

начиная с методов структурного анализа и до способов их изготовления.

Накопленный опыт изготовления грубчатых элементов и других конструкций из боралюминия подтверждает высокую весовую эффективность использования МКМ в силовых конструкциях. Исследования показали, что существуют резервы для весового совершенствования стержневых и других конструкций в самых МКМ, которые имеют большие разбросы несущей способности, а также в металлических законцовках, вес которых может достигать до 30–40% от общего веса конструкций. Уменьшить весовые затраты можно совершенствованием структуры МКМ и применением законцовок из МКМ на алюминиевой матрице, содержащих частицы карбида кремния.

Исследования показали, что разнообразные МКМ могут найти применение в конструкциях самолетов при условии разработки эффективной по стоимости технологии их производства, и в случае, если МКМ, армированные непрерывными волокнами, будут конкурентноспособными с ПКМ типа углепластика, а МКМ, армированные частицами, конкурентно-способными с алюминиевыми сплавами.

Для достижения приоритетного направления в производстве конструкций из МКМ необходимо совершенствовать традиционные технологии обработки металлов, накапливать базу данных по свойствам различных классов МКМ, разрабатывать новые методы конструирования деталей, испытывать модельные образцы и натурные конструкции в реальных условиях эксплуатации.

#### Литература

УДК 620.22.004:629.7  
621.762:669

Моляр А.Г., Нечипоренко О.Ю., Семенченко В.П., Ромашко И.М.  
ГП "АНТК им. О.К. Антонова". Украина, Киев

### МЕТАЛЛОКЕРАМИКА ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ САМОЛЕТОВ "АН"

#### Анотація

*Розглянуті матеріали фрикційного та антифрикційного призначення, що отримані методом порошкової металургії. Показані області застосування вказаних матеріалів у вузлах тертя літаків "АН".*

#### Abstract

*The materials of friction and antifriction appointments received by powder metallurgy are considered. They are shown application of the specified materials in friction assembly for airplanes "AN".*

2. *Перевод КМЗ №3153.* Композиционные материалы с металлической матрицей – материалы будущего / Перевод с англ. В. П. Репало. – К.: КМЗ. – 1991. – 20 с.: ил.

3. *Конструкции* из металлических композиционных материалов. / Под общ. ред. Г.А. Кривога. – К.: Техника. – 1992. – 223 с.

4. *Салибеков С.Е., Строганова В.Ф.* Современное состояние и перспективы развития композиционных материалов с металлической матрицей. // МиТОМ. – 1984. – №8. – С. 2–8.

5. *Изготовление* и механические характеристики композиционного материала с алюминиевой матрицей, армированного волокнами бора или карбида кремния. Перевод с англ. – К. – 1989. – 4 с.

6. *Достижение* в области КМ.: Сборник научных трудов под редакцией Дж. Пиатти. Перевод с англ. – М.: Металлургия, 1982. – 304 с.

7. *Композиционные материалы* в машиностроении. / П.П. Филиповский, Т.В. Грудина, А.Б. Сапожникова и др. – К.: Техника, 1990. – 340.

8. *Л.Р. Вишняков, Н.П. Ониськова, И.М. Ромашко* и др. Технологическое освоение композиционного материала системы Al-SiC // Технология легких сплавов. – 1996. №3. – С. 64–69.

9. *Л.Р. Вишняков, Н.П. Ониськова, И.М. Ромашко, А.И. Грибков.* Влияние механического легирования на свойства порошковых металлокомпозиций системы Al-SiC // Порошковая металлургия. – 1997. – №11/12. – С. 38–43.

10. *Заряпин Ю.Л.* и др. Производство композиционных материалов обработкой давлением: Справочник. Ю.Л. Заряпин и др. – М.: Металлургия. – 1991. – 349 с.

11. *Король В.К., Гильденгорн М.С.* Основы технологии производства многослойных металлов. – М.: Металлургия. – 1970. – 238 с.

