



Триботехнические свойства наноструктурного бемита

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED BOEHMITE

Ю.Мазалов¹, Р.Соловьев¹, Н.Сергеев², А.Федотов¹, А.Дунаев¹, П.Витязь³, Л.Судник⁴ / 1117731@mail.ru

Yu.Mazalov¹, R.Solovyov¹, N.Sergeev², A.Fedotov¹, A.Dunaev¹, P.Vityaz³, L.Sudnik⁴

Проведено исследование структуры, фазового, химического состава и термических свойств бемита, полученного гидротермальным синтезом. Установлены наноструктурное состояние материала и его фазовая чистота. По различным методикам и на разных установках исследованы триботехнические характеристики и определены его антифрикционные, противоизносные и противозадирные свойства. Показана возможность использования бемита в качестве препарата для приработки дизельного двигателя. Разработаны рекомендации по обкатке дизельного двигателя с использованием наноструктурного бемита.

A study was conducted to estimate the structure, phase and chemical composition, and thermal properties of boehmite obtained by hydrothermal synthesis. The nanostructured state of material and its phase purity were determined. Tribological properties were studied using different methods and different equipment, and anti-friction, anti-wear and antiwelding properties were estimated. The possibility of using nanostructured boehmite for running-in of diesel engine was shown and appropriate recommendations were proposed.

Существенно улучшить технико-экономические характеристики новых и отремонтированных дизельных двигателей в режиме штатной эксплуатации можно с помощью специальных трибопрепаратов – восстановительных антифрикционных и противоизносных добавок к моторным маслам. Использование добавок позволяет, не ухудшая эксплуатационные параметры масел, не только повысить технические характеристики агрегата, но и в ряде случаев продлить его ресурс, сформировав на поверхностях трения деталей машин антифрикционную структуру.

К настоящему времени разработано много различных добавок, которые целесообразно применять в разные периоды эксплуатации машин. Разработаны добавки для приработки (притирки деталей) нового или отремонтированного узла, агрегата, обеспечивающие максимальное прилегание деталей в сопряжениях, оптимизацию шероховатости рабочих поверхностей деталей и, в результате, минимизацию трения и повышение износостойкости. Для начального послеремонтного периода штатной экс-

плуатации двигателей и агрегатов машин применяются другие трибопрепараты, снижающие коэффициент трения и износ. Для последующего периода эксплуатации разработаны ремонтно-восстановительные составы, обладающие свойствами исправлять геометрию деталей в зоне износа и компенсировать увеличившиеся зазоры [1–3]. Под действием локальных температур и давлений в местах трения происходит наращивание композитного слоя, состоящего из продуктов разложения восстановительных препаратов, материала поверхностного слоя детали и масла. В результате уменьшается образовавшийся зазор и увеличивается ресурс агрегата.

Многие трибопрепараты содержат в качестве активного вещества природные материалы, которые неоднородны по химическому и минералогическому составу, что приводит к разбросу триботехнических свойств и даже может стать причиной выхода агрегатов из строя. Все это заставляет разработчиков искать искусственные трибопрепараты со стабильными свойствами [4]. Такие препараты могут быть созданы на основе моногидроксида алюминия

¹ ФГБНУ ГОСНИТИ, Москва / GOSNITI, Moscow

² ЦОПКТБ Рязанского филиала ФГБНУ ГОСНИТИ, Рязань / CPOKTB of Ryazan branch of GOSNITI, Ryazan

³ Президиум НАН Беларуси, Минск / Presidium of NAS of Belarus, Minsk

⁴ ОХСП НИИИП с ОП ГНУ ИПМ НАН Беларуси, Минск / PMI of NAS of Belarus, Minsk



(бемита) – искусственного материала со стабильными свойствами. Подобно графиту и дисульфиду молибдена, эффективно снижающих трение, бемит также обладает слоистой структурой. В подобных соединениях в плоскости слоя связь прочная (ковалентная или ионная с разной степенью ковалентной связи) и существенно менее прочная в перпендикулярной плоскости (металлическая, Ван-Дер-Ваальса или водородная, как в бемите). Такая структура обеспечивает скольжение слоев друг относительно друга и низкий коэффициент трения. В основе структуры бемита – чередование пачек, состоящих из двух кислородных (внутренних) и двух гидроксильных (внешних) слоев. Атомы алюминия в кристаллической решетке бемита окружены деформированной октаэдрической группировкой из атомов кислорода. Проведенные авторами исследования показали перспективность этого материала в качестве трибопрепарата [5].

