

УДК 629.535.33

А. В. ЛОСЬ

Государственное предприятие «Антонов», Киев, Украина

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ В ПОДВИЖНЫХ ПРЕДЕЛЬНО И КОСОСИММЕТРИЧНО НАГРУЖЕННЫХ УЗЛАХ САМОЛЕТНЫХ АГРЕГАТОВ

Предложена единая методическая база в виде частных критериев эффективности применения антифрикционных покрытий в подвижных предельно и кососимметрично нагруженных узлах самолетных агрегатов. Основными параметрами в этих критериях выступают величины предельных удельных давлений (p_{np}) и температуры (t_{np} , °C) в зоне трения, обеспечивающих устойчивую работоспособность узла и предельного пути трения L_{np} и интенсивности износа Ih , обеспечивающих заданную долговечность. По этим критериям оценены пять наиболее применяемых в самолетных узлах пар трения и покрытий в виде гальванического хрома, органоволокнистых и металлокомпозиционных покрытий. В качестве альтернативы гальваническому хрому рассмотрена эффективность карбида вольфрама, который по предельным параметрам сравним с ним, а по технологичности и экологичности существенно превосходит его.

Ключевые слова: предельно и кососимметрично нагруженные узлы, критерии эффективности пар трения и антифрикционных покрытий.

Введение

При обеспечении работоспособности и долговечности подвижных узлов самолетных агрегатов невозможно обойтись без применения в их зонах трения антифрикционных покрытий.

Материаловеды предложили [1 – 3] авиационным конструкторам целую гамму антифрикционных покрытий. Среди них можно выделить наиболее применяемые в тяжело нагруженных узлах:

- хроманселевая сталь + гальванический хром
- бронзовая втулка;
- хроманселевая сталь + гальванический хром
- металлофторопластовая втулка;
- хроманселевая сталь + гальванический хром
- органоволокнистые покрытия: органол, ацетольный сополимер, антифрикционный волокнит;
- титановый сплав + металлокомпозиционное покрытие – бронзовая втулка;
- титановый сплав + карбид вольфрама – бронза.

Теоретические и производственные особенности применения указанных антифрикционных покрытий достаточно подробно представлены в работах [2, 3]. Однако применение в авиационных конструкциях высокопрочных нержавеющей сталей и титановых сплавов требует разрешения возникающих проблемных вопросов, в особенности для предельно нагруженных узлов.

Проблемность применимости антифрикционных покрытий предопределяется в ряде случаев и кососимметричностью нагружения узла (рис. 1),

поскольку в таких конструкциях неизбежно возникновение существенной неравномерности погонных усилий в зонах трения.

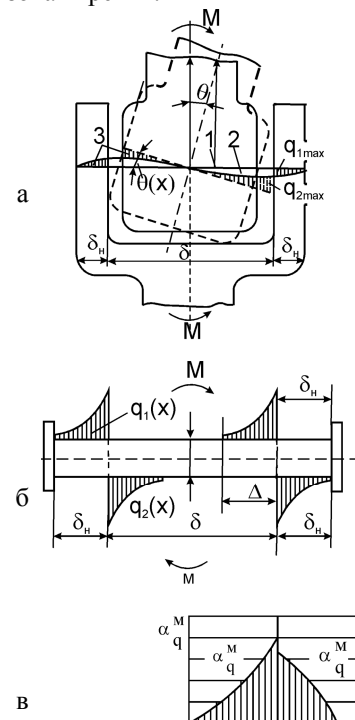


Рис. 1. Распределение погонных усилий в зонах трения шарнирного узла при кососимметричном нагружении: а – схема перемещений в узле; б – распределений погонной нагрузки; в – коэффициенты избыточности погонных усилий (α_q^M) в стыкуемых деталях узла

Для узлов такого типа в работах [4, 5] предложены критерии оценки эффективности антифрикционных покрытий:

– критерий работоспособности на трение

$$\mu \alpha_q^M p_p = p_{пр} \quad (t \text{ } ^\circ\text{C} < t_{пр1} \text{ } ^\circ\text{C}); \quad (1)$$

– критерии долговечности на износ:

а) по интенсивности износа

$$L_{пр} = k \alpha_\sigma^M p_p^m = p_{пр} \quad (t \text{ } ^\circ\text{C} < t_{пр2} \text{ } ^\circ\text{C}); \quad (2)$$

б) по предельному пути трения

$$J_h = c \left(\frac{p_p}{p_{пр}} \right)^n \quad (t \text{ } ^\circ\text{C} < t_{пр3} \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (3)$$

где μ – коэффициент трения в зоне трения;

α_σ^M – коэффициент избыточности погонных усилий в зоне трения;

$p_p, p_{пр}$ – расчетные и предельно допустимые удельные давления;

L_h – интенсивность износа;

k, m, n – коэффициенты;

$t \text{ } ^\circ\text{C}$ – предельно допустимая температура в зоне трения.

