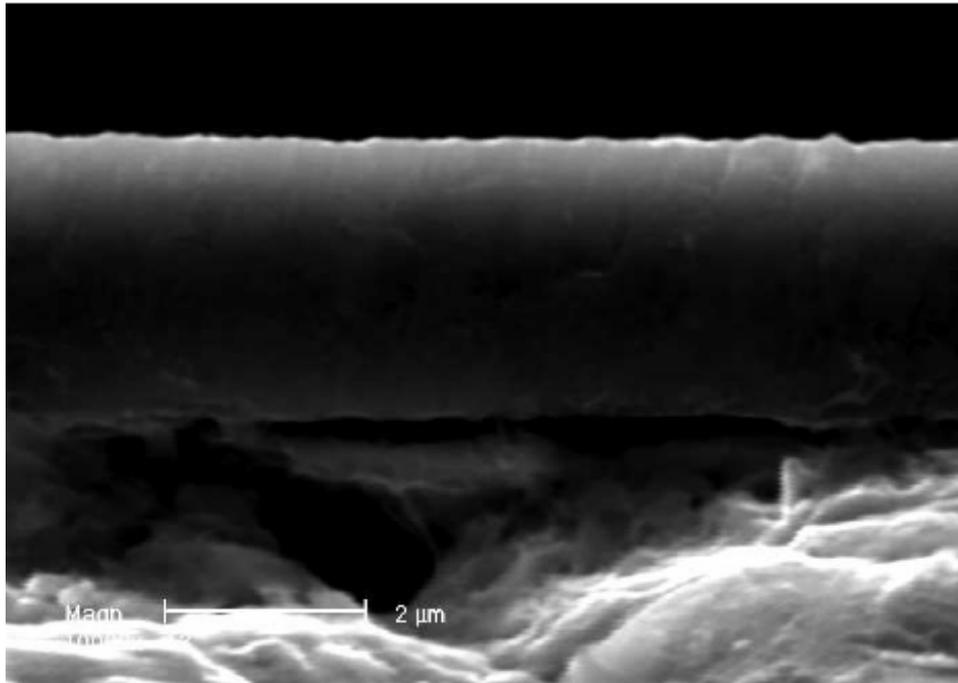


Рис.2. Поперечный разрез изделия с PVD-покрытием

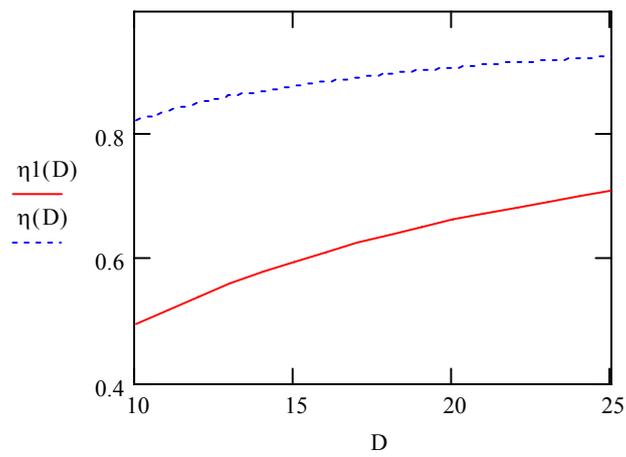


Рис.3. Зависимость КПД механизмов без покрытия ($\eta^1(D)$) и с покрытием ($\eta(D)$)

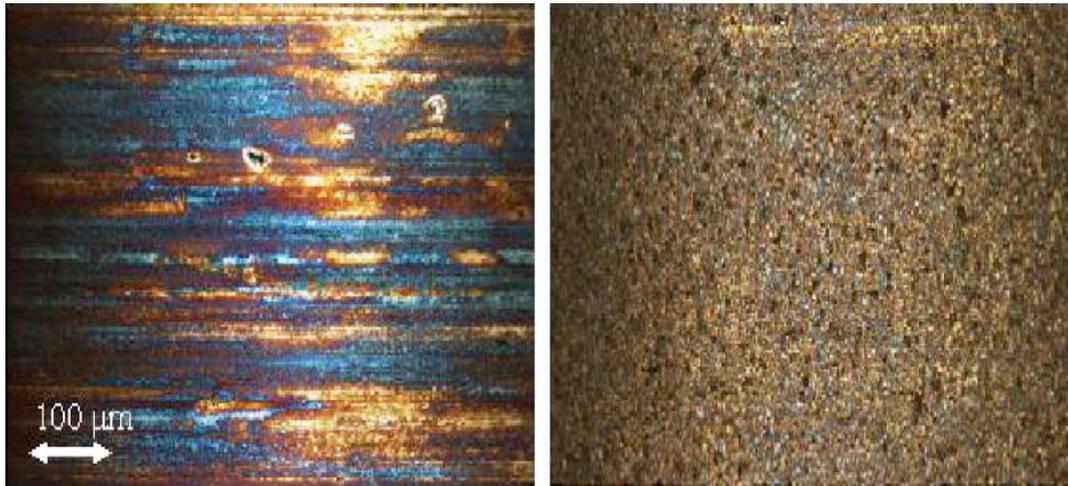


Рис.4. Влияние покрытия на морфологию поверхности.



