

В. Ф. Лабунец, канд. техн. наук, проф.,

Л. С. Братица, доц.,

Т. С. Климова, доц.,

Н. А. Медведева, канд. техн. наук, доц.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ – ОСНОВА РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТРИБОТЕХНИКИ

Национальный авиационный университет

Проведен обзор современного трибоматериаловедения и показана роль материалов и покрытий в решении проблемы повышения надежности и долговечности машин, механизмов и инструмента. Указаны пути создания покрытий триботехнического назначения.

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-техническими задачами. Трибология как наука и технология взаимодействия поверхностей, находящихся в относительном движении, а также связанные с этим явления и их практические следствия, в настоящее время признана жизненно важной для научно-технического прогресса. Основными ее составляющими частями являются трибоматериаловедение и триботехнология.

Трибоматериаловедение (триботехническое материаловедение) – это связующее звено между результатами многочисленных теоретических исследований в области трибологии и огромным объемом существующих знаний, составляющих научную основу триботехники. В проектировании, изготовлении и эксплуатации трибоузлов машин и механизмов, отвечающих современным требованиям, трибоматериаловедение и триботехнологии занимают ведущее место.

Значимость трибоматериаловедения в последние десятилетия неуклонно повышается. Это обусловлено тем, что трибоматериаловедение связано с различными сферами деятельности человека и, в первую очередь, с необходимостью обеспечения надежности и долговечности машин, механизмов, приборов, оборудования, инструмента, что невозможно без повышения износостойкости трущихся поверхностей. Особенно это касается космической и авиационной техники. С созданием новых

трибоматериалов на металлической основе неразрывно связано производство новых, более надежных, экономичных и комфортабельных самолетов Ан-70Т, Ан-140, Ан-148, Ан-158 и других. В связи с этим проблема создания новых материалов и покрытий триботехнического назначения является актуальной. Ее решение позволит повысить работоспособность узлов трения, более эффективно использовать сырье, экономить дефицитные металлы.

Цель работы – провести анализ современного состояния материалов триботехнического назначения.

Содержание и результаты исследований. В настоящее время трибоматериаловедение развивается в двух направлениях: 1) разработка новых материалов и совершенствование применяемых материалов; 2) разработка технологии поверхностного упрочнения и нанесение защитных покрытий, обладающих высокими трибологическими свойствами.

Большие успехи достигнуты в создании новых материалов на основе углерода, полимерных композиционных материалов, высокотемпературных, радиационных материалов триботехнического назначения, а также материалов аморфных, ультрадисперсных, нанокристаллических и многих других.

При создании новых материалов им необходимо придавать определенный уровень так называемой интеллектуальности, в частности, хотя и пассивной, но и эффективной реакции трибоматериалов на воздействие внешних факторов. Направленная интеллектуализация трибоматериалов повышает стабильность трибологических свойств за счет их модификации, а использование микро- и нано- технологий обеспечивает самодиагностирование и адаптацию их к внешним воздействиям.

Анализ надежности космических технических систем показывает необходимость повышенного внимания к проблемам трения, заедания (схватывания), изнашивания трущихся сопряжений. Важнейшими характеристиками узлов трения космических технических систем являются их трибологическая надежность и ресурс, трибологическая безопасность и предельное состояние [1].

Трибологическая надежность механических систем в условиях космоса имеет первостепенное значение, а методы обеспечения нормального их функционирования обусловлены

характерной особенностью окислительной среды, наличием вакуума, повышенной испаряемостью смазочных материалов, сублимацией, теплонпряженностью, высоким градиентом температур, наличием облучения, невесомостью, влиянием микрометеоритов, лунной пыли и др.

Высокой работоспособностью в этих условиях обладают узлы трения с твердой смазкой (дисульфидом и селенидом молибдена), композиционными материалами с наночастицами и др.

В тяжелых условиях контактного взаимодействия работает большое количество узлов трения авиационной техники. Так, например, фрикционные материалы в процессе эксплуатации должны выдерживать высокие удельные нагрузки (до 8 МПа), скорости скольжения (до 50 м/с) и температур, которые могут мгновенно повышаться до 1200° С. Во время торможения механическая энергия подвижных элементов переходит в тепловую, а затем рассеивается. Тепловое влияние параллельно с многократными циклическими нагрузками, нагреванием и охлаждением, термическими и силовыми деформациями, образованием градиентных температур существенно влияют на кинетику трения и изнашивания фрикционных материалов. В связи с этим к фрикционным материалам выдвигают требования. Основные из них такие: высокая фрикционная теплостойкость, достаточная величина и стабильность коэффициента трения, прирабатываемость, стойкость к схватыванию, высокая коррозионная стойкость, огнеопасность, достаточная механическая прочность, износостойкость, теплопроводимость и теплоемкость, технологичность, экономичность. Часто к фрикционным материалам выдвигаются дополнительные требования, связанные с масло- водостойкостью, бесшумностью в работе, стойкостью в арктических и тропических условиях, сопротивлением к термической усталости, образование трещин и др.

