

практически непригодными для эксплуатации при удельных нагрузках свыше 60 МПа.

Выводы. Предложенный метод трибомодифицирования газотермических покрытий позволяет повысить триботехнические характеристики рабочих поверхностей деталей узлов трения скольжения, эксплуатирующихся при высоких удельных нагрузках.

Литература

1. Формирование износостойких поверхностных структур и механизм фрикционного разрушения при трении в среде смазочного материала, модифицированного ультрадисперсными алмазографитовыми добавками. Ч. 1. Триботехнические свойства / П.А. Витязь [и др.] // Трение и износ. – 2006. – Т. 27. – № 1. – С. 61 – 68.
2. Камко, А.И. Технология формирования антифрикционных слоев на рабочих поверхностях шарнирных сопряжений / А.И. Камко // Вестник Гомельского гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2007. – № 3. – С. 66 – 74.
3. Белоцерковский, М.А. Структурные аномалии в стальных газотермических покрытиях и возможности их использования / М.А. Белоцерковский // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – № 10. – С. 39 – 44.

УДК 621.89

ОСОБЕННОСТИ ФРИКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НАЛИЧИИ НАНОСТРУКТУРНЫХ КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И НАНОСТРУКТУРНЫХ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ

Н.К. Толочко

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
Минск*

Введение. Можно выделить два основных направления развития нанотрибологии. Первое направление связано с исследованием фрикционных процессов, характеризующихся наличием нанорельефных контактирующих поверхностей, а также нанотолщинных смазочных слоев [1, 2]. Особенности таких процессов, типичных для наноэлектромеханических систем, определяются атомно-молекулярным взаимодействием поверхностей, контактирующих наночастицами (включая единичные наноконтакты) и находящихся под малой нагрузкой. Второе направление связано с исследованием фрикционных процессов, характеризующихся наличием наноструктурных контактирующих поверхностей, а также наноструктурных смазоч-

ных слоев. Такие процессы могут иметь место в различных узлах трения, в том числе содержащих поверхности, которые контактируют макро/микро-участками, обладают макро/микрорельефом и находятся под большой нагрузкой, а также содержащих макро/микротолщинные смазочные слои.

Нанотрибологические исследования, проводимые в обоих направлениях, тесно взаимосвязаны. Это обусловлено тем, что фрикционное взаимодействие нанотел является частным случаем фрикционного взаимодействия макро/микротел, контактирующие поверхности которых содержат множество макро-, микро- и нанонеровностей. Как следствие, знание механизмов фрикционных процессов на наноуровне позволяет более полно и глубоко изучить механизмы этих процессов на макро/макроуровне.

Настоящее сообщение посвящено краткому анализу особенностей фрикционных процессов, происходящих при наличии наноструктурных контактирующих поверхностей и наноструктурных смазочных слоев.

Наноструктурные контактирующие поверхности обычно формируются из напокристаллических (напозернистых) и наноконпозиционных (матричных наноармированных) материалов [3].

Твердые сплавы WC-Co изнашиваются вследствие пластического деформирования поверхности абразивом, а также выдавливания Co-связки под действием абразива и последующего выкрашивания WC-зерен. С уменьшением WC-зерен до нанометровых размеров увеличивается твердость зерен и уменьшается толщина межзеренной Co-прослойки, что приводит к уменьшению пластичности и затрудняет вырывание зерен при износе. В итоге износостойкость сплавов повышается в 2 раза [4]. Формирование в титане и его сплавах нанозернистой структуры повышает их прочность, снижает адгезионную составляющую коэффициента трения, а также уменьшает склонность к схватыванию (налипанию, сварке), которая типична для них при наличии крупнозернистой структуры [5].

Алюминиевые сплавы, упрочненные керамическими наночастицами (SiC, B₄C), обладают более высокой износ- и задиростойкостью, чем матричные сплавы [6]. Износостойкость стали повышается при нанесении покрытий из Ni-Cr-сплавов, содержащих наночастицы Al₂O₃ [7]. Включение наноалмаза в структуру тонких Ag-покрытий обеспечивает повышение их износостойкости при сохранении стабильных электрофизических свойств, что важно при их использовании для изготовления скользящих контактов микронанозлектронных приборов [8]. Полимерные матричные наноконпозиции, наполненные наночастицами глинистых минералов, металлов и их соединений, а также наноалмазами, фуллеренами, углеродными нанотрубками, имеют повышенную износостойкость, что объясняется локальным структурированием полимеров в окрестности наночастиц [9, 10].