Целью работы являлось исследование структуры, термических и триботехнических свойств наноструктурного бемита, полученного методом гидротермального синтеза, для разных периодов эксплуатации машин.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использовался порошок бемита, полученный методом гидротермального окисления порошка алюминия [6]. Микроструктуру порошка исследовали на оптическом и сканирующем зондовом микроскопах SolverNext (ЗАО "НТ-МДТ"); химический состав определяли на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP 6300MFC Duo (для анализа порошок бемита растворяли в плавиковой

кислоте); фазовый состав, степень кристалличности и размер кристаллов – на рентгеновском дифрактометре XRD 6000 фирмы Shimadzu (Япония); удельную поверхность – методом низкотемпературной адсорбции азота на анализаторе Autosorb-1 (США). Для трибологических исследований применялись четырехшариковая машина трения (ЧШМТ), специальное приспособление фирмы Wagner, а также машина трения 2070 CMT-1 и МТУ.

Приработку нового дизеля Д-243 проводили на модернизированном обкаточно-тормозном стенде КИ-3540-ГОСНИТИ. Расход картерных газов измеряли газовым счетчиком, непрерывно замеряя расход топлива. Система сбора и регистрации информации позволяла регистрировать во времени с заданной дискретностью отсчетов характер изменения частоты оборотов вала двигателя, момента на валу, давления масла в системе смазки двигателя, температуры масла, температуры воды в системе охлаждения двигателя, расхода топлива. В ходе приработки без бемита и с ним по четыре раза брались пробы масла для оценки концентрации механических примесей: через три минуты от начала холодной приработки, после холодной и после горячей приработки, а также после испытания на износостойкость. Шероховатость цилиндрических поверхностей поршневых колец, вкладышей коренных и шатунных подшипников до и после приработки оценивали профилометром Surtronic-3P фирмы Taylor Hobson (Дания).

Исследования проведены на одном двигателе внутреннего сгорания (ДВС). К каждому испытанию его собирали с новыми деталями цилиндропоршневой группы, новыми втулками верхней головки и вкладышами шатуна. Во всех случаях бемит вводили в

For significant improvement of technical and economic characteristics of new and refurbished diesel engines in normal operation mode it is possible to use the special tribo-material – restorative anti-friction and anti-wear additives for motor oils. The use of additives allows, without compromising the operating parameters of the oils, not only to improve performance of the engine, but in some cases, to extend its life, owing to the forming of anti-friction structure on the

friction surfaces of machine parts.

To date, many different additives are developed, which can be used in different periods of operation of the machines. In particular, additives are developed for running-in of the new or repaired assembly that maximize the fit of parts in the mates, optimization of roughness of working surfaces of parts and, as a result, minimization of friction and increasing of durability. Tribo-materials that reduce the coefficient of friction

and wear, are used for initial period of the normal operation after repair of engines. For subsequent period of operation the repair-and-renewal compositions are developed, which restore the geometry of the parts in the zone of wear and compensate the increased clearances [1-3]. In the places of friction a composite layer is created under the influence of local temperature and pressure. This layer consists of products of decomposition of the additives, the material of the surface and oil. As a result, the



масло при непрерывном растирании методом последовательного разбавления.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ, ТЕРМИЧЕСКИХ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕМИТА

Исследовали разные партии бемита, полученного методом гидротермального синтеза. Его отличительной особенностью является высокая степень однородности, стабильность состава и структуры разных партий. По данным рентгенофазового и петрографического анализов, в отличие от порошков гидроксидов алюминия катализаторных производств, бемит гидротермального синтеза хорошо закристаллизован и состоит из моногидроксида алюминия AlOOH . Потери при прокаливании соответствуют стехиометрическим 15 мас. % (рис.1). Процесс синтеза доработан для получения порошков высокой чистоты – по данным спектрального анализа, при использовании порошка алюминия высокой чистоты и деионизированной воды содержание примесей не превышает 0,07 мас. %.

