

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ В КАЧЕСТВЕ ПРИСАДОК К СМАЗЫВАЮЩИМ МАТЕРИАЛАМ ПРИ ТРЕНИИ И ИЗНАШИВАНИИ МЕТАЛЛОВ (обзор)

И.В. Харченко

Крымский инженерно-педагогический университет,
г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация

В данной работе проведён обзор трудов отечественных и зарубежных учёных в области применения ультрадисперсных композитов в качестве присадок смазывающих материалов при трении и изнашивании металлов. Рассмотрен ассортимент нанопорошков применяемых при создании нанофазных и ультрадисперсных композитных материалов. Представлены направления разработки смазочных составов различного содержания. Указаны трудности, возникающие при изготовлении ультрадисперсных композитов, затронуты вопросы их агрегатирования, сложности стабилизации и равномерного распределения в объёме смазочного материала. Приведены результаты триботехнических испытаний смазочных суспензий, определяющих область применения ультрадисперсных композитов в качестве присадок при трении и изнашивании металлов.

Ключевые слова: ультрадисперсные композиты, нанопорошки, присадки, трибосистемы, смазки

APPLICATION OF NANOCOMPOSITES AS THE ADDITIVES OF LUBRICANTS IN FRICTION AND WEARING OF METALS

I. V. Kharchenko

Crimean Engineering and Pedagogical University,
Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation

In this paper we conducted a review of works of Russian and foreign scientists in the field of application of ultrafine composites as additives lubricants in friction and wear metals. Considered range of nanopowders used to create ultrafine Nanophase and composite materials. Showing the direction of the development of lubricant compositions of various contents. Are designated difficulties arising in the manufacture of ultradisperse composites touched upon issues their aggregation, the complexity of stabilization and even distribution in the amount of lubricant.

Keywords: ultradispersed composites, nanopowders, additives, tribosystem, lubricants

E-mail: ilya.kharchenko.33@mail.ru

Согласно статистическим данным, свыше 85 % механизмов и устройств, работающих в условиях трения, теряют работоспособность: направляющие, валы, муфты, подшипники, зубчатые колёса и т.д. Величина износа зависит от условий их эксплуатации, а применение в смазочных материалах ультрадисперсных композитных присадок может существенно улучшить долговечность и надежность деталей и узлов [1].

Новый класс композиционных материалов – ультрадисперсные композиты или нанокompозиты, определяются как материалы, состоящие из двух или большего числа фаз, при этом одна из фаз имеет средний размер в нанодиапазоне (до 100 нм), или обладающие повторяющимися наноразмерными промежутками между различными фазами [2].

При создании нанофазных и ультрадисперсных композитных материалов применяется обширный ассортимент нанопорошков. К их числу относятся [3]:

- фуллерены и фуллереноподобные структуры, ультрадисперсные металлы и их оксиды;
- наноалмазы и ультрадисперсный алмазоподобный графит – шихта;
- сиалоны, плазмо- и механического синтеза;
- нанокерамики на базе нитридов и оксинитридов.

Известно, что присадки для смазочных масел модифицируются химическими соединениями, способными взаимодействовать с поверхностью контртела с образованием слоёв, обладающих малым сопротивлением сдвигу и низким коэффициентом трения [4].

Ведутся разработки смазок с наномодификаторами разного содержания [5]:

- добавление углеродсодержащих соединений с высокой адсорбционной активностью способствует появлению слоёв из упорядоченных структур. При воздействии высоких температур и напряжений сдвига они проявляют устойчивость к распаду;
- включение нанокластерных структур на базе углерод – металл способствует осуществлению микрорезания, удалению повреждённого слоя на поверхности трения и появлению ювенильной поверхности;
- использование нанопорошков для создания присадок, меняющих свои свойства на схожие со смазкой при воздействии эксплуатационных факторов и вследствие трибохимических превращений;
- использование наномодификаторов как разносчика активных компонентов.

Изготовление ультрадисперсных композитов осложнено склонностью нанопорошков на предварительном этапе приготовления к агломерации в связи с их высокой поверхностной энергией. При этом происходит неравномерное распределение нанопорошков по всему объёму. Полученные композиционные материалы не только лишены свойств, ожидаемых от введения ультрадисперсных порошков (УДП), но также являются гетерогенным материалом с ухудшенными физическими и механическими характеристиками. Это объясняет растущий интерес к методам стабилизации [2, 6].

Из различных литературных источников известно множество методов стабилизации УДП [7–11], таких как пассивация и стабилизация коллоидных растворов, использование инкапсулирующих (окутывающих) веществ и т.д.