Надежная работа узлов трения машин и механизмов невозможна без применения современных материалов фрикционного и антифрикционного назначения. Применительно к триботехнике порошковая металлургия является одним из наиболее перспективных методов производства материалов (т.н. металлокерамики) для узлов трения. Стандартная схема изготовления деталей методом порошковой металлургии включает в себя получение порошков металлов и сплавов, их дополнительную обработку и смешивание, прессование порошковой пихты с целью получения заготовок заданной формы и размеров, спекание

спрессованных заготовок для придания им необходимой прочности [1]. Благодаря такой технологии возможно соединение в одном материале разнообразных компонентов, что позволяет максимально широко варьировать его физико-механическими и, как следствие, эксплуатационными свойствами.

Металлокерамические материалы антифрикционного назначения используются для изготовления пористых подшипников. По сравнению с литыми пористые металлокерамические подшипники обладают лучшей прирабатываемостью, что связано с возможностью пластической деформации за счет наличия пор в материале. Такие подшипники имеют низкий коэффициент трения, высокую износостойкость и способность работать без смазки. Это обеспечивается гетерогенной структурой спеченного материала, представляющей собой износостойкую твердую основу с различными мягкими включениями, нередко выполняющими функции сухих смазок [2].

Среди многообразия спеченных антифрикционных материалов для работы в узлах трения самолетов "АН" наиболее оптимальными являются материалы марок АМК-1, АМК-4, АМК-5 (разработаны ВИАМ, Россия) и БФГ-50М (разработан АНТК им. О.К. Антонова совместно с ИМП НАН Украины)

Антифрикционный материал АМК-1 представляет собой оловянистую бронзу с добавками графита. В подшипниках из материала АМК-1 особую роль выполняют поры, используемые в качестве резервуара смазочного масла, которое вводится в спеченные детали методом пропитки. При работе такого подшипника происходит выдавливание масла из пор на трущиеся поверхности и формирование устойчивой смазочной пленки, что обеспечивает длительную работу пары трения без дополнительного подвода масла. Такая особенность подшипников из материала АМК-1 придает им ряд преимуществ перед литыми подшипниками, а именно обеспечивается возможность установки подшипника в вертикальное положение, когда вероятно утечка масла при внешнем смазывании; уменьшается расход масла при использовании спеченных самосмазывающихся подшипников; в момент пуска имеется постоянная смазочная пленка; снижается износ пары трения.

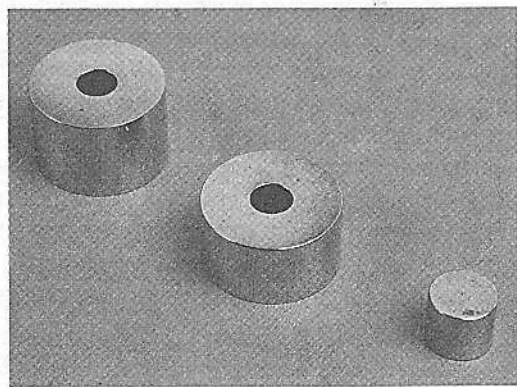
Величина допустимой нагрузки на спеченный материал определяется степенью его пористости. Так, для работы при больших скоростях и малых нагрузках рекомендуемая пористость составляет 25–30%, для обычных условий работы – 18–25%, для малых скоростей при средних и высоких нагрузках – 10–18% [3]. Материал АМК-1 после спекания имеет пористость 10–15% и предназначен для изготовления деталей (рис. 1, а), работающих в режиме самосмазывания при давлении до 5 МПа и скорости скольжения до 1 м/с.

Как известно, для узлов трения, работающих при повышенных нагрузках и температурах, нецелесообразно применять жидкие смазывающие вещества, т.к. в этом случае они либо выдавливаются, либо выгорают (коккуются) [2]. Поэтому для таких условий эксплуатации применяют подшипники из антифрикционного материала АМК-4. Материал АМК-4 представляет собой металлокерамику на основе меди, содержащую никель, олово и свинец. Введение в такой материал до 10% (масс.) твердой смазки (графит, дисульфид молибдена) значительно снижает коэффициент трения, уменьшает износ и вероятность схватывания сопряженных деталей.

