

УДК 621.892

Е.В.Овчинников, П.А.Сластенов,  
Д.А.Прушак, С.Н.Голушко  
ГрГУ, НИУ БелГУ, ЗАО СИПР с ОП

## НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Проведенные исследования механизма модифицирующего действия низкоразмерных частиц различного состава, строения, технологии получения позволили установить общие закономерности реализации синергического эффекта в связующих, отличающихся молекулярной массой, строением, полярностью макромолекул. Созданы предпосылки для широкого промышленного использования конструкционных, триботехнических, защитных материалов и смазок в различных отраслях машиностроения, строительной индустрии, перерабатывающей промышленности.*

**Ключевые слова:** наноконпозиционные, смазочные материалы, ик-спектр, кластер

В настоящее время в узлах трения многих механизмов и машин, эксплуатируемых при знакопеременных и повышенных скоростях, давлениях, различных температурных режимах используются смазочные вещества с повышенными требованиями к антифрикционным и противоизносным характеристикам, стабильности значений вязкости при изменении температуры. Анализ литературных источников и проведенные исследования, связанные с изучением процессов фрикционного контакта в условиях смазывания, свидетельствует о том, что основными направлениями развития современной трибологии является формирование композиционных смазочных материалов с заданными свойствами. Выбор модификатора для смазочной среды оказывает существенное влияние на фрикционное поведение пары трения. Поэтому все большее применение находят смазки, модифицированные многофункциональными присадками. Широко применяются различного типа добавки - наномодификаторы, которые кардинально изменяют вязкостные и эксплуатационные характеристики смазочных материалов. Нанофазные и наноконпозиционные смазочные вещества являются востребованной продукцией на рынках США, СНГ, Европейского союза. Применение смазочных материалов, модифицированных низкоразмерными веществами в узлах трения токарных патронов, автомобильных агрегатов позволяет существенно увеличить эксплуатационный ресурс данных механизмов. Основной проблемой при производстве наносмазок является высокая стоимость нанофазных и наноразмерных модификаторов, что сдерживает рынок сбыта наносмазок. Эффективным противозадирным и компонентом смазок для тяжело нагруженных узлов трения являются металлополимерные и полимерные частицы, в т.ч. в виде дисперсных порошков, получаемых при криогенной переработке термопластичных полимеров. Дешевизна и доступность сырья позволяет получить эффективные смазки для тяжело нагруженных узлов трения, например, для применения в автомобильных агрегатах: карданных передачах, амортизаторах. Использование коллоидных и ультрадисперсных частиц в качестве многофункциональных добавок к промышленно выпускаемым смазкам является перспективным направлением в проблеме увеличения эксплуатационных характеристик смазочных материалов [1-2].

Целью данной работы является разработка составов смазочных материалов на базе отечественного сырья, модифицированных наноструктурными и нанодисперсными частицами органического и неорганического происхождения.

в спектре пластичных смазок, модифицированных кремнем, не наблюдается.

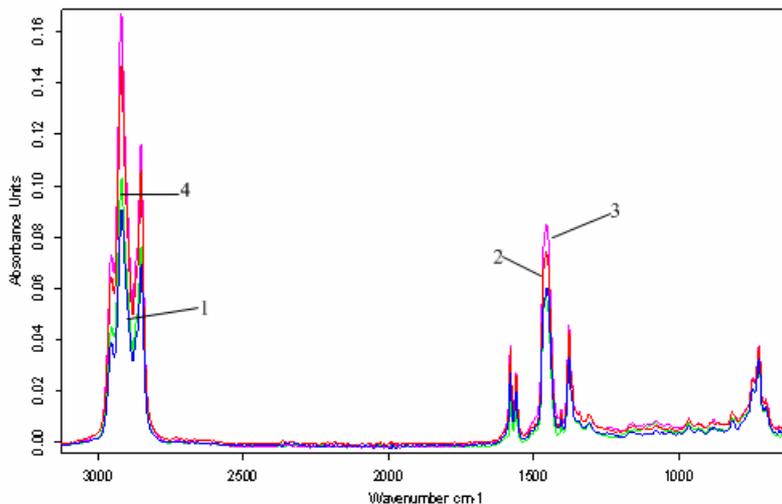


Рис. 1. ИК-спектры пластичной смазки Циатим-201, модифицированной нанофазной добавкой на базе слоистого силиката. 1 - исходная смазка, 2 - 1 мас.% модификатора, 3 - 2 мас.% модификатора, 4 - 5 мас.% модификатора