На сегодня этим требованиям уже не могут отвечать фрикционные материалы на основе азбеста, порошковые металлокерамические материалы, потому для работы в сверхтяжелых условиях трения используют углерод-углеродистые композиционные материалы, добытые на основе углеродной матрицы и углеродных волокнистых наполнителей.

Одним из важнейших преимуществ углеродных материалов есть их низкая масса. В случае их использования, например в самолетах класса Ил-96, экономится до 1,5 т полетной массы в сравнении с фрикционной металлокерамикой. Углеродные диски применяются в более чем 60% авиационных колес, которые эксплуатируются сегодня. Углеродные фрикционные материалы используют в спортивных и большегрузных автомобилях, а также в мотоциклах, высокоскоростном железнодорожном транспорте.

Для получения углеродных композиционных материалов используют технологии которые совершенствуются. Так, в Институте высоких температур РАН разработана технология совместной комплексной переработки природного газа и отходов растительного происхождения с получением водорода и чистых углеродных материалов – один из примеров реализации нового подхода к решению проблемы сокращения вредного влияния промышленного производства на экологию. В предлагаемой технологии в качестве углеродных газов вместо метана возможно использование сбросных горючих газов, сжигаемых в факелах, в том числе попутных нефтяных [2].

Одним из наиболее перспективных композиционных материалов являются керамические [3]. Многовариантность физико-механических и триботехнических свойств композитов, определяемая совокупностью характеристик матрицы и наполнителя, позволяет получать уникальные материалы, которые могут быть использованы в условиях трения без смазочного материала.

В настоящее время известны керамические материалы, содержащие в своем составе оксиды алюминия различных модификаций и другие примеси, полученные с помощью технологии микродугового оксидирования. Такие материалы обладают высокой износостойкостью, низким значением коэффициента трения в соответствующем диапазоне нагрузок, скоростей и сред [4]. Для расширения нагрузочного диапазона и обеспечения работоспособности оксидной композиции в условиях отсутствия смазочного материала в ее состав добавляют графитизированные частицы алмаза.

Исследование триботехнических свойств конструктивных композиционных алмазосодержащих материалов [3] показало, что

включение дисперсных частиц алмаза, а также их частичное полиморфное превращение в графит существенно улучшает антифрикционные свойства керамических материалов на основе оксида алюминия и позволяют обеспечить стабильность работы узла трения в условиях дефицита смазочного материала.

Особое внимание ученые-трибологи уделяют структурно-энергетической теории трения, впервые сформулированной Б.И. Костецким, ядром которого является поверхностная прочность и образование вторичных структур при трении. Вторичные структуры способствуют самоорганизации и структурной приспособляемости. Отметим, что в 70-х годах прошлого века работами П. Гленсдорфа, И. Пригожина, Г. Николиса было установлено явление и сформулирована теория самоорганизации, названная Г. Хакеном «синергетической» (1980 г).

Для использования в тяжело нагруженных узлах трения перспективными используются трансформационно-керамические и керамико-металлические материалы. Среди них особо выделяется керамика на основе частично стабилизированного оксидом иттрия тетрагонального поликристаллического диоксида циркония (Y-TZP) [4] и металлотермичные композиты WC-сталь 110Г13 [5]. В композите WC-сталь 110Г13 – релаксация контактных нагрузок за счет фазовых превращений $\gamma \rightarrow \alpha$ и $\gamma \rightarrow \epsilon$ в структурно неустойчивой связующей фазе. Следует отметить, что триботехнические характеристики этих материалов изучались при малых скоростях (до 1 м/с) в условиях абразивного изнашивания, а также при резании и шлифовании. При высоких скоростях скольжения (вплоть до 47 м/с) высокой износостойкостью обладают керамические материалы $ZrO_2 - Y_2O_3$, несмотря на высокие температуры в зоне трибоконтакта и происходящие вследствие этого высокотемпературные фазовые превращения. При этом имеется широкая область скоростей, которая соответствует практически «безизносному» трению [6]. Характерно, что измельчение верхних слоев поверхности сопровождается укрупнением фрагментов слоев под ними.

Трибоматериалы, способные к самоорганизации в определенных условиях трения, обладают высокой работоспособностью. Примером этому является новый

композиционный антифрикционный материал (СКАМ) на основе меди, разработанный в Институте проблем материаловедения НАН Украины [7]. При работе СКАМ в вакууме под нагрузкой трением происходит самоорганизация и адаптация его контактной поверхности к условиям работы благодаря трибосинтезу слоя материала, отличающегося от исходного структурой, фазовым и химическим составом, структурным состоянием и механическими свойствами, что и обеспечивает стабильную работоспособность при больших прижимных усилиях (до 29 МПа) в широком диапазоне скоростей скольжения (0,1 – 2 м/с).

Обеспечить надежную работу узлов трения в разнообразных условиях эксплуатации возможно при помощи современных технологических методов поверхностного упрочнения, которые открывают неограниченные возможности для создания защитных структур триботехнического назначения. Создание защитных структур на рабочих поверхностях деталей машин, механизмов и инструмента позволяет повысить их надежность и долговечность, продуктивность труда, уменьшить затрату черных и цветных металлов и как результат – сэкономить огромные материальные, энергетические и трудовые ресурсы.