Для устранения агломерации частиц в разбавленных суспензиях можно применить электростатическое отталкивание [12]. Благодаря введению электролита, создается двойной электрический слой, что предотвращает возникновение агломерации. Силы электростатического отталкивания превосходят силы притяжения Ван-дер-Ваальса. В результате получают оксиды УДП. При необходимости, посредством их температурной обработки в восстановительной среде можно получать металлические УДП.

Авторы [13] рассматривают стабилизацию УДП органическими пигментами и полиакрилатами натрия или калия. В дистиллированной воде готовят раствор стабилизатора. Металлические частицы УДП выделяются в раствор путём химических или электрохимических реакций в ионной и / или атомарной форме. Частицы, покрытые слоем стабилизирующих молекул, не теряют своих свойств в системе вода – стабилизатор – частица в течение не менее 12 месяцев.

Ультрадисперсный порошок алюминия широко применяют для получения композиционных материалов [14, 15]. Избежать агломерации частиц УДП можно в процессе их образования. Это возможно за счёт оболочек с более высокой температурой плавления.

В работе [16] представлено исследование возможности разделения частиц УДП-компонентов агломератов ультразвуком в спирте. Размер получаемых частиц колеблется в пределах 10 нм.

Авторы [17, 18] предлагают стабилизировать УДП, используя синхронно ультразвуковую обработку и механическое перемешивание.

Главная роль стабилизаторов заключается в достижении максимально возможной дисперсии УДП. В работе [19] было отмечено, что активность наночастиц возрастает с увеличением поверхности раздела среды, содержащей модификатор полимера и твердую фазу. Чем меньше размер частиц, тем больше точек контакта с полимером и тем интенсивнее их взаимодействие.

Полимер и интенсивное механическое воздействие на водную систему пигментов и наполнителей обеспечивают адсорбцию на поверхности частиц с образованием защитного слоя. Механическая активация дезагломерирует и активирует поверхность частиц (рис. 1).



Рис. 1. Влияние интенсивного механического воздействия на дисперсность водных систем пигментов и наполнителей в присутствии и в отсутствие полимерных стабилизаторов [20]

Без полимерных стабилизаторов механическая активация ведёт к укрупнению частиц. Ассоциаты частиц в процессе механоактивации диспергируются до первичных размеров с активированной поверхностью, которые быстро свертываются и превращаются в агломераты. В присутствии полимера процесс диспергирования фиксирует-

ся образованием защитных адсорбционно-сольватных слоев полимера, что в конечном итоге приводит к образованию устойчивых дисперсных систем с модифицированной поверхностью [20].

Из работ [4, 21] следует, что ультрадисперсные порошки меди, графита, дисульфида молибдена и т.п. обеспечивают максимальное структурирование полимерной матрицы и могут быть рекомендованы к применению в антифрикционных композитных материалах в качестве легирующей добавки. Так установлен эффект избирательного переноса атомов легирующего вещества на поверхность контртела, что создаёт эффект граничного трения и, как следствие, более равномерное распределение нагрузок по сопряжённым трущимся поверхностям, за счёт чего и происходит снижение износа и коэффициента трения.

Авторами [1] показана возможность создания ультрадисперсных металлополимерных композиционных присадок с выраженными противоизносными и антифрикционными данными. Сравнительные испытания, проведённые на машине трения, показали, что смазки с металлополимерными композитами снижают износ приблизительно в 4 раза по сравнению с базовым маслом ТАД-17 (рис. 2).

Согласно исследованиям [1] композиционные присадки инертны по отношению к базовым смазкам, образуя при этом на поверхности трибоконтакта сверхскользящую плёнку. Образующаяся плёнка выдерживает высокие механические нагрузки, а процесс трения вызывает незначительное возрастание температуры. При длительном хранении присадки сохраняют свои свойства.