В качестве базовых смазок были использованы многотоннажно выпускаемые пластичные смазки: ЦИАТИМ-201, Солидол Ж. Базовые смазки производятся в Беларуси и Российской Федерации. При разработке новых присадок и наполнителей, а также для их сравнения с ранее известными антифрикционными добавками в процессе исследований были использованы следующие материалы: для модифицирования базовых смазочных основ использовали наномодификаторы, получаемые по различным технологиям синтеза природные модификаторы ГМ - кремний, содержащий 94,4 % – 95,4 % оксида кремния и добавки  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CuO$ ,  $Ni$ ,  $Cu$ ,  $Ti$ ,  $Mn$ ,  $Ba$ ,  $Zr$ ,  $B$ ,  $Y$ . [3], ультрадисперсный политетрафторэтилен, смесь полиамида с каолином и смесь механоактивированного кремния со спиртом. Содержание нанофазы в модификаторе не превышало 0,5 мас.%. Размер агломератов порошкообразного нанокompозита составлял 5-20 мкм. Согласно, существующих представлений наличие собственного заряда у частиц модификатора обуславливает протекание в среде смазки различных электрофизических процессов, оказывающих существенное влияние на ее структуру. Воздействие силового поля наночастицы приводит к формированию ориентированного слоя диэлектрической компоненты смазки. Величина этого слоя определяется величиной заряда наночастицы и особенностями строения молекул смазки. В некоторых случаях она может достигать больших размеров, соизмеримых с толщиной граничного слоя смазки. На рисунках 1-2 приведены ИК-спектры пластичных смазок, модифицированных наноструктурным модификатором кремний. Исходя из представленных результатов видно, что существенных изменений.

Введение ультрадисперсного политетрафторэтилена в пластичную смазку, так же как и в случае с кремнем не приводит к изменениям в спектре пластичных смазок (рисунки 1-2). Согласно данных ИК-спектроскопии в спектрах пластичных смазок Солидол; Циатим-201, модифицированных кремнем и ультрадисперсным

политетрафторэтиленом не наблюдается образование химических связей между частицами модификатора и молекулами смазки, что подтверждается отсутствием дополнительных полос поглощения или смещении интенсивных полос поглощения модифицированных смазок по отношению к базовому смазочному материалу. Таким образом, для объяснения эффекта модифицирования базовых смазок Солидол Ж; Циатим-201 подходит модель, описанная в работе [4].

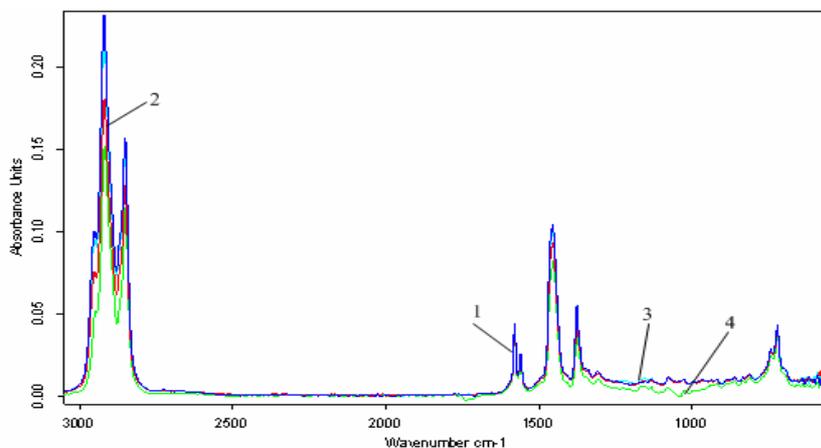


Рис. 2. ИК-спектры пластичной смазки Циатим-201, модифицированной нанодобавкой на базе УПТФЭ. 1 - исходная смазка, 2 - 1 мас.% модификатора, 3 - 2 мас.% модификатора, 4 - 5 мас.% модификатора

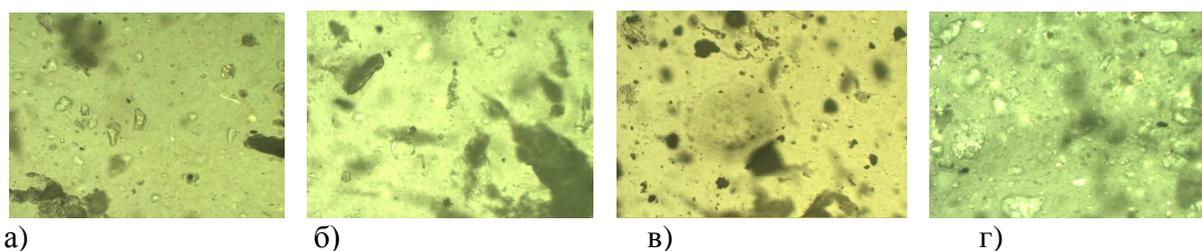


Рис. 3. Морфология кластеров наномодификатора кремнь в пластичной смазке Солидол Ж. а) 0,5 масс. % кремня, б) 1 масс % кремня, в) 2масс. % кремня, г) 5 масс. % кремня. x 150

