

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИИ ИЗ СМАЗОЧНОГО МАСЛА, НАНОПОРОШКА ОКСИДА АЛЮМИНИЯ И ПАВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТРЕНИЯ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ



О.Ю. Кустов,
Пермский национальный
исследовательский
политехнический университет

Исследовано применение нанопорошка оксида алюминия (НПА) в качестве добавок к маслам [1]. Благодаря малым размерам и круглой форме частицы порошка заполняют неровности поверхности и создают дополнительный эффект трения качения, что приводит к снижению коэффициента трения.

Исследование проводилось с ультрадисперсным порошком оксида алюминия $\delta+\Theta$ модификации кристаллической решетки, производства предприятия «Плазмотерм» (г. Москва). Опыты с дроблением конгломератов выполнялись на высокочастотном вибростенде и настольном ультразвуковом диспергаторе (УЗД), который оказался наиболее эффективным при высоких частотах и высокой мощности с большей продолжительностью.

Для предотвращения слипания частиц порошка применялась олеиновая кислота, являющаяся сильно выраженным поверхностно-активным веществом (ПАВ). В результате ультразвукового диспергирования порошка с олеиновой кислотой получена суспензия с размерами частиц 20–80 нм, которая не выпадает в осадок в масле.

Ключевые слова: нанопорошок оксида алюминия, конгломерат, подшипник качения, диспергирование, суспензия, композиция, поверхностно-активные вещества, трансмиссионное масло, коэффициент трения.

Введение

Нанопорошки металлов как добавки к жидким и пластичным смазкам уже давно становятся важным объектом для исследования [2–7].

Нанодисперсный оксид алюминия, по-

лученный на экспериментальной технологической установке предприятием «Плазмотерм» (г. Москва), имеет $\delta+\Theta$ модификацию [8]. Размеры частиц при изготовлении составляют 20 нм и более, форма сферическая (рис. 1), но в процессе использования

* Работа выполнена при финансовой поддержке программы «УМНИК-2013 (осень)» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере 1732ГУ1/2014.

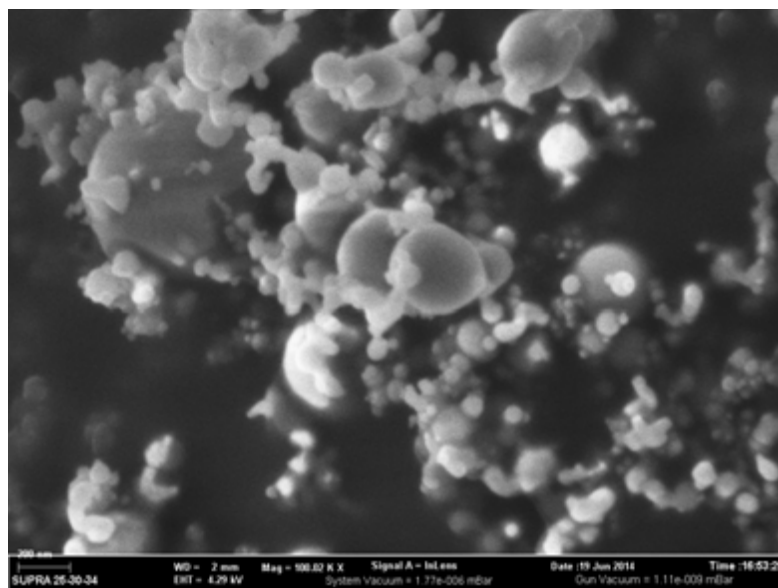


Рис. 1. Нанооксид алюминия, $\delta+\Theta$ модификация

частицы слипаются, образуя конгломераты размером до 1 мкм и более. Данные образования в масле сохраняют свою форму, поэтому возникает задача дробления крупных частиц и недопущение их дальнейшего слипания. Вариация методов дробления конгломератов порошков базируется на вибро- и ультразвуковых (УЗ) методах.

Предметы испытаний:

- трансмиссионное масло «ЛУКОЙЛ, полусинтетическое ТМ-4, 75W-90 (API GL-4)»;

- подшипники качения № 6-208 с нормальными радиальными зазорами (Самарский подшипниковый завод № 4);

- нанопорошок оксида алюминия (Al_2O_3) $\delta+\Theta$ модификации кристаллической решетки.