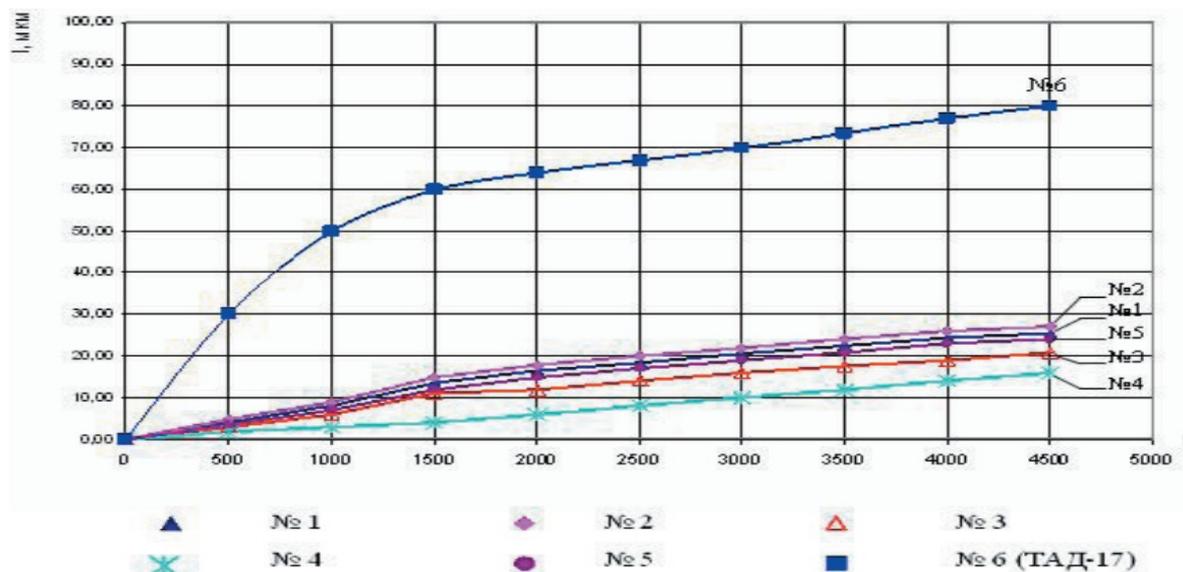


Рис. 2. Зависимости износа от пути трения, где №1, №2, №3, №4, №5 – смазочные суспензии на основе стандартного масла и порошковых металлополимерных композиций, №6 – базовое масло ТАД -17 [1]

Заключение

Несмотря на сложность стабилизации и равномерного распределения ультрадисперсных присадок к смазывающим материалам, дальнейшее их изучение и внедрение позволит значительно снизить коэффициент трения и, как следствие, уменьшить энергозатраты, повысить надежность и долговечность машин и механизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Криогенная технология производства ультрадисперсных композиционных добавок к смазочным материалам / О.В. Кравченко [и др.] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. Т. 45. — С. 55–59.
2. Карпов, А.И. Результаты исследований в области нанотехнологий и наноматериалов. Часть 5 / А.И. Карпов // Нанотехнологии в строительстве. 2014. Т. 6. №5. — С. 68–85.
3. Поляков, С.А. Нанотехника в трибологии / С.А. Поляков // Нанотехника. 2006. №1. — С. 42–51.
4. Модификация антифрикционных полимерных композиционных материалов на различных масштабных уровнях / А.В. Анисимов, В.Е. Бахарева, В.В. Рыбин // Вопросы материаловедения. 2009. №1 (57). — С. 9–16.
5. Образцов Л.Н. Наноалмазы в смазочных композициях // Вестник Полоцкого государственного университета. 2010. №9. — С. 83–91.
6. Бережной Ю.М. Получение ультрадисперсных порошков меди, стабилизированных водорастворимыми полимерами, для антифрикционных металло-полимерных материалов: дис. ... канд. тех. наук/ Ю.М. Бережной. — Новочеркасск, 2015. — 134 с.
7. Наноматериалы и нанотехнологии / Г.Н. Чурилов [и др.] // КГТУ Красноярск. 2007. — С. 158.
8. Непер, Д. Стабилизация коллоидных дисперсий полимерами / Д. Непер. — М.: Мир, 1986. 356 с.
9. Тихонов, В. И. Микрокапсулирование органических пигментов / В. И. Тихонов // Пластические массы. 1987. №8. — С. 51–53.
10. Котов, Ю. А. Получение наночастиц алюминия в оксидной оболочке / Ю. А. Котов // Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4. №5–6. — С.76–80.
11. Получение наночастиц металлов в обратно мицеллярных системах / А.В. Савин [и др.] // Башкирский химический журнал. 2011. Т. 18. №4. — С. 108–123.
12. Способ получения наночастиц серебра в водной среде : пат. 2390344 Рос. Федерация / Г.Н. Крейцберг [и др.]. — №2 008127628/15; заявл. 09.07.2008, опубл. 27.05.2010, Бюл. №15. — 6 с.
13. Формирование карбидной оболочки на поверхности наночастиц алюминия и получение нанопорошков Al–Al₄C₃ методом электрического взрыва проволоки / Ю.А. Котов [и др.] // Российские нано-технологии. 2010. Т. 5. №7–8. — С. 115–119.
14. Хасанов, О.Л. Эффекты мощного ультразвукового воздействия на структуру и свойства наноматериалов : учебное пособие / О.Л. Хасанов. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. — С. 149.
15. Получение нанопорошков меди модифицированных водорастворимыми полимерами / Г.А. Данюшина [и др.] // Инженерный вестник Дона : электрон. журн. 2015. №2. Ч. 2. Режим доступа к журн. URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3100 (дата обращения: 18.04.2018)
16. Агрегация наночастиц воздушно-сухих порошков оксида алюминия в процессе повторного диспергирования в водной среде / А.П. Сафронов [и др.] // Российские нанотехнологии. 2010. Т. 5. №11–12. — С. 73–80.
17. Самостабилизация водных суспензий наночастиц оксида алюминия, полученных электровзрывным методом / А.П. Сафронов [и др.] // Журнал физической химии. 2010. Т. 84. №12. — С. 2319–2324
18. Гребенников, Е.П. Способ получения наночастиц с модифицированной лигандной оболочкой : пат. 2367512 Рос. Федерация / Е.П. Гребенников, Г.Е. Адамов. — №2 007146615/15; заявл. 18.12.2007; опубл. 20.09.2009, Бюл. №26. — 4 с.
19. Ребиндер, П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах / П.А. Ребиндер // Физико-химическая механика. — М.: Наука, 1979. — С. 145.
20. Булычев, Н.А. Модификация дисперсных систем полимерами при механическом воздействии: автореф. дис. ... канд. хим. наук / Н.А. Булычев. — Москва, 2006. — 23 с.
21. Исследование наноразмерных самосмазывающихся соединений дисульфида молибдена и графита / А.П. Краснов [и др.] // Поликомтриб-2013: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. — Гомель. 2013. — 305 с.

