

УДК 621.891

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Али Юсупович Албагачиев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

albagachiev@yandex.ru

Аннотация. В результате проведенных исследований различных покрытий для пары трения «шип-паз» предложено износостойкое титаноуглеродное покрытие.

Ключевые слова. *Авиация, тормоза, трение, покрытие, микротвердость, износ*

В настоящее время, в период развития рыночной экономики, особое место уделяется повышению интенсивности эксплуатации транспортных средств. Особенно остро эта проблема проявляется в области авиационного транспорта.

Однако регулярность полетов во многом определяется техническим состоянием оборудования летательных аппаратов. Одним из наиболее ответственных агрегатов являются шасси самолетов и, это относится в частности, к тормозным колесам.

Авиационные тормоза современных самолетов при посадке поглощают весьма высокую энергию, обусловленную их значительной массой и высокой посадочной скоростью. В связи с этим тормоза выполняются в виде многодисковой конструкции, что дает возможность обеспечения достаточно высокого значения тормозного момента в период короткого послепосадочного тормозного пробега.

Тормоза тяжелых пассажирских и транспортных самолетов могут оборудоваться пакетом, состоящим из 8...10 и более дисков. В процессе выполнения торможения пакет дисков принудительно сжимается, при этом диски (как вращающиеся, так и невращающиеся) должны передвигаться в осевом направлении.

В этом случае шипы дисков или пазы, оборудованные металлическими накладками, перемещаются под воздействием контактной нагрузкой вдоль соответствующих направляющих. Таким образом, множественный набор фрикционных пар, может создавать существенные осевые усилия, противодействующие рабочему передвижению дисков и равномерному сжатию всего пакета.

Указанные усилия в зонах контакта (в количестве до 30...50 пар) в сумме могут составлять общее суммарное усилие, достигающее величины до 30...50% от рабочего усилия сжатия пакета, но противоположного направления. В таком случае полезное распорное усилие может не достигать дисков, расположенных вблизи опорного фланца тормоза, а вследствие этого эффективность работы тормоза может существенно снижаться.

В процессе перемещения пакета отдельные диски могут занимать «нештатное» положение, в частности перекашивания, в таком случае стальная накладка будет опираться на направляющую не по плоскости, а будет углом «процарапывать» локальный участок ответной детали. На практике неоднократно отмечались случаи достаточно глубокой «выработки» направляющих, вплоть до образования лунки, что еще более затрудняет передвижение пакета дисков в осевом направлении.

Это явление особенно часто встречается в длинных многодисковых тормозах тяжелых самолетов, что в итоге может приводить к снижению эффективности тормозов и, как крайний случай, выкатывание машины за посадочную полосу.

Указанные обстоятельства обуславливают необходимость поиска путей предотвращения «застревания» дисков в процессе торможения.

Эта проблема может решаться многими путями, например:

- применением миниатюрных игольчатых подшипников на одной из сопрягаемых деталей;
- подбор специальных материалов для трущихся пар;
- применение специальных смазок и др.

Одним из наиболее эффективных средств решения проблемы является снижение коэффициента трения в рабочей паре: шип (паз) – направляющая за счет нанесения покрытий на поверхности сопрягаемых деталей (или на одну из них) специальных составов, существенно снижающих коэффициент трения пары.

Однако решение этой проблемы связано с определенными, и достаточно серьезными, трудностями.

Разработчик тормозных устройств выдвигает жесткие требования к таким покрытиям. Они должны иметь:

- хорошую адгезию к основному материалу;
- иметь равномерное распределение по длине направляющей;
- обеспечивать длительность сохранения антифрикционных свойств в течение длительного периода эксплуатации;
- противостоять периодическому воздействию высоких температур .

В целом эта проблема может быть решена за счет подбора соответствующих материалов для покрытий, отработки технологии их нанесения и создания специализированного оборудования для технологического процесса покрытия достаточно сложных по конфигурации деталей.

Процесс обработки должен предусматривать периодический контроль сохранения и эффективности технических характеристик поверхностных слоев деталей, подвергнутых покрытию. К таким средствам могут быть отнесены методы замера микротвердости, испытания на моделирующих установках, воспроизводящих условия трения пары в длительном режиме и т.п.

С этой целью была проведена специальная исследовательская работа в которой с использованием образцов покрытых по двум технологиям их нанесения (вакуумное напыление, электроэрозионный синтез) на поверхности трения легированных сталей (50ХФА, 12ХН3А, 10Х18Н9БЛ) проведены испытания (с покрытиями и без них) по методикам модельных испытаний на машинах трения.