В приведенных выражениях определяющими являются два параметра α_q^M и $p_{пр}$ – в узлах, воспринимающих и передающих моментную нагрузку M – (см. рис. 1).

С учетом приведенных обстоятельств целью данной работы является оценка эффективности и применимости различных пар трения (1.1...1.5) на методически единой системе критериев (1) – (3), с учетом ограничений по $p_{пр}$ и кососимметричности распределения погонных усилий (α_q^M) в зонах трения.

Для полной достоверности предложенных критериев (1) – (3) основные их параметры $p_{пр}, t_{пр} \text{ } ^\circ\text{C}$,

$L_{пр}$ и J_h определялись экспериментальным путем методике, принятой в самолетостроении [6], в условиях возвратно-начального движения при малых скоростях скольжения.

На такой методической основе сравнены наиболее распространенные в подвижных самолетных узлах антифрикционные покрытия и пары и трения.

1.1. Узлы трения: бронзовая втулка – хромонсиловая сталь с гальваническим хромом.

Длительное время в конструкциях стыкуемых и стыкующих деталей узлов используются высокопрочные хромонсиловые стали типа 30ХГСА и 30ХГСН2А. Стыкующие детали таких узлов, как правило, покрывают гальваническим хромом, а в подвижные зоны стыкуемых деталей вставляют втулки из бронз БрАЖН-10-4-4 или БрЖМц-10-3-1,5. Технология изготовления таких узлов доведена до совершенства, а их предельные возможности по параметрам работоспособности приведены в табл. 1. Здесь же показана часть отделочных технологических операций, осуществляемых при изготовлении узлов рассматриваемого типа.

Очевидно что, уменьшение твердости хромового покрытия (молочный и пористый хром) почти не изменяет величины $p_{пр}$, а интенсивность изнашивания уменьшается почти в 1,5 раза.

Испытания показали, что повышение $p_{пр}$ и снижение J_h в таких парах может быть достигнуто путем нанесения на рабочие поверхности бронзовых втулок гальваническим способом свинцового покрытия толщиной 8...15 мкм, и заполнением свинцом канавок бронзовых втулок.

В процессе перемещения сопряженных деталей в зоне трения происходит наволакивание свинца, что увеличивает предел работоспособности пары "бронза–хромированная сталь" более чем в 4–5 раз при одновременном резком снижении интенсивности изнашивания в 7–8 раз.

Анализ состояния поверхностей трения деталей позволил установить, что в паре трения "БрАЖН 10–4–4 + хромированная сталь" при смазке "Свинцоль" кроме медной пленки возникала тонкая пленка свинца, которая образовалась поверх медной пленки

Таблица 1

Обобщенные показатели работоспособности и долговечности подвижных узлов с парами "бронза–хромированная сталь"

Индекс узла	Покрытие, толщина	Финишная обработка	$p_{пр}, \text{ МПа}$	$t_{пр}, \text{ } ^\circ\text{C}$	μ	$J_h, \text{ мкм/м}$
1.1	Твердое хромирование, 30...50 мкм	Шлифование + алмазное выглаживание + вибровыглаживание	65,0	155	0,33	0,0022
	Молочный, пористый хром	Шлифование	39	140	0,35	0,0016

и сохранялась даже при удельных давлениях 200...230 МПа, что является наивысшим показателем работоспособности узлов трения в условиях возвратно-качательного движения.

1.2. Узлы трения: металлофторопластовая втулка – хромансильевая сталь с гальваническим хромом.

Металлофторопластовые покрытия получили распространение в изделиях общего машиностроения благодаря сравнительно низкой величине коэффициента трения μ .

Однако разработчики этого покрытия для оценки его работоспособности и износостойкости пользовались критерием pV при весьма малых удельных давлениях 2...7 МПа, не доводя эксперименты до предельных условий трения, что требуется для авиационных узлов.

Для возможности оценки эффективности подвижных узлов с таким покрытием проведены экспериментальные исследования по методике, принятой в авиационной [6].

