



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук

Межведомственный научный совет по трибологии

Ассоциация инженеров-трибологов России

*при информационной поддержке журналов
«Трение и износ», «Проблемы машиностроения и надежности машин»,
«Сборка в машиностроении, приборостроении» и «Lubricants»*

ТРИБОЛОГИЯ – МАШИНОСТРОЕНИЮ

**XII Международная научно-техническая конференция,
посвященная 80-летию ИМАШ РАН**

Сборник трудов конференции

*Proceedings of XII International scientific conference
“Tribology for Mechanical Engineering”
dedicated to the 80th anniversary of IMASH RAS*

19-21 ноября 2018 года
Москва

работ были кандидатские и докторские диссертации: В.Г. Павлова, Б.М. Силаева, В.М. Жучкова, С.В. Усова и др.

Ю.Н. Дроздов разработал научные основы ресурсного проектирования механических систем по критерию износа, им впервые введено понятие трибологической надежности узлов трения, функционирующих в экстремальных условиях. По этим направлениям ряд его учеников защитили диссертации (О.Г. Ромашкин, С.Л. Гафнер, А. Наконечны, Г.И. Туманишвили, В.Г. Арчегов и др.).

Большое внимание Ю.Н. Дроздов уделял поиску и разработке новых поверхностных упрочняющих технологий, созданию композиционных износостойких и антифрикционных покрытий, оптимизации конструкций узлов трения в т.ч. выполненных из технической керамики. Защищены по этому направлению докторские и кандидатские диссертации В.Н. Пучковым, В.В. Широковым, П.П. Усовым, П.В. Поляковым, В.Н. Артамоновым, и другими.

Результаты его научно-исследовательских работ использованы в авиационно-космической технике, ядерных реакторах, энергетическом и транспортном машиностроении, при создании орбитальных станций и планетоходов, устройств и оборудования для исследования космоса, Луны, Марса и других планет.

По указанным темам защищены докторские и кандидатские диссертации: В.В. Измаилов,

В.И. Мудряк, С.И. Дынту, В.Ф. Чебан, В.В. Макаров, В.И. Егоров, Л.О. Вайсфельд и другие. В последние годы Ю.Н. Дроздов успешно работал в области создания уникальных сейсмоизолирующих фрикционных качающихся подшипников скольжения для нефтегазовых морских платформ.

Под руководством Ю.Н. Дроздова были исследованы трибологические процессы в стрелково-пушечном оружии (д.т.н. Ю.П. Платонов, д.т.н. В.К. Зеленко, д.т.н. С.В. Усов и другие).

Всего под руководством и при консультациях Ю.Н. Дроздова защищено около 40 кандидатских и докторских диссертаций, во многих научных работах использованы его идеи и методы. Ю.Н. Дроздов читал лекции, выступал с докладами во многих ВУЗах СССР, России, СНГ и за рубежом (США, Англия, Германия, Китай, Корея, Чехословакия и др.). Он являлся участником и организатором ряда международных конференций по проблемам трибологии.

Таким образом, основателем трибологической школы ИМАШ был основатель самого ИМАШ, академик Е.А. Чудаков. Представленные в докладе научные школы М.М. Хрущева, А.И. Петрусевича, И.В. Крагельского, С.В. Пинегина, А.К. Дьячкова и Ю.Н. Дроздова в определённой степени развивали идеи Е.А. Чудакова. Теперь никого из плеяды блестящих учёных уже нет. Но школы, основанные ими продолжают жить.

ВЛИЯНИЕ ТИПА КЕРАМИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ НА ФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ AMg6/C60

¹Аборкин А.В., ²Евдокимов И.А., ¹Скрябин И.О., ¹Паникин А.Е., ³Архипов В.Е.

E-mail: aborkin@vlsu.ru

¹ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, РФ;

² Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов, Троицк, РФ;

³ Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, РФ.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований фрикционных свойств гибридных покрытий на основе AMg6/C60, содержащих керамические частицы Al₂O₃ или AlN. Установлено, что использование в качестве наполнителя AlN позволяет снизить коэффициент трения по сравнению с Al₂O₃. Анализ дорожек трения показывает, что контактное взаимо-

INFLUENCE OF TYPE OF CERAMIC PARTICLES ON FRICTION PROPERTIES OF GAS DYNAMIC COATING ON AMg6/C60 BASIS

Aborkin A.V., Evdokimov I.A., Skryabin I.O., Panikin A.E., Arkhipov V.E.

The paper presents the results of experimental studies of the frictional properties of hybrid coatings based on AMg6 / C60, containing ceramic particles of Al₂O₃ or AlN. It is established that the use of AlN as a filler allows to reduce the coefficient of friction in

действие осуществляется с образованием третьего тела.

Ключевые слова: гибридные покрытия, коэффициент трения, твердость.