В лаборатории вакуумных покрытий ИМАШ РАН было проведено напыление двухслойных покрытий – нитрид молибдена + молибден ($\text{Mo}_2\text{N}+\text{Mo}$) на образцы из легированных сталей 50ХФА, 12ХН3А. Общая толщина покрытия составляла ~14 мкм.

Методом электроэрозионного синтеза покрытие $\text{Ti}+\text{C}$ с толщиной 120 мкм наносили на образцы из легированных сталей (50ХФА, 12ХН3А, 10Х18Н9БЛ) в Московском автомеханическом институте.

Трение и износ осуществлялся на машине ПРУ-2 при возвратно- поступательном движении по схеме ролик-пластина при нормальной силе 500Н, скорости скольжения 0,166м/с и на машине УМТ-1 с использованием кольцевых образцов при нормальной силе 450Н, скорости скольжения 5м/с.

С помощью прибора МТИ-3М исследовали микротвердость образцов из легированных сталей без покрытия, с покрытием, до и после испытания их на машине трения ПРУ-2. Было проведено исследование микротвердости по глубине отпечатка трех марок сталей (№1-50ХФА, №2-12ХН3А, №3-10Х18Н9БЛ) и 3 типов покрытий на них: $\text{Mo}_2\text{N}+\text{Mo}$ (7 мкм $\text{Mo}+7$ мкм Mo_2N), $\text{Ti}+\text{C}$ и $\text{TiB}_2+\text{CrB}_2$. Регистрация диаграмм упругопластической деформации производилась на двухкоординатном самописце в координатах «Сила F-глубина отпечатка h». Отпечатки на поверхность образцов наносили сначала на стальную исходную поверхность, далее на покрытие, нанесенное на эту поверхность и, наконец, на изношенную часть поверхности после испытания на машине трения. Количество отпечатков (диаграмм) на каждом образце составляло не менее 21.

Наблюдается повышение микротвердости дорожки трения после износа "чистых" поверхностей: у стали 50ХФА от 262 кгс/мм² до 502 кгс/мм², у стали 12ХН3А от 294 до 555. По всей видимости, подобное повышение связано с упрочнением возникающим в контакте образца с контртелом в процессе испытания на машине трения. Микротвердость изношенных поверхностей дорожек трения существенно выше, по сравнению с исходным ее состоянием для указанных сталей. Микротвердость молибденового покрытия составила 1055 и 1066 кгс/мм² соответственно для вышеприведенных сталей. Это естественно, поскольку в данном случае действует эффект влияния подложки на которую наносили покрытие т.е. молибден наносили на нитрид молибдена (Mo₂N), микротвердость которого составила от 900 до 1300 кгс/мм². Наряду с повышенной микротвердостью наблюдаются и увеличение интервала разброса ΔHV_{120} . Для стали 50ХФА он составляет 914 кгс/мм² (от 841 до 1754) и для стали 12ХН3А $\Delta HV_{120}=713$ кгс/мм² (от 818 до 1530).

Для двух пластин (1А и 1В) кривые деформации $F=f(h)$ имеют различный характер на стадии "Нагружение" (рис. 1). У образца под номером 1А до точки *a* с координатами $h=1,9$ мкм и $F=108$ сН характер кривой $F=f(h)$ имеет вогнутый характер, по отношению к оси абсцисс. После этой точки наблюдается заметный перелом кривой $F=f(h)$ с характером выпуклости. В точке *b* с координатами $h=3,283$ мкм и $F=204$ сН происходит резкий скачок глубины отпечатка до точки *c* на величину $\Delta h=3,77-3,283=0,487$ мкм.

Подобную картину поведения молибденового покрытия, в условиях внедрения в него индентора, можно объяснить следующим. В точке *a* происходит потеря устойчивости механического состояния покрытия. В диапазоне глубины от этой точки до точки *b* происходит заметное проявление пластичности, приводящее, в конце концов, к хрупкому разрушению покрытия в точке *c*. Число диаграмм подобного типа 17.

Иная картина у образца 1В из той же марки стали, прошедшей процедуру напыления вместе с образцом 1А. Практически у всех 21 диаграмм отсутствует эффект ярко выраженного хрупкого разрушения. Но у всех заметна потеря устойчивости покрытия. Координаты усредненной из 21 диаграмм точки устойчивости $h=1,901$ мкм при $F=108$ сН.

40% диаграмм образца 2А и почти 85% образца 2В имеют характер хрупкого разрушения молибденового покрытия на нитрид молибденовым слое. Причем, этот "дефект" начинает проявляться, в среднем, при силе вдавливания $F=200$ сН. Особенно заметен он у образца 2В. Таким образом, на границе между нитрид молибденовым и молибденовым покрытиями возникает слабая механическая связь. В результате, при воздействии на Мо-покрытие внешних сил, эта связь нарушается, что и приводит к зарождению трещин и, в конце концов, хрупкому разрушению поверхностного слоя.