При термообработке бемита выделение воды начинается при 350–400°C и сопровождается разрушением кристаллической структуры с образованием безводных форм оксида алюминия – гамма, дельта, альфа и др. (табл.1). Наблюдающийся рост удельной поверхности обусловлен разрушением структуры и измельчением частиц. Дальнейшее уменьшение поверхности происходит в результате спекания и рекристаллизации. По данным петрографического и рентгенофазового анализов, при 1300°C завершается

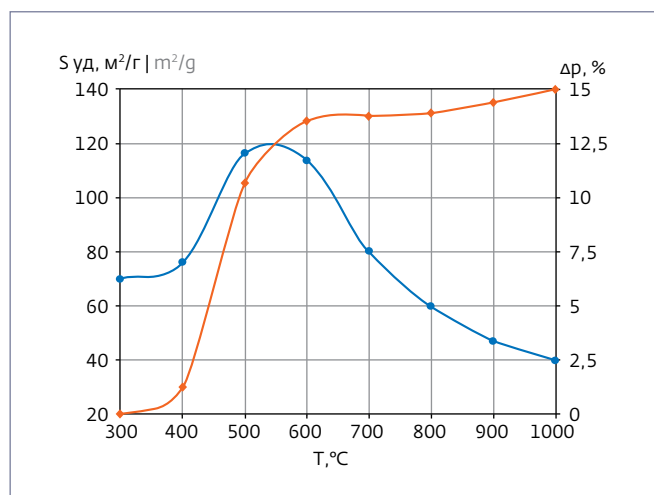


Рис.1. Зависимость удельной поверхности ($S_{уд}$) и потери массы (Δp) от температуры обжига: 1 – потеря массы; 2 – удельная поверхность

Fig.1. Temperature dependence of the specific surface (S_s) and the mass loss (Δp): 1 – mass loss; 2 – specific surface

переход в α -оксид алюминия – корунд. Подобные процессы могут происходить в контактной зоне трения, где температуры достигают сотен градусов и доходят до 1000°C. В результате на поверхности трения может происходить разложение бемита с образованием корунда. Немаловажную роль в фазовых превращениях могут играть и механические напряжения в местах соприкосновения деталей. Температура повышается и в объеме металла около зоны трения – измерения показали 70–100°C.

formed gap decreases and the unit resource increases.

Many tribo-materials contain active natural components, which are heterogeneous in chemical and mineralogical composition, what leads to variation in tribological properties and may even cause the units failure. This forces developers to look artificial tribo-materials with stable properties [4]. Such additives can be created based on monohydroxy aluminum (boehmite), an artificial material with stable properties. Like graphite and molybdenum disulfide, the boehmite

has a layered structure, which effectively reduce the friction. In these compounds the connection is strong in the plane of the layer (covalent or ionic) and significantly less strong in the perpendicular plane (metallic, van Der Waals forces or hydrogen, as in the boehmite). This structure provides a sliding of the layers relative to each other and a low coefficient of friction. The basis of the structure of boehmite create alternating pairs of oxygen (internal) and hydroxyl (external) layers. The aluminum atoms in the crystal lattice of boehmite are surrounded by a deformed

octahedral group of oxygen atoms. The studies showed the good potential of boehmite as a tribo-material [5].

The aim of this study was to estimate the structure, thermal and tribological properties of nanostructured boehmite obtained by hydrothermal synthesis, for different periods of operation of the engine.

MATERIALS AND METHODS

A powder of boehmite was used that was obtained by hydrothermal oxidation of aluminum powder [6]. The microstructure of powder was determined



Таблица 1. Изменение структуры порошка при термообработке
Table 1. Changes in the structure of the powder after heat treatment

Образец Sample	Фазовый состав Phase composi- tion	Удельная поверх- ность, м ² /г Specific sur- face, m ² /g	Размер кри- сталлита, нм Crystallite size, nm
Исходный бемит Initial boehmite	$\gamma\text{-AlOOH}$	75,3	31,2
Обжиг при 500°C Baking at 500°C	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{-AlOOH}$	111,5	7,3
Обжиг при 900°C Baking at 900°C	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$	50,9	9,0
Обжиг при 1050°C Baking at 1050°C	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	31,9	29,8
Обжиг при 1300°C Baking at 1300°C	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	6,8	83,9

По данным рентгеноструктурного анализа, область когерентного рассеяния, характеризующая размер кристаллов исходного порошка, составляла 20–40 нм для разных партий порошка и не превышала 80 нм. На сканирующем микроскопе можно было наблюдать как отдельные частицы, так и агрегаты частиц преимущественно размером 2–3 мкм, максимально – до 10 мкм. Таким образом, бемит гидротермального синтеза можно характеризовать как наноструктурный материал.