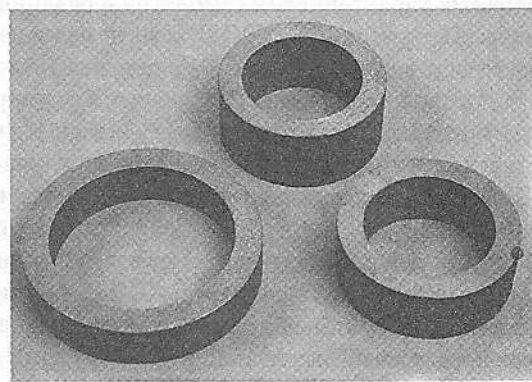
В спеченном состоянии антифрикционный материал АМК-4 имеет твердость НВ 55-80, плотность – 6,6 г/см<sup>3</sup>.

Наличие легирующих элементов в антифрикционном материале на основе меди обуславливает повышение прочностных свойств материала, поэтому детали из материала АМК-4 способны работать в условиях сухого трения при более высоком давлении по сравнению с деталями из материала АМК-1. В отличие от материала АМК-1 коэффициент трения у материала АМК-4 в 1,5 раза ниже при одинаковых условиях испытаний. Кроме того, за счет легирования металлокерамика из АМК-4 сохраняет свою работоспособность при температуре до 350°С.

При полетах в облаках в подавляющем большинстве случаев происходит обледенение самолетов, что связано с наличием в атмосфере воды в капельно-жидком состоянии при отрицательной температуре. При этом существенно ухудшаются летные характеристики самолета (уменьшается вертикальная скорость набора высоты, снижаются



а



б

Рис. 1. Втулки из антифрикционных металлокерамических материалов АМК-1 (а) и АМК-5 (б)

потолок и максимальная скорость полета, увеличиваются расход топлива и требуемая мощность для полета на заданной скорости), а также возможно заклинивание систем управления самолетом. Для защиты самолета от обледенения применяются воздушно-тепловые противообледенительные системы (ПОС), действие которых основано на обогреве защищаемой поверхности горячим воздухом [4]. С целью компенсации изменения длины трубопровода при значительных перепадах температур применяются специальные компенсаторы, допускающие линейные и угловые перемещения. Такие компенсаторы представляют собой трибосистему "цилиндр-сферический наконечник", между которыми помещается спеченная металлокерамическая втулка из **антифрикционного материала АМК-5** (рис. 1, б).

Материал АМК-5 – это сложнелегированная металлокерамика на основе никеля, содержащая медь и железо. Для повышения антифрикционных свойств в материал вводят свинец, олово, графит и дисульфид молибдена.

При отработке технологии изготовления деталей из материала АМК-5 возникла проблема сохранения их формы после спекания и обеспечения заданной твердости (50–80 НВ). На основании ряда экспериментов было установлено, что такой материал должен спекаться под давлением. Для этого было решено детали из материала АМК-5 спекать в оснастке. При этом эффект "спекания под давлением" обеспечивается за счет давления детали на стенки матрицы в результате ее роста при спекании. В настоящее время установлены оптимальные технологические режимы получения деталей из материала АМК-5, позволяющие изготавливать детали из указанного материала с гарантированной твердостью.

Детали из антифрикционного материала АМК-5 применяются в воздушных системах самолетов АН-140 и АН-70.

К особоответственным системам современных самолетов, содержащим узлы трения, относятся системы управления закрылками, предкрылками, интерцепторами и дефлекторами стабилизатора. Все они объединяются в систему управления механизации крыла (СУМК), которая служит для обеспечения необходимых взлетно-посадочных характеристик самолетов в различных условиях эксплуатации. От СУМК зависят надежность и безопасность полетов, а также ресурс самолета. Поэтому СУМК постоянно совершенствуют, причем как счет разработки оптимальной конструкции ее элементов, так и за счет рационального выбора антифрикционных материалов.