Научный и коммерческий интерес долгое время уделяется применению нанопорошков Al_2O_3 , а также их получению. Эффективно предложен и применен высокопроизводительный метод получения высокодисперсных порошков оксидов металлов – метод сжигания металл-газовой смеси. Метод позволяет получать продукты высокого качества при большой производительности [9–11].

Технология получения суспензии

Для предотвращения слипания частиц нанопорошка выбрана олеиновая кислота

техническая Б-115 (ОКТ). ОКТ является сильно выраженным ПАВ [12].

Одной из основных целей работы было определение процентного содержания НПА в олеиновой кислоте для приготовления смеси с последующим созданием композиции. В результате опытов изучен минимальный процент возможного добавления смеси из НПА и ОКТ в товарное масло, не приводящий к видимому изменению свойств применяемого масла (см. рис. 5).

Проведены серии опытов на высокочастотном вибростенде и настольном диспергаторе по разбиению конгломератов в суспензии НПА и ОКТ, с последующим замером частиц. Ультразвуковое диспергирование – это перевод в дисперсное состояние, то есть тонкое и сверхтонкое размельчение ультразвуком твердых веществ или жидкостей посредством воздействия на них ультразвуковых колебаний. Благодаря специфике ультразвукового поля, создаваемого в жидкой среде, ультразвуковое диспергирование позволяет получать высокодисперсные (с размером частиц менее 1 мкм), однородные, химически чистые суспензии [12–14]. Для измельчения взвешенных в жидкости частиц твердых веществ или просто для разрушения твердого и вязкого вещества типа металла или камня, погруженного в жидкость, требуется режим,

создающий кавитацию, так как для разрушения прочных веществ необходимы ударные волны, возникающие при схлопывании кавитационных полостей.

После серии экспериментов выявлено преимущество применения УЗ-установки – настольного диспергатора (рис. 2). Он имеет более высокие частоты в сравнении с вибростендом, и ему требуется меньше времени на разбиение частиц. Обработке подвергалась смесь: ОКТ + НПА $\delta^+\Theta$ модификации. В результате получены размеры от 39 нм (46,6 % от объема) (табл. 1, рис. 3). После отбора верхних слоев получен устойчивый опытный



Рис. 2. Внешний вид настольного диспергатора

образец без осадка (рис. 4). Режим обработки: мощность 50 Вт, частота 30 кГц, время обработки 90 с.

Широкий диапазон разрыва в размерах от минимального до максимального позволил успешно разделить фракции и получить однородный образец без осадка (см. рис. 4).

Результаты

Для определения дальнейших перспектив композиции было решено применить в качестве основного компонента трансмиссионное масло, производимое на основе высокоочищенных минеральных и современных синтетических базовых масел-компонентов с использованием высокоэффективного пакета присадок, улучшающих эксплуатационные свойства. Если коэффициент трения будет снижен – композиция станет эффективной для минеральных видов масел, таких как И-20, 40, М-8 или тп-22.

Таблица 1

Размеры частиц после УЗК-диспергирования

Фракции смеси ОКТ + НПА	Размер, нм	Наиболее вероятный размер, нм	Доля, %
Разбитые частицы	20...80	40	46,6
Оставшиеся конгломераты	700...6000	1626	53,4