REFERENCES

1. Kravchenko O.V., Suvorova I.G., Momot V.I., Veligotskiy D.A. Kriogennaya tekhnologiya proizvodstva ul'tradispersnykh kompozitsionnykh dobavok k smazochnym materialam [Cryogenic technology of production of ultradispersed composite additives to lubricants]. Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. 2010, T. 45, P. 55–59. (in Russian)
2. Karpov A.I. Rezul'taty issledovaniy v oblasti nanotekhnologiy i nanomaterialov. Chast' 5 [Results of research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 5]// Nanotekhnologii v stroitel'stve. 2014. T. 6. №5. P. 68–85. (in Russian)
3. Polyakov S.A. Nanotekhnika v tribologii [Nanotechnics in tribology] // Nanotekhnika. 2006. No. 1. P. 42–51. (in Russian)
4. Anisimov A.V., Bakhareva V.Ye., Rybin V.V. Modifikatsiya antifriktsionnykh polimernykh kompozitsionnykh

- materialov na razlichnykh masshtabnykh urovnyakh [Modification of antifriction polymer composite materials at various scale levels]. *Voprosy materialovedeniya*. 2009. №1 (57). P. 9–16. (in Russian)
5. Obratsov L.N. Nanoalmazy v smazochnykh kompozitsiyakh [Nanodiamonds in lubricant compositions] // *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2010. №9. P. 83–91. (in Russian)
6. Berezhnoy Yu.M. Polucheniye ul'tradispersnykh poroshkov medi, stabilizirovannykh vodorastvorimymi polimerami, dlya antifrictionnykh metallo-polimernykh materialov [Preparation of ultradisperse copper powders stabilized by water-soluble polymers for antifriction metal-polymeric materials] : dis. ... kand. tekhn. nauk. — Novocherkassk, 2015. — 134 p. (in Russian)
7. Churilov G.N., Vnukova N.G., Glushchenko G.A., Osipova I.V. Nanomaterialy i nanotekhnologii [Nanomaterials and nanotechnologies] // *KGTU Krasnoyarsk*. 2007. P. 158. (in Russian)
8. Neper D. Stabilizatsiya kolloidnykh dispersiy polimerami [Stabilization of colloidal dispersions by polymers]. Moscow, Mir, 1986. 356 p. (in Russian)
9. Tikhonov V. I. Mikrokapsulirovaniye organicheskikh pigmentov [Microcapsulation of organic pigments] // *Plasticheskiye massy*. 1987. No. 8. — P. 51–53. (in Russian)
10. Kotov Yu. A. Polucheniye nanochastits alyuminiya v oksidnoy obolochke [Obtaining of aluminum nanoparticles in an oxide shell] // *Rossiyskiye nanotekhnologii*. 2009. T. 4. №5–6. P.76–80. (in Russian)
11. Savin A.V., Berberov A.B., Ivanov Ye.V., Gushchin P.A., Vinokurov V.A. Polucheniye nanochastits metallov v obratno mitsellyarnykh sistemakh [Preparation of metal nanoparticles in back micellar systems]. *Bashkirskiy khimicheskoy zhurnal*. 2011. T. 18. №4. P. 108–123. (in Russian)
12. Kreysberg G.N., Golikov I.V., Zavoystyy I.V., Ustavshchikov O.B. Sposob polucheniya nanochastits serebra v vodnoy srede [A method for producing silver nanoparticles in an aqueous medium] : pat. 2390344 Ros. Federatsiya / №2008127628/15; zayavl: 09.07.2008, opubl. 27.05.2010, Byul. №15.–6 p. (in Russian)