Наноструктурные смазочные слои обычно формируются на основе жидких смазочных материалов, модифицированных наночастицами, т.е. представляют собой наносuspensions [3].

Модифицирование индустриального масла наноалмазами приводит при малых давлениях к усиленному изнашиванию стали, что ускоряет приработку трибосопряжений, а при больших – к повышению твердости и трещиностойкости за счет образования нанозернистой структуры приповерхностного слоя в результате интенсивного пластического деформирования под действием наноалмазов [11]. Добавка нанопорошков Си-сплава к индустриальному маслу вызывает повышение пластичности стали при сохранении высокой твердости за счет формирования Си-нанопрослоек по границам зерен в результате зернограничной диффузии [12]. Введение в моторные и трансмиссионные масла нанопорошков различных металлов и их соединений приводит к повышению износостойкости стальных деталей в различных видах узлов трения, что объясняется взаимодействием наноконфигуров с трущимися поверхностями с образованием на поверхностях в местах точечных контактов тонких пленок, предотвращающих непосредственный контакт поверхностей [13].

Введение в индустриальное масло силикатных нанопорошков улучшает температурные характеристики масла и расширяет диапазон рабочих температур [14], что связывается со структурированием масла под влиянием наночастиц [15]. Модифицирование моторных и трансмиссионных масел, а также пластичных смазок алмазографитовыми и сажевыми наночастицами улучшает антифрикционные и противоизносные свойства смазочных материалов [16]. Аналогичное улучшение противоизносных свойств моторных масел наблюдается при их модифицировании сажевыми наночастицами, а также углеродными нанотрубками [17].

Выводы. Применение деталей и смазочных материалов с наноструктурными характеристиками позволяет существенно улучшить условия работы узлов трения. Дальнейшее расширение их применения требует более глубокого изучения особенностей их влияния на фрикционные процессы.

Литература

1. Дедков, Г.В. Панотрибология: экспериментальные факты и теоретические модели / Г.В. Дедков // УФН. – 2000. – Т. 170, № 6. – С. 585 – 618.
2. Буяновский, И.А. Нанотрибология: некоторые тенденции развития / И.А. Буяновский, М.М. Хрущев, В.А. Левченко // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2008. – № 1. – С. 39 – 40.