Широко применяемые в настоящее время шариковинтовые и винтовые механизмы трения скольжения с жидкой смазкой не полностью удовлетворяют требованиям, необходимым для качественной работы СУМК, т.к. имеют большой вес, габариты, высокую чувствительность к нарушениям условий эксплуатации. В связи с этим для подшипников трения скольжения и гаек винтовых механизмов трения скольжения СУМК в АНТК им. О.К. Антонова совместно с Институтом проблем материаловедения

НАН Украины был разработан новый антифрикционный материал БФГ-50М каркасного типа. Материал представляет собой композицию, состоящую из бронзовой основы с припеченным пористым каркасом, пропитанным твердой смазкой на основе суспензии фторопласта с добавлением графита. Толщина пористого слоя в материале БФГ-50М – до 1,0 мм, пористость – до 50% [5].

Сравнительные испытания узлов трения, содержащих детали из материала БФГ-50М, с шариковинтовыми механизмами самолета АН-24 показали преимущество первых по коэффициенту полезного действия, стабильности коэффициента трения, интенсивности изнашивания в широком интервале температур и вибраций, ресурсу эксплуатации без регламентного обслуживания и предполетной подготовки, усилению страгивания, которое для шариковинтовых механизмов значительно выше, особенно при низких температурах.

Кроме того, узлы трения скольжения с деталями из материала БФГ-50М оказались более эффективными при эксплуатации самолета на грунтовых аэродромах, когда происходит попадание абразивных частиц в зону трения. Такие частицы, внедряясь в пористый слой материала БФГ-50М, обволакиваются фторопластом с наполнителем, что не приводит к ухудшению работы узла трения в целом [5].

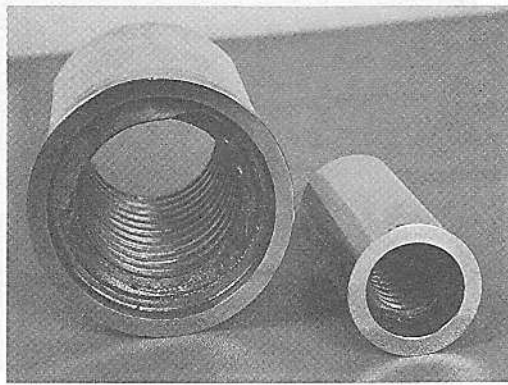
Детали из материала БФГ-50М (рис. 2) применяются, например, в механизме управления аэродинамическими поверхностями летательного аппарата, винтовом механизме с автоматической выборкой зазора. Из такого материала изготавливают вкладыши рулевых колонок, боксы амортизаторов шасси, ролики створок грузового люка и др.

Номенклатура гаек из материала БФГ-50М, изготавливаемых в АНТК им. О.К. Антонова, составляет от Трап. 10x4 кл.3 до Трап.48x5 кл.3 при высоте до 150 мм. Коэффициент трения таких гаек составляет 0,05–0,10 при скорости скольжения до 1 м/с и нагрузке до 100 МПа.

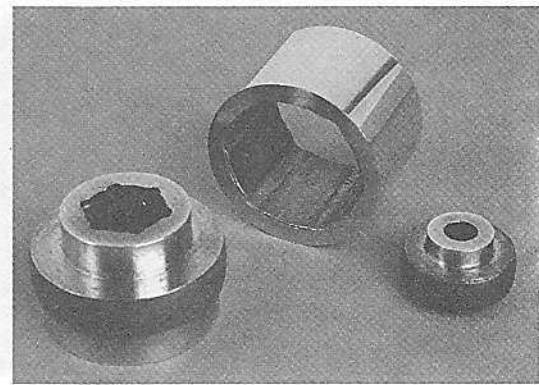
За счет применения гаек из материала БФГ-50М стало возможным уменьшить вес и габариты узлов трения скольжения в конструкциях винтовых механизмов, исключить их смазку и регламентное обслуживание.

Современные самолеты невозможно представить без использования в узлах трения фрикционных материалов, полученных методом порошковой металлургии. Такие материалы обеспечивают возможность превращения во фрикционном узле большого количества энергии в тепло и сохраняют при этом работоспособность для дальнейших многократных циклов торможения без существенного повреждения фрикционной пары [6].