Процесс разрушения металлофторопластового покрытия протекает постепенно. Сначала на поверхностях появляются небольшие локальные луночки, затем с увеличением наработки размеры этих луночек и их количество непрерывно увеличивается.

При удельном давлении $p \geq 130$ МПа происходит скачкообразное уменьшение долговечности узла, которое составляет всего лишь $10^4 - 3 \cdot 10^4$ колебаний. При таком удельном давлении поверхностная температура в зоне трения достигает 190°C , а коэффициент трения становится равным 0,17. Это позволяет считать удельную нагрузку, равную 130 МПа, верхним предельным значением, ограничивающим целесообразное использование металлофторопластовых покрытий в подвижных узлах (табл. 2).

Таблица 2

Параметры предельной работоспособности подвижных узлов с металлофторопластовыми покрытиями

Пара трения покрытия	Предельные значения		
	$p_{пр}$, МПа	$t_{пр}$, $^\circ\text{C}$	μ
Хромансильевая сталь + гальванический хром – металлофторопластовая втулка	130	190	0,17

В диапазоне давлений $p < 130$ МПа и $t < 190^\circ\text{C}$ экспериментальным путем произведена оценка на долговечность в виде предельного пути трения $L_{пр}$, величина которого может быть оценена по статическому выражению

$$L_{пр} = \frac{1,24 \cdot 10^5}{\alpha_q^M p^{1,56}}.$$

Приведенные данные ($p_{пр}$, $t_{пр}$ и $L_{пр}$) можно рекомендовать для оценки работоспособности и долговечности предельно и кососимметрично нагруженных узлов с металлофторопластовым покрытием.

1.3. Предельные параметры работоспособности узлов с втулками из органоволокнистых покрытий приведены в табл. 3

Таблица 3

Параметры предельной работоспособности подвижных узлов с органоволокнистыми покрытиями

Индекс узлов	Покрытия в паре с гальваническим хромом	Предельные значения		
		$p_{пр}$, МПа	$t_{пр}$, $^\circ\text{C}$	μ
1.3	Органол АФ-1-260	114	75	0,052
	Антифрикционный волокнит	108	35	0,055
	Ацетольный сополимер	147	30	0,046

Очевидно, что органоволокнистые покрытия принципиально отличаются по параметрам работоспособности от других покрытий. В узлах с органоволокнистыми покрытиями нет процессов с обычным истиранием. При предельных удельных давлениях в зонах трения происходит выдавливание связующего материала, а затем отслаивание основных несущих слоев.

Процесс и форма разрушений в таких узлах подтвердили, что основным ресурсным параметром подвижных самолетных узлов с покрытиями из органоволокнистых материалов является предельная величина пути трения до разрушения покрытия $L_{пр}$.

Анализируя данные ресурсных испытаний на долговечность органоволокнистых покрытий [8], следует отметить:

– коэффициент α_q^M , обусловленный кососимметричным нагружением, существенным образом ограничивает общую величину пути трения L в узлах с покрытиями такого типа;

– влияние α_q^M сказывается и на общей картине разрушений; выдавливание связующего в органоволокнистых структурах прежде всего наблюдается в зонах $\alpha_q^M \max$, т.е. имеет место течение связующего в осевом направлении зоны трения от $\alpha_q^M \max$ к $\alpha_q^M \min$;

– наибольший путь трения имеют узлы с покрытием в виде органола АФ-1-260;

– узлы с такими покрытиями содержат наиболее низкий коэффициент трения даже в предельных ус-

ловиях по удельным давлениям;

– допустимые расчетные давления в зонах трения с такими покрытиями выше, чем у пары бронза-сталь, и приближаются к параметрам металлофторопластовых покрытий.

Однако по предельно допустимой температуре в зоне трения и общей долговечности узлы с органиволокнистыми покрытиями существенно (в несколько раз) уступают традиционной паре трения с бронзовыми втулками.

Наиболее приемлемая область применения органиволокнистых покрытий – подвижные узлы в различных кинематических схемах.

1.4; 1.5. Предельные возможности металлокомпозиционных покрытий в узлах, изготовленных из титановых сплавов и нержавеющей стали.

В последнее время в самолетостроении наметился устойчивый переход к использованию в особо ответственных узлах от традиционных высокопрочных хромансильевых сталей 30ХГСА, 30ХГСН2А и т.п. к мартенситно-старееющим сталям типа ВКС-170 и титановому сплаву ВТ-22. Такой переход объясняется двумя причинами:

– хромансильевые стали уже не могут обеспечить высокий календарный ресурс более 25 лет из-за возникновения в них (под нагрузкой) межкристаллитной коррозии;

– необходимостью снизить массу конструкции из-за существенно меньшей плотности титановых сплавов.