Исследования на ЧШМТ показали, что введение 1% бемита в моторное, промышленное и рапсовое масла уменьшает диаметр пятна износа до 34% при температуре 150°C, а для некоторых масел – и при комнатной температуре (табл.2).

Испытания на задиры на специальном приспособлении фирмы Wagner показали, что введение бемита повышает противоизносные и противозадирные свойства:

- время опыта до задиры – остановки электродвигателя увеличилось на 37–40%;
- потребляемый ток электродвигателя уменьшился на 15–20%;
- усилие прижима образца к контр-образцу до полной остановки электродвигателя увеличилось на 40–50%;
- величина износа образца уменьшилась на 15–20%.

Триботехнические свойства пластичных смазок, куда вводили бемит в качестве загустителя, определяли также на ЧШМТ. Добавление 10% порошка бемита улучшило как противоизносные свойства (критическая нагрузка увеличилась с 863 до 1570 Н), так и противозадирные свойства (нагрузка сваривания выросла с 1471 до 1962 Н), а индекс задиры с 43 до 62 единиц.

На машине трения 2070 СМТ-1 проводили испытания по схеме установки и нагружения образцов "ролик-колодка". Частота вращения вала машины составляла 1000 мин⁻¹, колодку вырезали из гильзы цилиндра дизеля Д-240. Испытания моторного масла М-10ДМ с добавкой бемита после УЗО показали, что 0,5% порошка бемита уменьшают коэффи-

using optical and scanning probe microscopes SolverNext (NT-MDT); the chemical composition was determined using atomic emission spectrometer with inductively-coupled plasma iCAP 6300MFC Duo (boehmite powder was dissolved in hydrofluoric acid); phase composition, crystallinity and size of crystals was determined using x-ray diffractometer Shimadzu XRD 6000 (Japan); specific surface area was determined by method of low-temperature nitrogen adsorption using Autosorb-1 device. Tribological studies were conducted using four-ball friction

machine, a special device by Wagner, as well as 2070 SMT-1 and MTU friction machines.

Running-in of a new D-243 diesel engine was performed on a modernized test bench CI-3540-GOSNITI. Crankcase emissions was measured by the gas meter, continuously measuring fuel consumption. The control system allowed to register in time with a given counts increment the variation of speed of the motor shaft, torque on shaft, oil pressure in the engine lubrication system, oil temperature, water temperature in the cooling system of the engine, fuel consumption. Oil

samples were taken to estimate the concentration of mechanical impurities during running-in without boehmite and with him four times: after three minutes from the start of cold running-in, after cold and after hot running-in, and after the test for durability. The Surtronic-3P profilometer (Taylor Hobson, Denmark) was used to estimate the roughness of the cylindrical surfaces of piston rings, inserts of base and crankpin bearings before and after running-in.

Researches are conducted with use of only one engine. Before each test it was assembled with



Таблица 2. Результаты испытаний на ЧШМТ

Table 2. Tests on four-ball friction machine

Вид масла, количество добавки Oil type, amount of additive	Диаметр пятна износа, мм Wear scar diameter, mm	
	Испытания при температуре 20 °С Tests at 20 °C	Испытания при температуре 150 °С Tests at 150 °C
Масло моторное М-10 Г2К M-10 G2K motor oil	0,25	0,19
М-10 Г2К + 1% бемита M-10 G2K + 1% of boehmite	0,20	0,18
Масло промышленное И-20А I-20A industrial oil	–	0,33
И-20А + 1% бемита I-20A + 1% of boehmite	–	0,22

коэффициент трения до 0,05, а температуру в зоне трения – с 54 до 45 °С.