Казалось бы, что этот эффект должен проявляться на 7-ми микронном уровне Мо-покрытия. Однако зарождение трещин и локальное разрушение отпечатка начинается на глубине с трех микрон. Причина, на наш взгляд, заключается в потере устойчивости механического состояния Мо-покрытия на стадии внедрения индентора в ее поверхность. Критерием устойчивости к силам F_{cr} является точка перелома на участке диаграммы "Нагружение". Именно, начиная с этой точки ($F_{cr} \approx 84 \div 108$ сН), при индентировании, заметно проявляется пластическая деформация (на диаграмме перелом кривой с характером ее выпуклости вверх). Это и приводит, в конце концов, к образованию трещин и дальнейшему хрупкому разрушению отпечатка. Естественно, нарушается и плавность хода зависимости микротвердости HV от глубины отпечатка h , с ростом размера отпечатка (рис. 1).

Визуальная оценка дорожки трения, после испытания на машине трения показала наличие следов покрытия в виде небольших пятен, разбросанных по большей части изношенной поверхности

Считать кинетическую микротвердость Мо-покрытия можно до точки перелома по формуле

$$HV=37,84 \cdot F/h^2 \text{ где } F \leq F_{cr} \text{ и } h \leq h_{cr}.$$

Учитывая проявление неспособности внешнего Мо-покрытия к устойчивости в области микромеханического состояния, следует ожидать его полного износа в области больших

контактных нагрузках при трении. Что и подтвердилось практически при испытаниях на машине трения ПРУ-2. Для пары трения (50ХФА+Mo₂N) + 10Х18Н9БЛ с первых секунд трения наблюдается схватывание и связанный с ним большой разброс значений коэффициента трения и его нестабильность в течение всего времени испытания. Так при $t=25$ с $f_{\max}=0,472$, а $f_{\min}=0,108$.

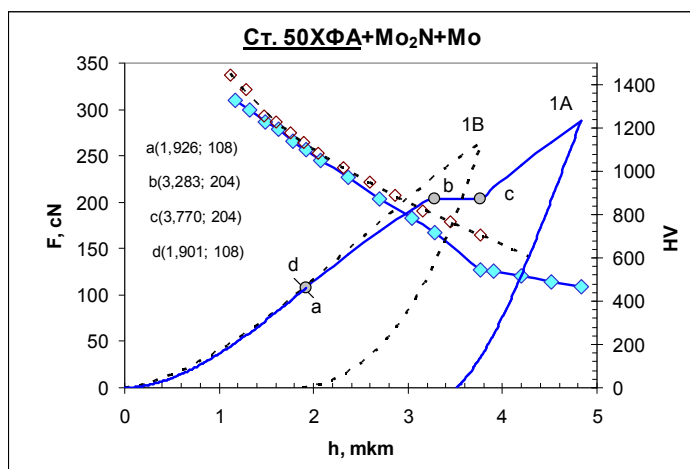


Рис. 1 Диаграммы деформации и микротвердость молибденового покрытия M на нитриде молибдена Mo₂N

Среди сопряженных пар трения составленных и испытанных из легированных сталей 50ХФА, 12ХН3А, 10Х18Н9БЛ без покрытий, долговечной (время до начала схватывания) и с весьма нестабильным коэффициентом трения, величина которого колеблется от 0,1 до 0,25, является пара 50ХФА + 10Х18Н9БЛ

Сравнительный анализ зависимостей величин средних значений коэффициента трения от времени испытаний на машине ПРУ-2 полученных при возвратно-поступательном перемещении образца из легированной стали 10Х18Н9БЛ относительно пластины из стали 12ХН3А с титаноуглеродным покрытием TiC и относительно стали 12ХН3А без покрытия показал, что покрытие титан-углерод нанесенное (методом электроэрозионного синтеза) на сталь 12ХН3А приводит к стабилизации коэффициента трения (0,2) за счет исключения схватывания, а долговечность (время до начала схватывания) пары трения с покрытием в 5 раз превышает долговечность этой же пары испытанной без покрытия. (рис.2)