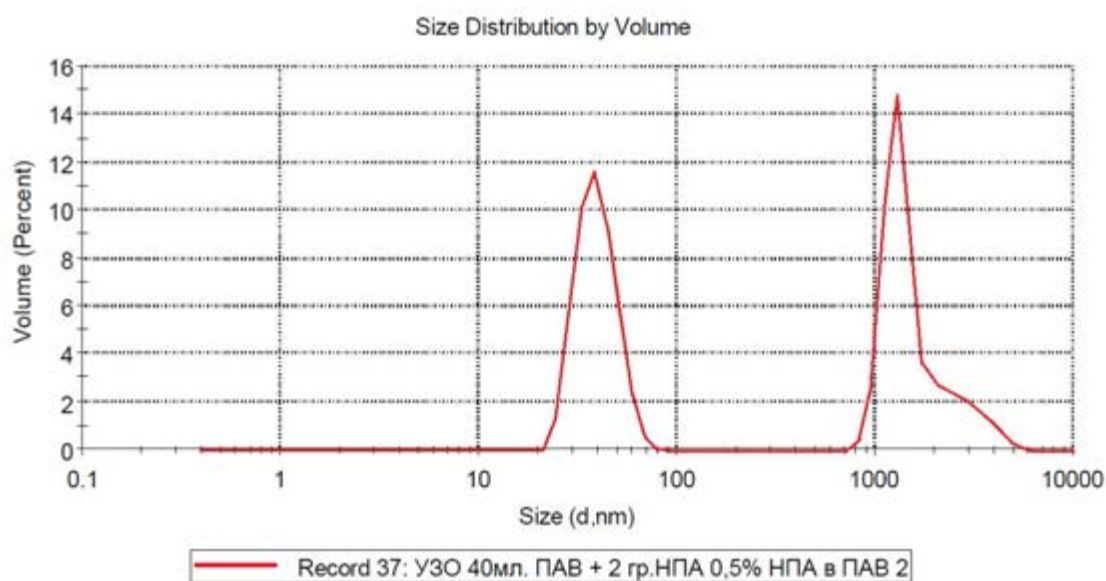


Рис. 3. Определение размеров частиц методом динамического рассеивания света



Рис. 4. Опытный образец добавки

Серия ТМ-4 разработана для механических коробок передач и дифференциалов мобильной техники, в том числе легковых и грузовых автомобилей. Преимущества:

- длительная и надежная эксплуатация узлов трансмиссий в условиях высоких нагрузок и в широком интервале температур;
- высокие противозадирные и противоизносные свойства;
- масло уровня вязкости 75W-90 обеспечивает стабильную работу трансмиссии при отрицательных температурах, что способствует экономии топлива;
- имеет длительный срок службы [15].

В итоге, после серии опытов (более 20), эффективным стало создание композиции из 40 мл товарного масла и 2 % смеси после УЗК-диспергирования на настольном диспергаторе, что позволяет сохранить свойства масла, гарантированные производителем.

Эффективность также подтверждается отсутствием увеличения радиального зазора в подшипниках. Замер зазоров производится до и после исследований (табл. 2). Подшипники № 8 и 14 устанавливались в нагружаемую обойму. Подшипники № 1 и 8 соответственно устанавливались по краям вала. Общее время работы подшипников составило 47 часов.

Таблица 2

Номер подш.	Зазоры в подшипниках № 6-208		Разница зазора, мкм
	до опытов	после опытов	
1	9,37±2	8,25±2	-1,12
8	7,20±2	11,50±2	4,30
14	7,85±2	9,95±2	2,10
18	9,7±2	9,15±2	-0,55

Изменение зазоров в подшипниках находится в пределах интервалов их колебания в зависимости от положения внутреннего кольца подшипника относительно наружного. Следовательно, полученная композиция не проявляет абразивных свойств.

На рис. 5 показана интерполяционная кривая, характеризующая эффективный процент суспензии в товарное масло. За основной критерий взят минимальный коэффициент трения, полученный при трех опытах – 1,25; 2; 5 % добавки.