Процесс формирования порошковых покрытий - холодное газодинамическое напыление (ХГН), впервые был разработан в середине 80-х годов в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН [1].

При ХГН покрытий частицы напыляемого порошка воздействуют на подложку и подвергаются интенсивной пластической деформации, которая, разрушая поверхностные пленки, ведет к образованию ювенильных поверхностей. Дальнейший конформный контакт, как частиц напыляемого порошка с подложкой, так и друг с другом, в условиях высокого локального давления, способствует образованию адгезионно-когезионных связей между ювенильными поверхностями, формируя покрытие.

Нужно отметить, что главное преимущество и принципиальное отличие данного процесса от других методов напыления (плазменного напыления, высокоскоростного газопламенного напыления и др.), заключается в том, что процесс ХГН является твердофазным. Это обуславливает его эффективное применение при создании покрытий из нанокристаллических порошков.

Метод механического синтеза/размола и его вариации нашли широкое распространение для получения нанокристаллических или наноконпозиционных порошков [2,3]. При механическом синтезе компонентов исходной шихты протекают процессы, включающие интенсивное пластическое деформирование, диспергирование и пластическую сварку частиц, как матричного материала, так и наполнителя. Это обеспечивает формирование нанокристаллической структуры матричного материала и равномерное распределение в ней частиц наполнителя [4].

Одним из путей повышения уровня трибологических свойств является создание гибридных композитов, для которых характерно использование двух или более типов наполнителей [5-9]

Цель данной работы состоит в изучении влияния типа керамических частиц (Al_2O_3 или AlN) на трибологические свойства гибридных покрытий на основе AMg6/C60, полученных газодинамическим напылением.

Порошок для холодного газодинамического напыления был получен методом механического синтеза в шаровой планетарной мельнице за два технологических передела. На первом переделе [10] был получен наноконпозиционный порошок AMg6/C60. На втором переделе к полученному наноконпозиционному порошку добавляли 50 вес.% Al_2O_3 или AlN (здесь и далее указано содержание

comparison with Al_2O_3 . Analysis of the friction tracks shows that contact interaction is carried out with the formation of a third body.

Keywords: hybrid coating, coefficient of friction, microhardness

керамических частиц в порошке) и продолжали обработку.

В результате были получены порошки, представляющие собой механическую смесь, состоящую из агломератов и керамических частиц. Агломераты представляют собой частицы наноконпозиционного матричного материала, содержащего C60, и внедренные в них, а также расположенные на поверхности, керамические частицы.

Полученные порошки напыляли на подложки из листа Ст08кп. Для напыления использовали установку холодного газодинамического напыления ДИМЕТ-404. Напыление осуществляли в два прохода при температуре потока воздуха 270°C, расстоянии от среза сопла до поверхности подложки 10 мм, скорости перемещения сопла относительно поверхности 10 мм/с, коэффициенте перекрытия ~63%.

Изучение микроструктуры покрытий проводили на поперечных шлифах с помощью инвертированного микроскопа RAZTEK MRX9-D.

Микротвердость покрытий измеряли на поперечных шлифах методом Виккерса с помощью микротвердомера Shimadzu HNV-2 при нагрузке 245 мН и выдержке 10 с.

Коэффициент трения скольжения f определялся на воздухе в условиях контактного взаимодействия образцов с покрытиями и шарика из стали ШХ15 с помощью трибометра CSM INSTRUMENTS. Испытания проводили при нагрузке 10 Н с постоянной скоростью скольжения 0,05 м/с. Путь трения во всех опытах составил 100 м.

Изучение поверхности трения после испытаний проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta 200-3D.

Металлографические исследования шлифов показывают, что, в не зависимости от типа керамических частиц, сформированные покрытия достаточно плотные с равномерно распределенными по толщине покрытия керамическими частицами.

Анализ микротвердости сформированных покрытий показывает, что использование в качестве наполнителя частиц Al_2O_3 позволяет добиться большей микротвердости покрытия 328 HV. В то время, как при использовании AlN микротвердость составляет 306 HV.

На рис. 1 представлены экспериментальные данные об изменении f от пути трения для гибридных покрытий.