Одним из основных методов, позволяющих оценить активность действия нанодисперсных и наноструктурных модификаторов в полимер – олигомерных системах является метод термостимулированной деполяризации (ТСД). Суть данного вида исследований заключается в регистрации разрядных токов во времени при программируемом нагревании электрета (ГОСТ 25209-82) [5]. По зависимости токов от времени определяют параметры релаксации зарядов, величины гетеро – и гомозарядов. По площади заключенной между кривой тока и осью времени, можно определить заряд, запасенный в электрете. На рисунках ниже приведены характерные зависимости тока ТСД от времени при увеличении поляризующей температуры для наноструктурных смазочных материалов. Исходя из полученных данных, смазкой, обладающей наибольшей активностью при повышенных температурах, является «Циатим 201». Введение ультрадисперсного политетрафторэтилена в пластичную смазку «Итмол-150Н» приводит к смещению пиков термостимулируемых токов в область более низких температур (133 °С) в сравнении с базовой смазкой (170 °С).

Введение в Итмол-150Н кремня, так же снижает температуру появления термостимулированных токов в смазке Итмол-150Н (152 °С), однако в меньшей степени чем при введении «Форума», появляется второй пик в области 174 °С – 178 °С.

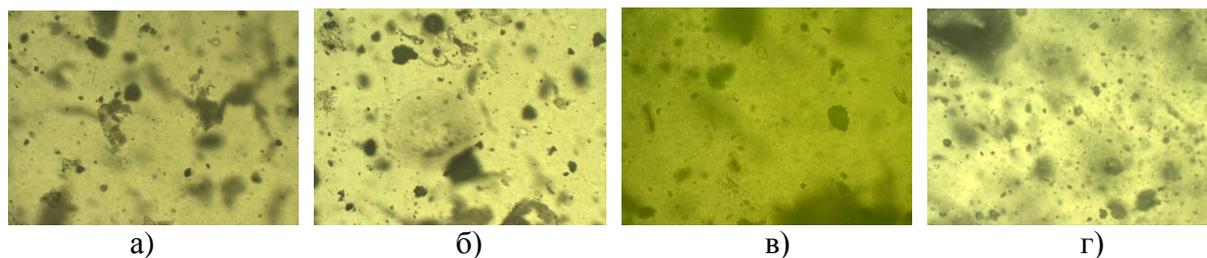
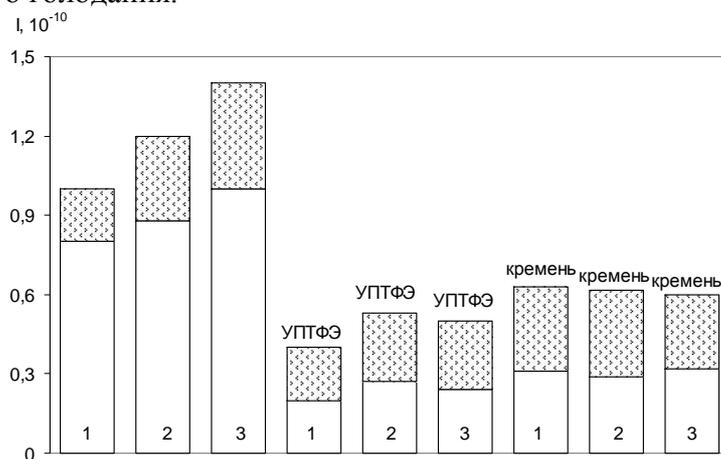


Рис. 4. Морфология кластеров наномодификатора УПТФЭ в пластичной смазке Солидол Ж. а) 0,5 масс % УПТФЭ, б) 1 масс % УПТФЭ, в) 2 масс % УПТФЭ, г) 5 масс % УПТФЭ. x150