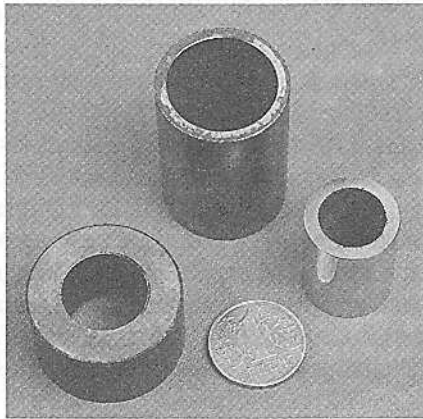
Фрикционные диски для тормозных и передаточных устройств представляют собой стальной каркас, обеспечивающий достаточную прочность детали, с припеченной к нему с одной или двух сторон металлокерамикой. Как правило, фрикционную металлокерамику изготавливают на основе железа или меди. В узлах трения самолетов "АН" применяют фрикционные материалы как на основе железа (ФМК-79), так и на основе меди (ФМКМ-1). Указанные материалы разработаны ВИАМ (Россия) и производятся в АНТК им. О.К. Антонова.



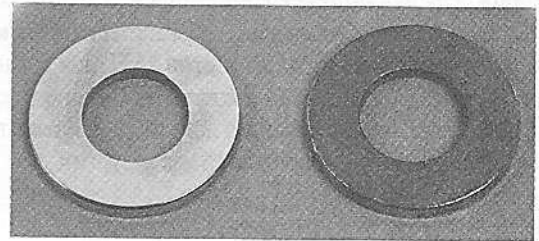
а



б



в



г

Рис. 2. Детали из материала БФГ-50М:  
а - гайки; б - ползуны; в - втулки; г - шайбы

Фрикционный материал ФМК-79 сохраняет свои эксплуатационные свойства при температуре на поверхности трения до 1000°C и объемном нагреве до 600°C, что обеспечивается за счет железной основы материала. Для устранения схватывания материала, а также повышения его теплопроводности в материал вводят до 10% масс. меди. Компонентами, выполняющими функции твердых смазок в материале, являются графит, нитрид бора и барит. Благодаря этим компонентам обеспечивается повышенное сопротивление материала заеданию за счет образования прогнivoзaдирной пленки на поверхности трения и предотвращается схватывание металлокерамики с материалом контргрела. Для повышения фрикционных свойств материала в состав шихты вводят добавки карбида кремния.

Плотность материала ФМК-79 составляет 5,5 г/см<sup>3</sup>, твердость HRF 80-105, коэффициент трения – 0,35.

Фрикционные диски из материала ФМК-79 (рис. 3, а) применяются, например, в противооборочном тормозе, предназначенном для затормаживания трансмиссии управления закрылками и предкрылками, а также в комбинированном приводе механизации крыла на самолетах "АН".

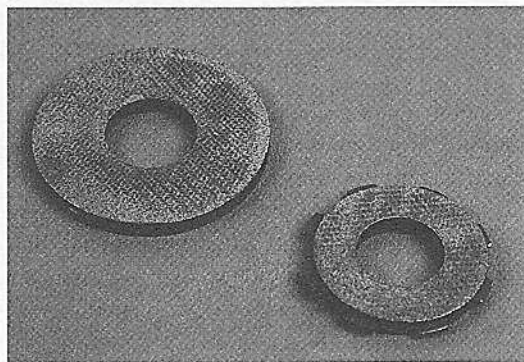
Как уже отмечалось, в качестве основы фрикционных материалов кроме железа также широко применяют медь.

Медь обладает высокой теплопроводностью, что обеспечивает хороший отвод тепла при трении. Порошок меди благодаря своей пластичности легко прессуется и не вызывает трудности при спекании [1].