13. Kotov Yu.A., Beketov I.V., Medvedev A.I., Murzakayev A.M., Timoshenkova O.R., Demina T.M. Formirovaniye karbidnoy obolochki na poverkhnosti nanochastits alyuminiya i polucheniye nanoporoshkov Al–Al₄C₃ metodom elektricheskogo vzryva provoloki [Formation of a carbide shell on the surface of aluminum nanoparticles and production of Al–Al₄C₃ nanopowders by the electric wire explosion method]. *Rossiyskiye nano-tekhnologiii*. 2010. T. 5. №7–8. — P. 115–119. (in Russian)
14. Khasanov O.L. Effekty moshchnogo ul'trazvukovogo vozdeystviya na strukturu i svoystva nanomaterialov : uchebnoye posobiye [Effects of powerful ultrasonic effects on the structure and properties of nanomaterials: a textbook]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2008. P. 149. (in Russian)
15. Danyushina G.A., Shishka V.G., Berezhnoy Yu.M., Derlugyan P.D., Lipkin V.M. Polucheniye nanoporoshkov medi modifitsirovannykh vodorastvorimymi polimerami [Preparation of copper nanopowders modified with water-soluble polymers] / *Inzhenernyy vestnik Dona : elektron. zhurn*. 2015. №2. Part 2. Mode of access to the journal.URL : ivdon.ru/magazine/archive/n2p2y2015/3100 (date of circulation: 18.04.2018) (in Russian)
16. Safronov A.P., Leyman D.V., Blagodetelev D.N., Kotov Yu.A., Bagazeyev A.V., Murzakayev A.M. Agregatsiya nanochastits vopzhusno-sukhikh poroshkov oksida alyuminiya v protsesse povtornogo dispergirovaniya v vodnoy srede [Aggregation of nanoparticles of air-dry alumina powders during re-dispersion in an aqueous medium] / *Rossiyskiye nanotekhnologii*. 2010. T. 5. №11–12. P. 73–80. (in Russian)
17. Safronov A.P., Kalinina Ye.G., Smirnova T.A., Leyman D.V., Bagazeyev A.V. Samostabilizatsiya vodnykh suspenziy nanochastits oksida alyuminiya, poluchennykh elektrovzryvnym metodom [Self-stabilization of aqueous suspensions of aluminum oxide nanoparticles obtained by electric explosion method] / *Zhurnal fizicheskoy khimii*. 2010. P. 84. No. 12. — P. 2319–2324 (in Russian)
18. Grebennikov Ye.P., Adamov G.Ye. Sposob polucheniya nanochastits s modifitsirovannoy ligandnoy obolochkoy [A method for producing nanoparticles with a modified ligandic membrane] : pat. 2367512 Ros. Federatsiya / No. 2007146615/15; claimed. 18.12.2007; publ. 20.09.2009, Bul. №26. 4 p. (in Russian)
19. Rebinder P.A. Poverkhnostnyye yavleniya v dispersnykh sistemakh [Surface phenomena in disperse systems // *Physico-chemical mechanics*] // *Fiziko-khimicheskaya mekhanika*. Moscow, Nauka, 1979. P. 145. (in Russian)
20. Bulychev N.A. Modifikatsiya dispersnykh sistem polimerami pri mekhanicheskom vozdeystvii [Modification of disperse systems by polymers under mechanical action]: avtoref. dis. ... kand. khim. nauk, Moscow, 2006. 23 p. (in Russian)
21. Krasnov A.P., Golub' A.S., Aderikha V.N., Naumkin A.V. [et al.] Issledovaniye nanorazmernykh samosmazyvayushchikhsya soyedineniy disulfida molibdena i grafita [Investigation of nanoscale self-lubricating compounds of molybdenum disulfide and graphite] / *Polikomtrib-2013: Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Gomel. 2013. 305 p. (in Russian)

Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 26.04.18