Модифицирование пластичной смазки Циатим-201 наномодификаторами уменьшает зарядовую активность смазки, что выражается в уменьшении интенсивности пиков тока в спектре ТСТ и смещает их в область более высоких температур (172 °С). Введение в смазочную основу нанодисперсных и нанофазных модификаторов должно приводить к образованию агломератов в структуре смазки вследствие активности модификатора. На рисунке 3-4 представлены снимки распределения наномодификаторов в смазочном материале Солидол Ж. Исходя из представленных данных, с увеличением концентрации модификатора увеличивается размер и количество крупных агломератов в структуре смазки. Данный характер распределения наномодификатора характерен и для других пластичных смазок (Циатим-201). Сравнительные испытания разработанных и традиционно применяемых смазочных материалов свидетельствуют о достаточной эффективности использования предлагаемых модификаторов для увеличения износостойкости (рисунок 29). Модификатор вводили в базовую смазку механическим перемешиванием до получения однородного состава. Смазывание осуществляли фитильным способом, имитируя режим смазочного голодания.



1 – Солидол Ж, 2 – Циатим-201, 3 – Итмол-150Н

Рис. 5. Сравнительная интенсивность изнашивания пары трения сталь 45 – сталь 60ПП при скорости скольжения 1 м/с и нагрузке 3,0 МПа (не заштрихованные столбцы) и 4,0 МПа (заштрихованные столбцы) при смазывании различными смазочными композициями с содержанием модификатора 5 мас. %

Модифицирование базовых смазок дисперсными частицами кремня и УПТФЭ обеспечивает значительное повышение износостойкости пары трения, что, вероятно, обусловлено формированием адсорбционных слоев олигомера на контактных поверхностях и образование композиционной структуры с повышенной стойкостью к разрушению и термоокислительной деструкции. Разработаны составы смазочных нанокomпозиционных материалов на основе промышленно выпускаемых пластичных смазок для энергонагруженных узлов трения автомобильных и сельскохозяйственных агрегатов. Произведена оценка эксплуатационных характеристик наносмазок по критериям нагрузочной способности, износостойкости и долговечности трибосистем на модельных парах трения, стендах и в процессе натурных испытаний. Оптимизированы составы смазочных нанокomпозитов и технология их получения.

#### **Список использованной литературы.**

1. Ляхов, Н.З. Особенности структуры нанокomпозиционных механоактивированных кремнийсодержащих частиц / Н.З. Ляхов [и др.] // Вестник ГрГУ. – 2012. – №3 (137). – С. 32-40.
2. Жорник, В.И. Влияние наноразмерных алмазосодержащих добавок на структуру и свойства пластичных смазок / В.И. Жорник, А.В. Ивахник // Поликомтриб-2007: тез. докл. межд. науно-техн. конф., 16–19 июля 2007 г., Гомель. Гомель: ИММС НАН Б, 2007. – с. 90–91.
3. Мецик, М.С. Физика расщепления слюд / М.С. Мецик. - Иркутск: Вост. Сиб. изд., 1967. –278 с.
4. Роземберг, Ю.А. Влияние смазочных масел на надежность и долговечность машин / Ю.А. Роземберг. – М.: Машиностроение, 1970. – 312 с.
5. Пластмассы и пленки полимерные. Методы определения поверхностных зарядов электретов: ГОСТ 25209-82. – Введ. 01.07.1983. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам: Издательство стандартов, 1982. – 14 с.

Надійшла до редакції 21.06.2014

#### **Е.В.Овчинников, П.А.Сластенов, Д.А.Прушак, С.Н.Голушко НАНОКОМПОЗИЦІЙНОГО МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.**

*Проведені дослідження механізму модифікуючої дії низькорозмірних частинок різного складу, будови, технології отримання дозволили встановити загальні закономірності реалізації синергічного ефекту в сполучних, що відрізняються молекулярною масою, будовою, полярністю макромолекул. Створено передумови для широкого промислового використання конструкційних, триботехнічних, захисних матеріалів і мастил в різних галузях машинобудування, будівельної індустрії, переробної промисловості.*

**Ключові слова:** нанокomпозиційні, мастильні матеріали, ік-спектр, кластер.

#### **E.V.Ovchinnikov, P.A.Slastenov, D.A.Prushak, S.N.Golushko NANOCOMPOSITE LUBRICANTS.**

*Studies of the mechanism of action of modifying low-dimensional particles of different composition, structure, technology, getting it possible to establish general laws implementing synergies in binders differing molecular weight, structure, polarity of macromolecules. Set the stage for a wide industrial use structural, tribological, protective materials and lubricants in various branches of engineering, construction industry, the processing industry.*

**Keywords:** nanocomposite, antifriction materials, IR spectrum, cluster.