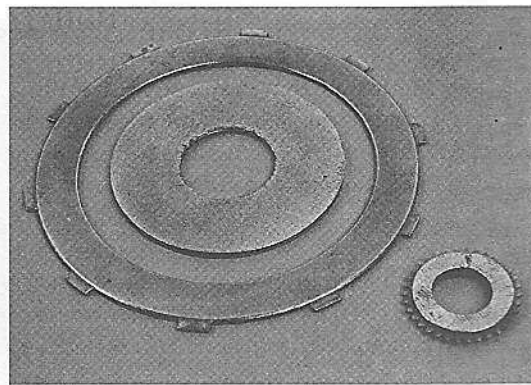
В фрикционном металлокерамическом материале на основе меди ФМКМ-1 в качестве твердой смазки содержится графит, свинец и олово, а в качестве фрикционных добавок – оксиды кремния и молибдена.

Свинец и олово являются компонентами, которые активно поглощают теплоту в процессе окисления или растворения, что имеет огромное значение для работы фрикционного материала во время резкого повышения температуры, например, при торможении. В этом случае происходит плавление свинца и олова с образованием жидкостной пленки на трущихся поверхностях, что предотвращает их схватывание. Кроме того, поскольку при работе фрикционных узлов скорость их резко возрастает, то за счет наличия в материале свинца и графита уменьшается разница между статическим и динамическим трением и сглаживаются пусковые характеристики муфт сцепления и тормозов.

После спекания детали из материала ФМКМ-1 имеют твердость HB 30-40, плотность – 7,5 г/см<sup>3</sup>, коэффициент трения – 0,30.



а



б

Рис. 3. Спеченные фрикционные диски из материалов ФМК-79 (а) и ФМКМ-1 (б)

Фрикционные диски из материала ФМКМ-1 (рис. 3б) используют в ограничительной муфте механизма, расположенного в креслах экипажа самолетов АН-70 и АН-140.

Таким образом, обеспечение требований по надежности и качеству узлов трения самолетов "АН" достигается как за счет совершенствования конструкции трибосистем, так и благодаря использованию новых материалов, в т.ч. создаваемых методом порошковой металлургии.

#### Литература

1. Степанчук А.Н., Билык И.И., Бойко П.А. Технология порошковой металлургии. – Киев: Выща школа. – 1989. – 416 с.
2. Ермаков С.С., Вязников Н.Ф. Металлокерамические детали в машиностроении. – Л.: Машиностроение. – 1975. – 230 с.

3. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение. – 1989. – 328 с.

4. Тенишев Р.Х. и др. Противообледенительные системы летательных аппаратов / Р.Х. Тенишев, Б.А. Строганов, В.С. Савин и др.; Под ред. к.т.н. Р.Х. Тенишева. – М.: Машиностроение. – 1967. – 320 с.

5. Семенченко В.П. и др. Технологические процессы получения деталей самолетов методом порошковой металлургии / В.П. Семенченко, С.Г. Кушнаренко, С.А. Бычков, О.Ю. Нечипоренко. Учеб. пособие, ХАИ. – Харьков. – 1992. – 62 с.

6. Федорченко И.М., Крячек В.М., Панаюти И.И. Современные фрикционные материалы. – Киев: Наукова думка. – 1975. – 336 с.

УДК 669.621

Шамарин Ю. Е.<sup>1</sup>, Штанько М.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Киевский государственный НИИ гидроприборов. Украина, Киев.

<sup>2</sup> ООО "Новокаховский электромашиностроительный завод". Украина, Новая Каховка

### РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ РАДИОГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ БУЕВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

#### Анотація

У статті описаний метод розрахунку напружено-деформованого стану деталей виробів морського приладобудування в процесі їх скидання та експлуатації. Виконано розрахунок для оцінки міцності гідро-приладів сферичної форми. Визначено вид покриття, що забезпечить стійку роботу виробів із заданими експлуатаційними характеристиками.

#### Abstract

In the article the method of estimate of the details of the sea instrument-making products is described in the

process of their throw off and exploitation. The firmness evaluation of the spherical hydrodevice is calculated. The kind of the covering with can provide the steady work of the products with the given operation characteristics is defined.

В изделиях морского приборостроения (радиогидроакустические буи) применяется достаточно много стальных деталей, механические характеристики которых оказывают существенное влияние на эксплуатационную надежность разработанных объектов.

В процессе изготовления стальные детали изделий морского приборостроения подвергаются различным видам