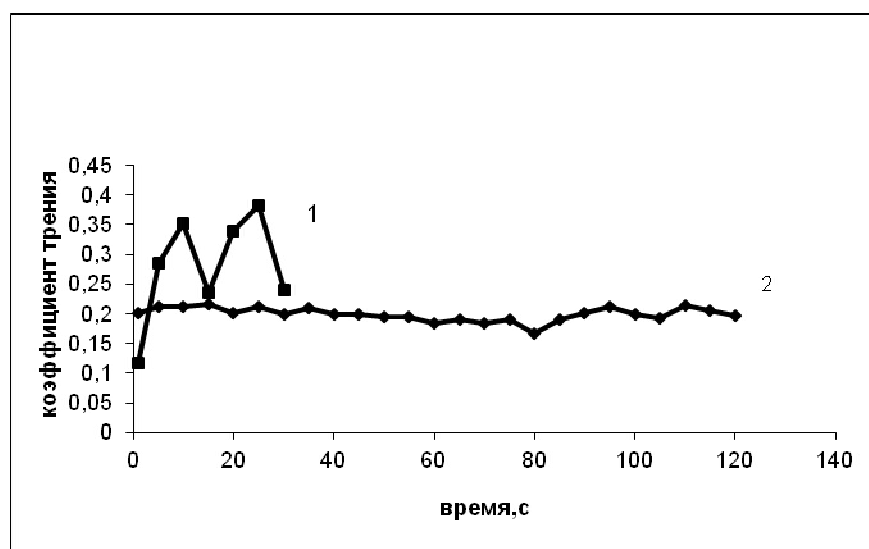


Рис. 2 Изменение коэффициента трения f от времени испытания 1- пара трения 12ХН3А+10Х18Н9БЛ 2- пара трения (12ХН3А+TiC)+10Х18Н9БЛ

Установлено, что при трении по легированной стали 10Х18Н9БЛ титаноуглеродное покрытие в 5,5 раз превосходит по долговечности двухслойное (нитрид молибдена +

молибден) 15 микронное покрытие, полученное на стали 12ХН3А вакуумным напылением. При этом с учетом разброса средний коэффициент трения второго покрытия превышает коэффициент трения первого в 2 раза (рис.3).

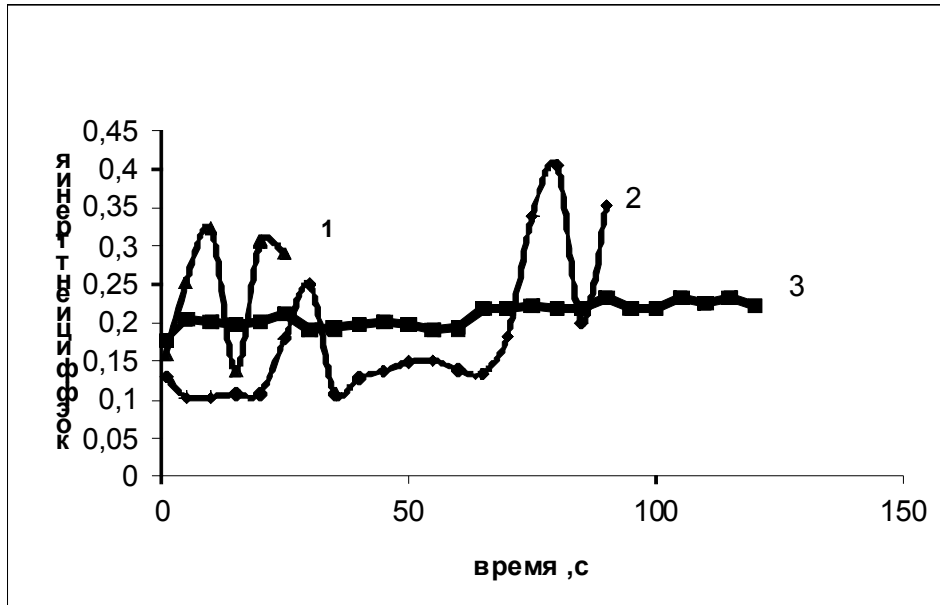


Рис. 3 Зависимость коэффициента трения f от времени испытания для пар трения 1- $(MoN_2+Mo)+ 10X18H9БЛ$, 2- $50XΦA+10X18H9БЛ$
3- $(50XΦA+Ti C)+10X18H9БЛ$

Другие испытания трением на установке УМТ-1(кольцо-кольцо) титаноуглеродного покрытия на стали 12ХН3А и двухслойного молибденового покрытия на стали 10Х18Н9БЛ показали, что коэффициент трения вначале, в течении 5 минут возрос с 0,05 до 0,1 и стабилизировался до конца испытаний. При этом, молибденовое покрытие за время испытания полностью истерлось и после этого изнашиваться стала стальная подложка под ним, в то время как у титаноуглеродного покрытия за это время наблюдался незначительный износ.

Все проведенные нами исследования позволяют рекомендовать для слабого звена из сопряженных шлицевых пар многодисковых тормозов самолета и шлицевых сопряжений деталей машин титаноуглеродное покрытие, которое может быть нанесено методом электроэрозионного синтеза.