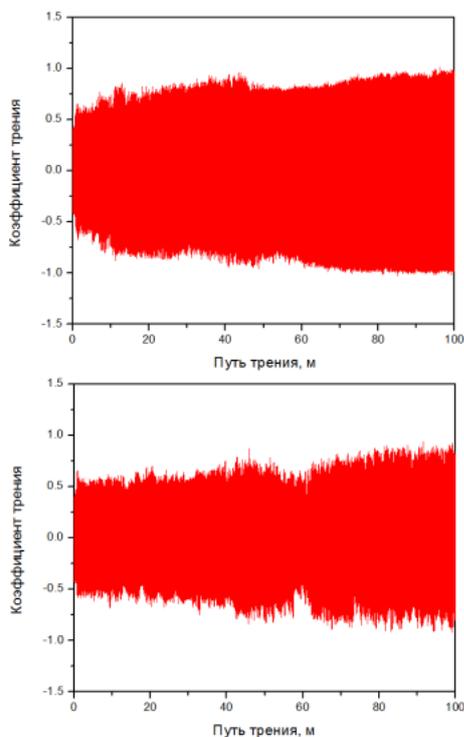


Рис. 1. Изменение коэффициента трения гибридных покрытий, содержащих Al_2O_3 и AlN соответственно

В ходе анализа полученных данных установлено, что покрытиям, содержащим AlN , соответствует $f = 0,39$. Для покрытий, содержащих Al_2O_3 , f составил 0,47.

Анализ СЭМ-изображений дорожек износа (см. рис. 2), позволил выявить особенности, характеризующие механизм износа гибридных покрытий в условиях сухого трения при контактном взаимодействии с термообработанной сталью.

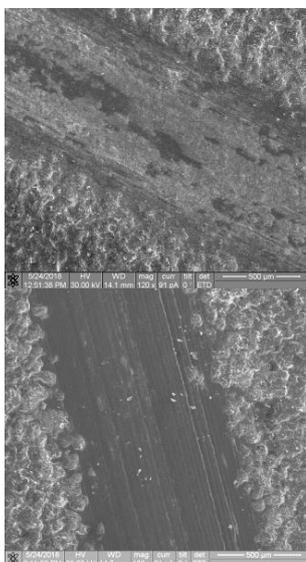


Рис. 2. СЭМ-изображения дорожек износа гибридных покрытий, содержащих Al_2O_3 и AlN соответственно

К данным особенностям следует отнести формирование борозд сдвигов с периодически чередующимися микроскопическими гребнями. Появление переходных слоев, содержащих микроразмерную и наноразмерную механическую смесь. Возникновение трещин в направлении, перпендикулярном скольжению и с последующей деламинацией контактной поверхности гибридного покрытия. Перечисленные особенности свидетельствуют о том, что контактное взаимодействие осуществляется с образованием третьего тела, которое способствует снижению коэффициента трения и повышению износостойкости.

- [1] Alkhimov A.P., Kosarev V.F., Papyrin A.N. Method Cold Gas-Dynamic Deposition // Soviet Physics Doklady. – 1990 (35), 1047-1049.
- [2] Suryanarayana C. Mechanical alloying and milling // Progress in Materials Science. – 2001 (46), 1-184.
- [3] Suryanarayana C. Nanocrystalline materials // International Materials Reviews. – 1995 (40), 41-64.
- [4] Аборкин А.В., Евдокимов И.А., Ваганов В.Е., Алымов М.И., Абрамов Д.В., Хорьков К.С. Влияние режима механической активации на морфологию и фазовый состав наноструктурированного композиционного материала $Al-2Mg-nC$ // Российские нанотехнологии. – 2016, Т. 11, № 5-6, 30-36.
- [5] Aruri D., Adepu K., Adepu K., Bazavada K. Wear and mechanical properties of 6061-T6 aluminum alloy surface hybrid composites [(SiC + Gr) and (SiC + Al_2O_3)] fabricated by friction stir processing // J. Mater. Res. Technol. – 2013 (2), 362-369.
- [6] Z.M. Du, J.P. Li, Study of the preparation of $Al_2O_3/SiCp/Al$ composites and their wear resisting properties // J. Mater. Process. Technol. – 2004 (151), 298-301.
- [7] Alizadeh A., Abdollahi A., Biukani H. Creep behavior and wear resistance of Al 5083 based hybrid composites reinforced with carbon nanotubes (CNTs) and boron carbide (B4C) // Journal of Alloys and Compounds. – 2015 (650), 783-793.
- [8] Аборкин А.В., Алымов М.И., Архипов В.Е., Хренов Д.С. Формирование гетерогенных порошковых покрытий с двухуровневой микро- и наноконпозиционной структурой в условиях газодинамического напыления // Доклады академии наук. – 2018, Т. 478, №6, 637-641.
- [9] Aborkin A.V., Sobol'kov A.V., Elkin A.I., Arkhipov V.E. Structural phase composition and effectiveness of gas-dynamic spraying of hybrid coatings based on $AlMg_2$ nanocrystalline matrix reinforced with graphene-like structures and micro-size corundum // J. Phys.: Conf. Ser. – 2018 (951), 012010.
- [10] Аборкин А.В., Алымов М.И., Киреев А.В., Елкин А.И., Соболев А.В. Механически синтезированный композиционный порошок на основе сплава $AlMg_2$ с добавками графита: гранулометрический и структурно-фазовый состав // Российские нанотехнологии. – 2017, №7-8, 66-70.