Рис.5. Виды износа покрытий. Показывает износ поверхности после 5 минут и 5 часов работы ИМ

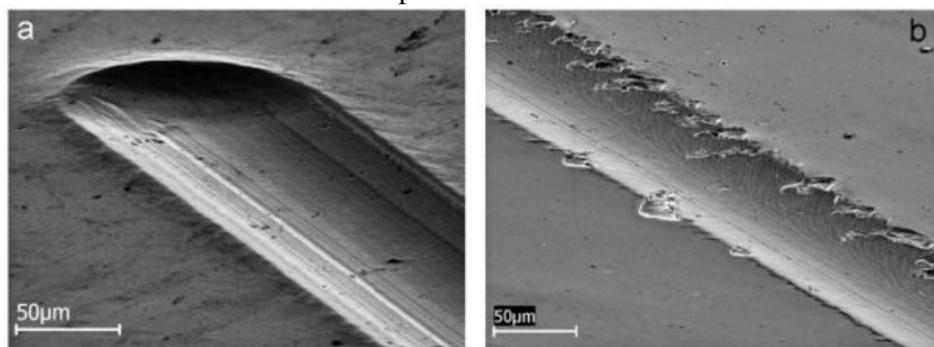


Рис.6. Износ поверхности

Как видно из рис.6 испытываемый образец без покрытия имеет более выраженную канавку, чем образец с покрытием. Это объясняется тем, что покрытие имеет более высокую прочность тем самым оно больше

сопротивляется вдавливанию и разрушению, а низкий коэффициент трения обеспечивает более лучшее скольжение испытываемых образцов.

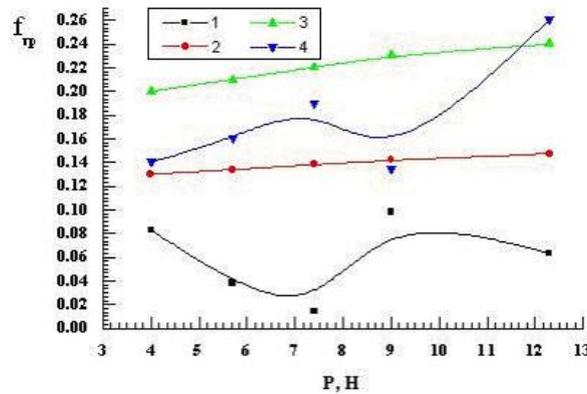


Рис. 7. Зависимость коэффициента трения f от нагрузки $P, Н$ для стали и стали с аморфным покрытием и монокристаллическим углеродным покрытием с различным содержанием азота при трении без смазки: 1 - аморфный углерод, 2 – монокристаллический углерод + 5%N, 3 – монокристаллический углерод + 2% N, 4 - сталь

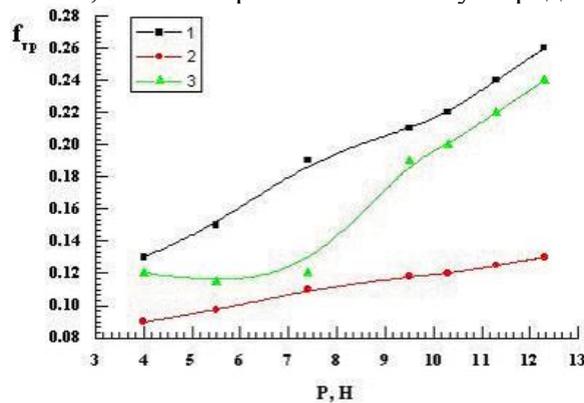


Рис. 8. Зависимость коэффициента трения от нагрузки для стали, аморфного и монокристаллического углеродного покрытий в среде вазелинового масла: 1 - аморфный углерод; 2 – монокристаллический углерод; 3 – сталь

Как видно из рис.7. при трении без смазки коэффициенты трения для стали с аморфным алмазоподобным покрытием (рис.7, кривая 1) намного ниже, чем коэффициенты трения тех же сталей с монокристаллическим покрытием, легированным азотом (рис.7, кривые 2,3). Вместе с тем, увеличение содержания азота в структуре монокристаллического углерода ведет к повышению коэффициента трения. Что же касается коэффициентов трения для стали (рис.7, кривая 4), то наблюдается интересная зависимость относительно коэффициентов трения для стали с аморфным алмазоподобным покрытием.

На рис. 8 представлена зависимость коэффициента трения от нагрузки для стали, аморфного и монокристаллического углеродного покрытий в среде

чистого вазелинового масла. В смазочной среде, где присутствует чистое вазелиновое масло без присадок, наибольшее трение демонстрирует аморфное покрытие, у которого коэффициент трения изменяется в пределах $\sim 0,13-0,26$ в интервале нагрузок 4-12,4 Н (кривая 1, рис.8); а наименьшее - имеет углеродное монокристаллическое покрытие, где величина коэффициента трения в том же интервале нагрузок изменяется от 0,085 до 0,12 (кривая 2, рис.8).

Для обоих покрытий характерно повышение коэффициента трения с увеличением нагрузки. Для стали без покрытия (кривая 3, рис.8). сохраняется типовая зависимость трения от нагрузки – относительно пологий участок до достижения критической нагрузки $H_{кр}$, при которой происходит «выдавливание» смазочного слоя и последующее возрастание трения.