На машине трения МТУ проводили испытания пары трения "пластина-ролик" (материал Ст.10). Как видно из табл.3, введение около 0,01% бемита в промышленное масло И-20 уменьшает износ ролика в 5,9 раз, а пластины – в 5,6 раз. В солидоле при концентрации около 9% износ уменьшился соответственно в 2,1 и 2,8 раз. Корундовый порошок в смазке (концентрация около 2,4%) проявляет абразивные свойства, что приводит к возрастанию износа.

Сравнительные испытания использующихся в настоящее время трибопрепаратов показали, что

Таблица 3. Результаты триботехнических испытаний

Table 3. Results of tribological tests

Состав смазки Lubricant composition	Износ ролика, мг Wear of the roller, mg	Износ пластины, мг Wear of the plate mg	Температура среды, °С Ambient temperature, °C
И-20 I-20	9,4	5,6	25-30
И-20 (50 мл) + бемит (7,6 мг) I-20 (50 ml) + boehmite (7,6 mg)	1,6	1,0	35-40
Солидол Solid oil	4,2	6,1	25-30
Солидол (1 г) + Al_2O_3 (0,025 г) Solid oil (1 g) + Al_2O_3 (0.025 g)	14,0	8,0	40-45
Солидол (1 г) + бемит (0,1 г) Solid oil (1 g) + boehmite (0,1 g)	2,0	2,2	25-30

наиболее эффективны многокомпонентные составы, содержащие, кроме смеси минералов, металлоорганическое поверхностно-активное вещество (ПАВ). Наноструктурный бемит в композиции с ПАВ, подвергнутый ультразвуковой обработке (УЗО), повысил нагрузочную способность пары в сравнении с маслом более чем в 2 раза и в 1,8 раза – по сравнению с составом, содержащим бемит без УЗО и ПАВ. В результате, в диапазоне давлений 200–550 Н коэффициент трения уменьшился до 0,044–0,05 (рис.2).

new parts of cylinder group, new upper head bushings and connecting rod inserts. In all cases, the boehmite was added into the oil with continuous rubbing by the method of serial dilutions.

STUDY OF THE STRUCTURE, THERMAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF BOEHMITE

Different batches of boehmite obtained by hydrothermal synthesis were used. Its distinguishing feature is the high degree of homogeneity, the stability of composition and structure in different batches. According to x-ray diffraction and petrographic

analyses, in contrast to the powders of aluminum hydroxide, the boehmite of hydrothermal synthesis is well crystallized and consists of monohydrated aluminum $AlOOH$. Loss on ignition corresponds to the stoichiometric 15 wt.% (fig. 1). The synthesis process was modified to obtain powders of high purity. According to the spectral analysis, when using aluminum powder of high purity and deionized water, the impurity content does not exceed of 0.07 wt.%.

During heat treatment of boehmite, the release of water begins at 350–400 °C and is

accompanied by the destruction of the crystal structure with the formation of anhydrous forms of aluminum oxide – gamma, delta, alpha and others (table.1). The observed increase in specific surface area caused by the destruction of structure and particle size reduction. Further reduction of the surface occurs as a result of sintering and recrystallization. According to petrographic and x-ray diffraction analysis, the transition into α -aluminum oxide (corundum) completes at 1300 °C. Similar processes can occur in the contact area of friction, where temperatures reach