Происходящий переход вносит свои коррективы и в проектирование, и в производство подвижных узлов рассматриваемого типа:

– уменьшается жесткость стыкующей под сборки узла на изгиб из-за уменьшения модуля первого рода этих материалов, что влечет за собой увеличение неравномерности погонных усилий α_q^M в зоне трения;

– исключается возможность нанесения гальванического хрома на трущуюся поверхность стыкующей под сборки из-за чрезмерного наводораживания и охрупчивания её поверхности, что, в свою очередь, существенно снижает усталостную долговечность подвижного узла.

Такие обстоятельства привели к широкому применению металлокомпозиционных покрытий в виде разноэлементных порошков, наносимых газотермическим, ионно-плазменным и другими методами на детали, изготовленные из титановых сплавов и нержавеющей стали. Среди нескольких десятков таких порошков, применяемых в узлах трения самолета, следует отметить такие металлокомпозиционные смеси: Ti C-Co; Ti C-N; Ti-Ti₂-TiN; Fe-Mo-Cr-B и некоторые другие.

Анализ показал, что перспективными являются

порошки для напыления (Fe-B) и (Fe-Mo-Cr-B), которые в условиях трения скольжения и реверсивного трения имеют износостойкость в 1,6 – 2,0 раза выше, чем покрытия из электролитического хрома.

В связи с широким применением в конструкциях основных деталей узлов титановых сплавов с их малым модулем первого рода и низкой поверхностной микротвердостью в качестве покрытия начинают использовать карбид вольфрама (табл. 4).

Таблица 4
Химический состав порошка карбида вольфрама

W	C	Fe	Ch	V	Nb	Si+Al
95,6	3,98	0,12	0,12	0,06	0,07	0,05

Карбид вольфрама – одно из самых твердых керамических соединений, сравнимое по твердости с алмазом (HRC ≈ 90). Кроме того, он имеет уникальный набор свойств, в том числе высокую точку плавления (2600 – 2850⁰C), высокую износостойкость и сопротивляемость термоудару (градиенту температур), а также хорошую устойчивость к окислению. Высокие показатели прочности сцепления и низкая пористость также доказывают преимущество таких покрытий. Из табл. 5 можно заметить превосходство этого покрытия по сравнению с хромированием по антикоррозионным свойствам и жаростойкости.

Таблица 5
Параметрические особенности покрытия в виде карбида вольфрама

Параметры	Покрытия	
	Покрытие из карбида вольфрама	Гальванический хром
Микротвердость, HRC	70-80	60-70
Прочность сцепления, МПа	>1050	750-850
Толщина покрытия, мкм	1,5-40	До 13
Шероховатость, Ra	<4	<4
Коррозионная стойкость, часы	720	550
Жаростойкость	550	400

Как видно из табл. 5, значение микротвердости покрытий карбида вольфрама составляет 70-80 HRC, в то время как хромированные покрытия дают твердость 60-70 HRC. Значения микротвердости по Виккерсу составляют соответственно 1050 для карбида вольфрама и 750 – 850 для хромового покрытия.

Помимо того, что покрытия карбида вольфрама имеют преимущество при работе в тяжелых условиях, эти покрытия гораздо легче наносятся по сравнению с традиционными электролитическими ваннами с хромом.

Нанесение покрытия карбида вольфрама проис-

ходит быстрее по сравнению со стандартным хромированием. Обычно процесс напыления карбида вольфрама на шток занимает 1-2 часа, в то время как хромирование – более суток. К тому же, в отличие от хромирования, покрытия карбида вольфрама **не подвержены водородному охрупчиванию**.

За счет большей микротвердости пара карбид-вольфрама – бронза больше, чем пара хром – бронза приближается к идеальной модели износа вследствие большего градиента изменений свойств в такой паре. Это и является ее преимуществом перед другими парами трения.

Однако для обоснованного использования этой пары в предельно нагруженных узлах самолетных агрегатов понадобились дополнительные ее испытания по методике, принятой в данной работе. Результаты таких исследований приведены в табл. 6.

В таблице 6 приведены абсолютные значения предельно допустимых значений $p_{пр}$, $t_{пр}$, I_h и μ в подвижных узлах, полученных экспериментальным путем на единой методической базе (см. выражения (1) – (3)), наиболее характерной для их работы в самолетных конструкциях. Их экспериментальная достоверность является основанием при проектировании узлов рассматриваемого типа по параметрам трения и износа, что обеспечивает им устойчивую работоспособность и заданную долговечность.