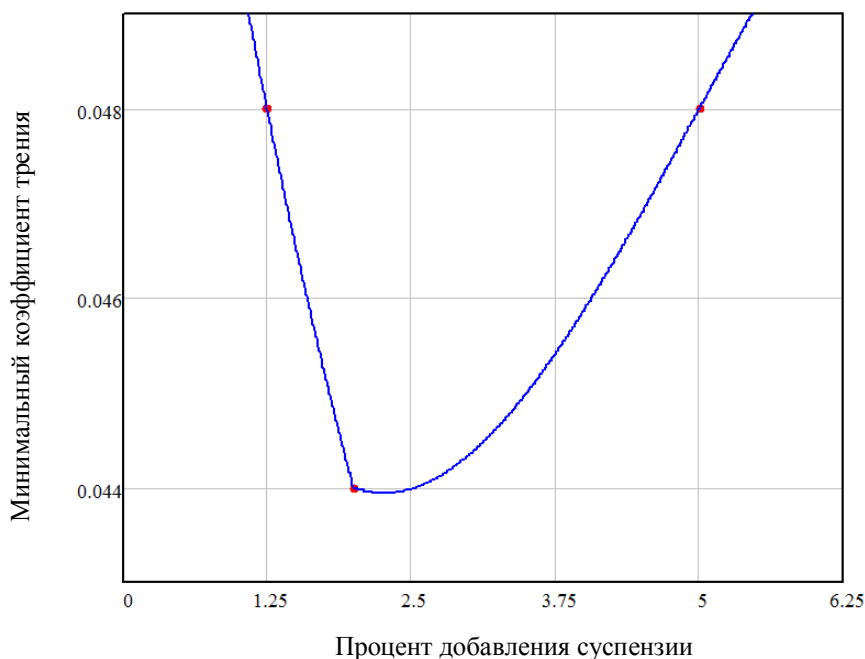


Рис. 5. Минимальные значения коэффициента трения в подшипнике с разным процентом суспензии (1,25; 2; 5 %)

Аналогичные продукты появляются в разных странах мира, передовой по различным присадкам в масла является Южная Корея [16]. Близким продуктом к исследуемому найдена добавка на основе самостоятельно модифицированных частиц НПА, разработанная в Китае [17]. Остальные добавки, уже существующие и предлагаемые на рынке, разработаны на основе ультрадисперсных алмазов. В данных добавках смущает факт отсутствия конкретики по типу масла – либо это минеральное масло, либо синтетика с максимальным количеством «своих» присадок, где снизить трение очень сложно.

Заключение

Применяя нанопорошки оксида алюминия (НПА) $\delta+\Theta$ модификации и метод ультразвукового диспергирования (УЗД) для дробления конгломератов порошка на настольном диспергаторе проведен ряд исследований, который позволил получить минимальный по размерам состав, не имеющий осадка. Средние размеры, получаемые после дробления, устойчиво фиксируются на 40–80 нм. Из серии опытов проанализировано влияние процентного содержания порошка и определены необходимые пропорции компонентов.

Получен устойчивый опытный образец, позволяющий снизить коэффициент трения до 10 %. Оптимальный процент добавления суспензии в товарное масло составляет 2 %, что позволяет сохранить его основные свойства, гарантированные

производителем. Снижение на 10 % трения в масле, где производителем уже заложены высокие противозадирные и противозносные свойства, является несомненной перспективой снижения коэффициента трения в «чистых» трансмиссионных маслах, таких как И-20 или И-40.

Эффективность добавки также подтверждается отсутствием увеличения радиального зазора в подшипниках. Подшипники, которые на протяжении опытов постоянно были динамически нагружены, имеют зазоры, вполне допустимые при работе в смазочном масле, и это спустя 47 часов работы. Следовательно, полученная композиция не проявляет абразивных свойств.

Также следует ожидать большего снижения коэффициента трения, применяя данную композицию для подшипников скольжения, в которых площадка контакта существенно больше.

За последний год разработана четкая методика проведения опытов, определены компоненты добавки и их оптимальные проценты для создания композиции. Выбран лучший способ диспергирования, превосходящий по скорости и экономичности вибростенд. Сейчас есть качественный опытный образец, подтверждающий эффективность наноприсадок в смазывающие масла. В дальнейшем особое внимание будет уделено изучению соотношения между шероховатостью, размерами частиц, процентным содержанием суспензии в масле и уровнем контактных напряжений.

Библиографический список

1. Кустов О.Ю., Малинин В.И., Беломытцев О.М. Исследование влияния нанопорошков оксида алюминия на триботехнические свойства масел и определение областей их применения // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – Пермь: ПНИПУ. – 2014. – № 36. – С. 131.
2. Беляев С.А., Тарасов С.Ю., Лернер М.И., Колубаев А.В. Использование нанопорошков меди и латуни в жидкой смазке // Надежность машин и технических систем: Материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т./ под общ. ред. О.В. Берестнева. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси. – 2001. – Т. 2. – С. 19–20.
3. Беляев С.А., Тарасов С.Ю., Лернер М.И. Трение, изнашивание и деформация поверхностных слоев конструкционной стали в присутствии нанокристаллических порошков в жидкой смазке // Материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. «Динамика систем, механизмов и машин». – Омск: Изд-во ОмГТУ. – 2002. – Кн. 2. – С. 100–102.
4. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 416 с.
5. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 192 с.