Внедрению в производство технологических методов, которые обеспечивают получение защитных структур, предшествует моделирование работы узлов трения, установление влияния внешних факторов на его работоспособность, изучение процессов, которые развиваются на поверхностях трения, упрочненных исследуемыми покрытиями.

Последние годы характеризуются существенным прогрессом разработки новых методов модификации рабочих поверхностей с помощью бактерий [8].

Заслуживают внимания у физиков и материаловедов аморфные структуры с неупорядоченным размещением атомов, которые обеспечивают им такие изменения магнитных, электрических, механических, сверхпроводниковых и трибологических свойств, которые невозможно получить в материалах с кристаллической структурой [9]. Некоторые из этих свойств выявились очень важными как для научного, так и для практического использования. Научная и практическая ценность, такие как трибологические – еще не полностью раскрыты.

Анализ многочисленных исследований позволяет определить следующие основные способы создания защитных структур триботехнического назначения [10]:

- изменение структуры поверхностного слоя легированием его различными химическими элементами;
- изменение структуры поверхностного слоя внешним механическим воздействием без изменения его химического состава;
- нанесение на поверхность трения покрытий;
- комбинация перечисленных выше методов.

Широкое внедрение технологических методов получения структур триботехнического назначения будет содействовать решению важных народнохозяйственных задач, связанных с экономией энергии, снижением материалоемкости изделий, повышением продуктивности труда, улучшением экологии.

Выводы

В настоящем обзоре в самой общей форме рассмотрен сравнительно ограниченный круг триботехнических материалов, в основном используемых сейчас в промышленности.

Некоторые новые триботехнические материалы не раскрыты полностью: одни из-за ограниченности объема обзора, а другие – в связи с недостаточностью сведений об их свойствах и перспективах применения.

Список литературы

1. *Дроздов Ю.Н. и др.* Трибология в космосе/ Ю.Н. Дроздов, Н.М. Наумов, М.А. Тананов // Трение и смазка в машинах и механизмах, 2009. – № 2. – С.41–46.

2. *Новый композиционный углеродный материал: технологии и перспективы* / В.В. Зайченко, В.В. Косов и др. // Сталь, 2008. –№ 4. – С.77–79.

3. *Болотов А.Н. и др.* Анализ работы трибосопряжений на основе керамических алмазосодержащих материалов /А.Н. Болотов, В.В.Новиков, О.О.Новиков // Трение и износ, 2006. – Т.26.–№3.–С.279–284.

4. *Великосельская Н.Д.* Повышение долговечности деталей узлов трения подводного нефтепромышленного оборудования посредством поверхностного упрочнения методом микродугового оксидирования // Дис. Канд. техн. наук. – М.: МИНИГ, 1989. – 190с.

5. *Кульков С.Н.* Карбидо-стали на основе карбидов титана и вольфрама / С.Н. Кульков, С.Ф. Гнусов. – Томск, 2006. –240 с.

6. *Кульков С.Н. и др.* Особенности процессов изнашивания керамических и керамики-металлических композитов в условиях высокоскоростного сухого скольжения по стали /С.Н.Кульков,Н.Л. Савченко, С.Ф.Гнюсов // Порошковая металлургия, 2009. – № ½. – С. 34–35.

7. *Структурные* и фазовые превращения в зоне трибосинтеза самосмазывающегося композиционного материала на основе меди / А.Г. Косторнов, О.И. Фушич, Т.М. Чевычелова и др. // Порошковая металлургия, 2009. – № 5/6 – С.139–146.

8. *Микробная* модификация поверхности материалов /А.П.Кудрин, В.Ф. Лабунец, В.Г.Лазарев и др. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2005. –№5/1 (17).–С.68–75.

9. *Золотухин И.В.* Физические свойства аморфных металлических материалов. – М.: Металлургия, 1986. –176 с.

9. *Лабунец В.Ф.* Тенденції створення захисних покриттів триботехнічного призначення // Проблеми тертя та зношування: Наук. техн. збірн. – К.:НАУ, 2010. – Вип. 45. – С.107-118.

Лабунец В.Ф., Братиця Л.С., Климова Т.С., Медведева Н.А. **Матеріалознавство – основа розвитку сучасної триботехніки**// Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 53. – С.34–41.

Проведений огляд сучасного трибоматеріалознавства і показана роль матеріалів та покриттів у вирішенні проблеми підвищення надійності та довговічності машин, механізмів та інструменту. Вказані шляхи створення покриттів триботехнічного призначення.

Список літ.: 9 найм.

Materials science - the basis of the development of modern tribotechnics

The review of modern tribological science of materials has been done and the part of the materials and coatings for deciding the problem of improving reliability and life of machines, mechanisms and tools has been shown. The ways of tribological coatings developing have been specified.

Стаття надійшла до редакції 14.06.10