3. Анищик, В.М. Наноматериалы и нанотехнологии / В.М. Анищик [и др.]: под ред. В.Е. Борисенко, И.К. Толочко. – Минск: Изд. центр БГУ, 2008. – 375 с.
4. Прожега, М.В. Влияние размеров зерна WC на износостойкость твердых сплавов WC-Co / М.В. Прожега // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 5. – С. 42 – 46.
5. Триботехнические характеристики титана с ультрамелкозернистой структурой / Л.П. Шустер [и др.] // Трение и износ. – 2005. – Т. 26, № 2. – С. 208 – 214.
6. Трибологические характеристики алюминоматричных композиционных материалов, упрочненных наноразмерными наполнителями / Т.А. Чернышева [и др.] // Трение и износ. – 2005. – Т. 26, № 4. – С. 446 – 450.
7. Алисин, В.В. Наноструктурные технические кристаллы и керамики для узлов трения / В.В. Алисин // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 9. – С. 21 – 27.
8. Влияние режимов электролиза на субструктуру композитов серебро – ультрадисперсный алмаз / А.А. Хмыль [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2001. – Т. 45, № 6. – С. 119 – 121.
9. Струк, В.А. Наноконпозиционные полимерные материалы и технологии / В.А. Струк, В.И. Кравченко // Новые ресурсосберегающие технологии и композиционные материалы. – М.: Энергоатомиздат; Гомель: БелГУТ, 2004. – С. 400 – 513.
10. Песецкий, С.С. Триботехнические свойства наноконпозитов, получаемых диспергированием наполнителей в расплавах полимеров / С.С. Песецкий, С.П. Богданович, Н.К. Мышкин // Трение и износ. – 2007. – Т. 28, № 6. – С. 500 – 524.
11. Формирование износостойких поверхностных структур и механизм разрушения при трении в среде смазочного материала, модифицированного ультрадисперсными алмазографитовыми добавками. Ч. 1. Триботехнические свойства / П.А. Витязь [и др.] // Трение и износ. – 2006. – Т. 27, № 1. – С. 61 – 68.
12. Формирование нанокристаллической структуры на поверхности трения в присутствии нанопорошков сплавов меди в смазочном материале / Л.В. Золотухина [и др.] // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 3. – С. 7 – 12.
13. Сафонов, В.В. Наноразмерные добавки к смазочным материалам в условиях их моделирования / В.В. Сафонов [и др.] // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2008. – № 2. – С. 8 – 10.
14. Влияние высокодисперсных органоминеральных наполнителей на температурные характеристики смазочных композиций / Е.П. Волнянко [и др.] // Трение и износ. – 2006. – Т. 27, № 2. – С. 232 – 235.
15. Влияние внешних воздействий и процессы структурообразования в смазочных маслах / В.Г. Савкин [и др.] // Трение и износ. – 2007. – Т. 28, № 6. – С. 634 – 639.
16. Терентьев, В.Ф. Применение смазочных композиций с углеродосодержащими ультрадисперсными добавками в приводах и трансмиссиях транспортных машин и технологического оборудования / В.Ф. Терентьев // Мобильная техника. – 2004. – № 3. – С. 41 – 45.
17. Триботехнические характеристики жидких смазочных материалов с добавками углеродных наночастиц / И.К. Толочко [и др.] // Техника и технологии: инновации и качество. Матер. междунар. науч.-практ. конф. – Барановичи: БарГУ. – 2007. – С. 366 – 368.

МОРФОЛОГИЯ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМ Ni-Ti, (Ni-Ti)+(Ti-C) и Ni-Cr-Ti, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛ СВЧ

И.В. Мурашова, А.В. Грипкин, И.Л. Поболь

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск

Введение. Одними из эффективных материалов триботехнического назначения являются металлические порошковые материалы, получаемые спеканием из смесей, содержащих различные функциональные добавки (антизадирные, износостойкие, фрикционные и др.) [1]. Высокие механические свойства материалов обеспечиваются введением в шихту карбидов, оксидов, нитридов. Морфология таких композиций после спекания представляет собой упругопластичную матрицу-основу с равномерно распределенными износостойкими включениями, которые воспринимают нагрузку, а матрица распределяет ее по периметру поверхности образца.

Создание матрично-наполненных композиций методами порошковой металлургии имеет ряд недостатков – отсутствие взаимодействия матрицы и наполнителей или их усиленная степень взаимной диффузии, длительность спекания при высоких температурах. Альтернативный принцип создания порошковых фрикционных материалов – самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) [2]. Метод СВС основан на способности металлических порошковых материалов воспламениться при локальном нагреве с дальнейшим распространением волны горения по всему объему реагирующей системы. Во время синтеза происходит химическое взаимодействие с образованием карбидов, нитридов, интерметаллидов и др.

Цель работы – изучение морфологии и трибологических свойств материалов систем 44Ni-56Ti, 0,8(Ni+Ti)+0,2(Ti-C), 0,7(Ni+Ti)+0,3(Ti-C), 55(Ni-Cr)-0,45Ti, полученных методом СВС с иницированием процесса синтеза электронным лучом.

Методики исследований. В качестве исходных материалов использовались порошки титана, никеля, никрома и сажа. Порошки предварительно сушили в вакуумном термостатированном шкафу при температуре 100 °С не менее 10 ч. Смешивание компонентов проводили в керамической ступке с последующим перемешиванием в смесителе «Turbula» в течение 4 ч. С помощью ручного пресса прессовали пластины толщиной 3 – 5 мм диаметром 10 мм.