Выводы

В работе представлены исследования, позволяющие на единой методической основе с помощью критериев предельной работоспособности и долговечности на износ произвести количественную оценку эффективности антифрикционных покрытий,

используемых в подвижных предельно и кососимметрично нагруженных узлах, и установить возможные области их применения.

Для всех вышеприведенных покрытий критерием работоспособности является локальная величина удельной силы трения ($\alpha_q^M p_p \mu$), тогда как их долговечность определяется предельной величиной пути трения $L_{тр}(\alpha_q^M)$.

Из полученных экспериментальных данных следует, что узлы с покрытиями типа (1.2 и 1.3) существенно уступают узлам с покрытиями (1.1; 1.4) по долговечности почти в 4 раза, по температуре – примерно в 1,4 – 2 раза, одновременно превосходя их по обобщенному параметру работоспособности в 2,5 раза, а по коэффициенту трения – в 8...9 раз.

Применение в особо ответственных узлах самолетных агрегатов титановых сплавов и нержавеющей сталей привело к необходимости применения в подвижных узлах металлокомпозиционных покрытий, наносимых газодинамическим или плазменным методами.

Исследованиями установлено, что нанесение металлокомпозиционных покрытий на несущую деталь стыкующей подборки подвижного узла приводит (при примерно равном коэффициенте трения) к повышению почти на 35 % предельной работоспособности узла, к снижению интенсивности износа на 38...73 %.

Приведенные в работе данные по предельным значениям параметров несущей способности ($\alpha_q^M p_p$), по коэффициентам трения μ и долговечности $I_h(\alpha_q^M)$, $L(\alpha_q^M)$ базируются на результатах стендо-

Таблица 6

Характеристики работоспособности и долговечности антифрикционных покрытий для подвижных предельно и кососимметрично нагруженных узлов самолетных агрегатов

Группы покрытий	Антифрикционные покрытия	Толщина покрытия, мкм	Предельная величина, $p_{пр}$, МПа	Коэффициент трения, μ	I_h БрАЖМу 10-3-1,5 мкм
Гальванические	Твердый хром	45	62,0	0,33	0,0025
	Молочный, пористый хром	35	59,0	0,35	0,0086
	Хром-металлофторо-пласт	40	130	0,17	$L_{кр}$
Органо-композитные	Органол, антифрикционный волокнит	260	114,0	0,055	$L_{кр}$
Металло-композитные порошки	$Al_2O_3+2\%TiO_2$	300	69,0	0,39	0,0044
	Ti-Ti ₂ -TiNa	280	62,0	0,37	0,0057
	TiC-Co ₂	250	71,2	0,29	0,0006
	TiC-Na	250	70,06	0,32	0,0011
	TiC-5%Al-20%Mo	250	72,1	0,40	0,00048
	Fe-Mo-Cr-B	300	71,08	0,36	0,0013
	Fe-B	300	70,02	0,38	0,0016
Карбид вольфрама	40	74,0	0,23	0,0019	

вых испытаний кососимметрично нагруженных на турных узлов в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Ими можно пользоваться как справочным материалом, гарантирующим заявленные параметры их несущей способности и долговечности.

Полученные данные позволяют также сформулировать основные рекомендации по наиболее эффективному использованию результатов в практике применимости рассмотренных покрытий:

– в узлах, поворотной консоли крыла, узлах системы механизации крыла, отдельных элементов систем выпуска и уборки шасси, т.е. узлах, у которых путь трения за цикл земля–воздух–земля (ЗВЗ) или взлет-посадку не превышает 0,1 м, рекомендуется назначать покрытия в виде органола и металлофторопласта;

– в узлах амортизационных шасси, навески крыла, некоторых узлах системы крепления двигателей и механизации крыла, у которых путь трения за цикл ЗВЗ или взлет-посадку составляет от 1,0 до 10 м, рекомендуется назначать пару трения БрАЖН 10-4-4 – хромированная сталь, как обладающую максимальным ресурсом в условиях высоких удельных давлений и знакопеременного пути трения;

– в узлах, основные детали которых изготавливаются из мартенситно-старяющей стали ВКС-170 и титанового сплава ВТ-22, следует использовать покрытие из карбида вольфрама, который по предельным показателям трения и износа не уступает гальваническому хрому, однако превосходит его по технологическим и экологическим требованиям.