6. Данилов А. Производство и применение нанопорошков. Механические методы получения нанопорошков // Российский электронный наножурнал, ООО «Парк-медиа», Metric, 2007–2008. [Электронный ресурс] URL: http://www.nanojournal.ru/science.aspx?cat_id=394&d_no=1338 (дата обращения: 24.08.20014).
7. Попок В.Н., Вдовина Н.П. Исследование химической совместимости энергетических материалов с нанопорошками металлов // Ползуновский вестник. – 2010. – № 3.
8. Сайт компании «Плазмотерм» [Электронный ресурс] URL: <http://www.plasmotherm.ru> (дата обращения: 10.04.2014).
9. Малинин В.И. Поучение оксида с заданными свойствами методом сжигания аэрозвеси порошка алюминия: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2003. – 16 с.
10. Волховских Д.А., Малинин В.И., Бульбович Р.В. Исследование составов металлогазовых смесей для получения нанодисперсного оксида алюминия // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Аэрокосмическая техника. – 2012. – № 33. – С. 109–123.
11. Малинин В.И. Внутрикамерные процессы в установках на порошкообразных металлических горючих. – Екатеринбург, Пермь: Изд-во УрО РАН, 2006. – 262 с.
12. Порозова С.Е. Поверхностно-активные вещества в золь-гель технологии: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 134 с.
13. Патентный поиск, «Антифрикционная суспензия». [Электронный ресурс] URL: <http://www.findpatent.ru/patent/241/2412980.html> (дата обращения: 11.05.2014).
14. База рефератов «Химические реакции в микрогетерогенных системах». [Электронный ресурс] URL: <http://xreferat.ru/10/715-2-himicheskie-reakcii-v-mikrogeterogennyh-sistemah.html> (дата обращения: 04.05.2014).
15. Компания смазочных материалов ООО «ЛЛК-Интернешнл». [Электронный ресурс] URL: <http://www.lukoil-masla.ru/products/commerce/transoils/00007/> (дата обращения: 24.02.2014).
16. Changkyu K., Gyoung-Ja L., Changkyu R. Deaggregation and ultradisersion of detonation nanodiamonds in polar solvent using physicochemical treatments // Journal of Korean Powder Metallurgy Institute. – 2013. – Vol. 20. – Is. 6. – P. 479–486.
17. Luo T., Wei X., Huang X., Huang L., Yang F. Tribological properties of Al₂O₃ nanoparticles as lubricating oil additives // Ceramics International. – Vol. 40. – Is. 5. – P. 7143–7149.

**OBTAINING A COMPOSITION OF OIL LUBRICANT,
NANOPOWDER OF ALUMINUM OXIDE AND SURFACE-ACTIVE AGENT
FOR REDUCTION OF FRICTION IN ROLLING BEARINGS**

O.Yu. Kustov

Perm National Research Polytechnic University

Research has been conducted on ultradispersed powder of aluminum oxide with $\delta+\Theta$ modification of crystal lattice produced by "Plazmoterm" company, Moscow. Experiments on breaking up conglomerates were performed by vibration stand and desk ultrasonic dispergator, which was found the most effective at higher frequencies and high power at long period.

To prevent adhesion of powder particles the oleic acid, which is pronounced surface-active agent (SAA), was used. By ultrasonic dispersing powder with oleic acid, the suspension with particles size of 20-80 nm was obtained, which does not precipitate in oil.

Keywords: aluminum oxide nanopowder, conglomerate, rolling bearing, dispersing, suspension, composition, surface-active agents, transmission oil, friction factor.

Сведения об авторе

Кустов Олег Юрьевич, студент 4-го курса, кафедра «Ракетно-космическая техника и энергетические системы», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ), 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: kustovou@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 25.05.2015 г.