Литература

1. Борисов, Ю. С. Газотермические покрытия из порошковых материалов [Текст] / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов. – К. : Наук. думка, 1987. – 544 с.
2. Триботехнические свойства покрытий на титановых сплавах [Текст] / П. В. Назаренко, Е. И. Полищук, А. Г. Моляр и др. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 1998. – № 2. – С. 26-31.
3. Федірко, В. М. Азотування як метод підвищення зносостійкості титану та сплавів на його основі [Текст] / В. М. Федеріко, І. М. Погрелюк, О. І. Ясівський // Проблеми трибології. – 1996. – № 2. – С. 52 – 56.
4. Лось, А. В. Основные положения метода обеспечения долговечности подвижных самолетных узлов в условиях кососимметричного нагружения [Текст] / А. В. Лось // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та „ХАИ”. – Вып. 62 – X, 2013. – С. 5 – 12.
5. Лось, А. В. Моделирование условий взаимодействия основных элементов подвижного узла при кососимметричном его нагружении [Текст] / А. В. Лось // Вопросы проектирования самолетных конструкций : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та «ХАИ». – Вып. 4 (76). – X., 2013. – С. 64–72.
6. Волох, И. Н. Экспериментальные основы оценки износостойкости шарниров шасси [Текст] / И. Н. Волох, В. И. Рябков // Авиационная промышленность. – 1986. – № 19. – С. 4 – 56.
7. Особенности использования титановых сплавов нержавеющей стали и металлокомпозиционных антифрикционных покрытий в шасси современных самолетов [Текст] / В. И. Рябков, Л. В. Капитанова, Ю. В. Бабенко и др. // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2003. – № 36/1. – С. 6 – 14.
8. Конструирование и изготовление конструкций из композиционных материалов [Текст] / В. Е. Гайдачук, Д. С. Кива, В. Н. Кобрин и др. – X. : ХАИ, 1989. – 128 с.

Поступила в редакцию 1.06.2014, рассмотрена на редколлегии 14.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. проектирования самолётов и вертолётов В. И. Рябков, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АНТИФРІКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ В РУХОМИХ ГРАНИЧНО ТА КОСОСИМЕТРИЧНО НАВАНТАЖЕНИХ ВУЗЛАХ ЛІТАКОВИХ АГРЕГАТИВ

О. В. Лось

Запропоновано єдину методичну базу у вигляді окремих критеріїв ефективності застосування антифрикційних покриттів в рухомих гранично та кососимметрично навантажених вузлах літакових агрегатів. Граничними параметрами в цих критеріях виступають величини граничних питомих тисків ($p_{гр}$) і температури ($t_{гр}$, °C) в зоні тертя, які забезпечують стійку працездатність вузла і граничного шляху тертя $L_{гр}$ та інтенсивності зносу J_h , що забезпечують задану довговічність. За цими критеріями оцінено п'ять найбільш вживаних

в літакових вузлах пар тертя та покриттів на основі гальванічного хрому, органоволокнистих та металокомпозиційних покриттів. Як альтернативу гальванічному хрому розглянуто ефективність карбіду вольфраму, який за граничними параметрами порівнюється з ним, а за технологічністю та екологічністю істотно перевершує його.

Ключові слова: гранично і кососиметрично навантажені вузли, критерії ефективності пар тертя і антифрикційних покриттів.

CRITERIA OF EFFECTIVE APPLICATION OF ANTIFRICTIONAL COATINGS IN MOVABLE ULTIMATE AND SKEW LOADED AIRCRAFT UNITS

A. V. Los'

A unified methodological framework in the form of partial effectiveness criteria of anti-friction coatings in moving ultimate and skew-symmetrically loaded assemblies of aircraft aggregates. Limit parameters in these criteria are the values of the ultimate unit pressure (p_{np}) and temperature (t_{np} , °C) in the friction zone to ensure stable operation and the limiting friction path length L_{np} and the wear rate J_h providing the given life. According to these criteria five of the most frequently used friction pairs and coatings based on chromium plating, filament-reinforced organic and metal-composite coatings. Alternatively to galvanic chromium there was examined effectiveness of tungsten carbide, which is comparable to galvanic chromium by the limiting parameters, but significantly exceeds it in manufacturing and ecology.

Keywords: ultimate and skew-symmetrical loaded assemblies, performance criteria of friction pairs and anti-friction coatings.

Лось Александр Васильевич – заместитель Главного конструктора, государственное предприятие «Антонов», Киев, Украина.