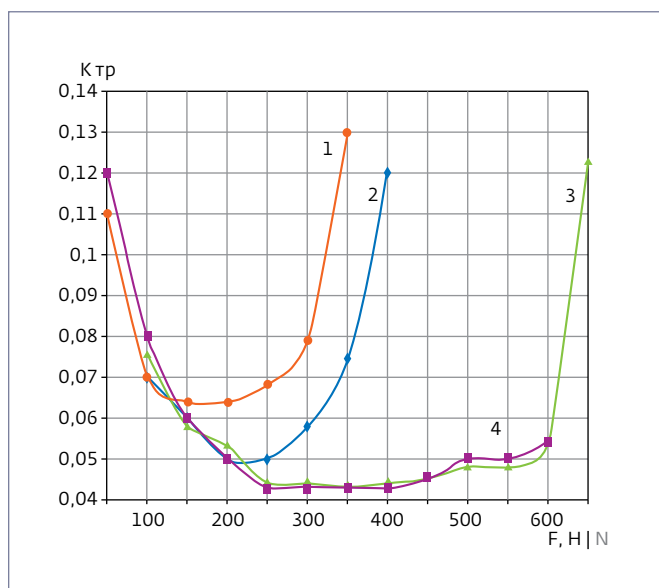


Рис.2. Коэффициент трения пары "хромированный ролик-чугунная колодка" на машине трения СМТ-1 в условиях ступенчатого нагружения (длительность по 5 мин, скорость 3,14 м/с): 1 – чистое масло М-10ДМ; 2 – 0,5% масс. бемита без УЗО; 3 – препарат "Стрибойл" + 0,5% масс. бемита после УЗО; 4 – соль меди жирных кислот + 0,5% масс. бемита после УЗО

Fig.2. The coefficient of friction for the "chrome plated roller-cast iron shoe" pair on the SMT-1 friction machine during step-wise loading (duration of 5 min, the speed of 3,14 m/s): 1 – pure M-10DM oil; 2 – 0.5 wt.% of boehmite without the ultrasonic treatment; 3 – Striboil compound + 0.5 wt.% of boehmite after the ultrasonic treatment; 4 – copper salt of fatty acid + 0.5 wt.% of boehmite after ultrasonic treatment

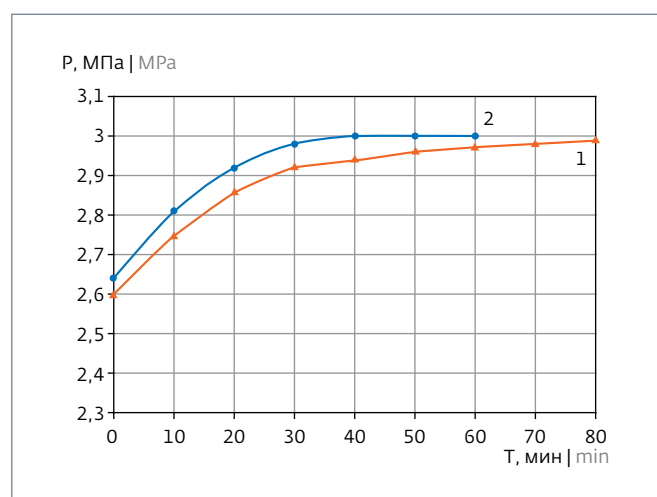


Рис.3. Динамика компрессии при приработке дизеля Д-243: 1 – без присадки; 2 – с присадкой бемита

Fig.3. Dynamics of compression in D-243 diesel engine running-in: 1 – without additives; 2 – with boehmite

УЗО измельчает агрегаты бемита и повышает устойчивость суспензии. Повышению агрегативной устойчивости способствует и добавка ПАВ. Без такой обработки и добавки ПАВ может происходить расслоение суспензии при длительном хранении. Низкий коэффициент трения и износ (определяли по длине лунки износа) позволяют предположить большой ресурс трибосопряжений. Добавка наноструктурного бемита повысила эффективность исследуемых промышленных трибобрепаратов.

hundreds of degrees and reach up to 1000°C. As a result, decomposition of the boehmite may occur on the friction surface with the formation of corundum. Mechanical stress in contact area can play an important role in phase transformations. The temperature rises also in the volume of metal around the zone of friction (measurements showed 70-100°C).

According to x-ray diffraction, coherent scattering area, which characterizes the size of the crystals of the initial powder, was 20-40 nm for different batches of powder and did not

exceed 80 nm. Scanning microscope enabled to observe separate particles and aggregates of particles predominantly of 2-3 microns in size, and up to 10 microns. Thus, the boehmite of hydrothermal synthesis can be defined as a nanostructured material.

Research on four-ball friction machine showed that the introduction of 1% of the boehmite in the engine, industrial and rapeseed oil reduces the wear scar diameter of up to 34% at a temperature of 150°C, and at room temperature for certain oils (table.2).

Scuffing test using special device by Wagner showed that

the introduction of boehmite improves the antiwear and anti-welding properties:

- the time until the scuffing (stop) of the motor increased by 37 to 40%;
- current consumption of the electric motor decreased by 15-20%;
- the pressing force of the sample to counter until a complete stop of the motor increased by 40-50%;
- the amount of wear of the sample decreased by 15-20%.

Tribological properties of greases with the boehmite as a thickener, were also determined

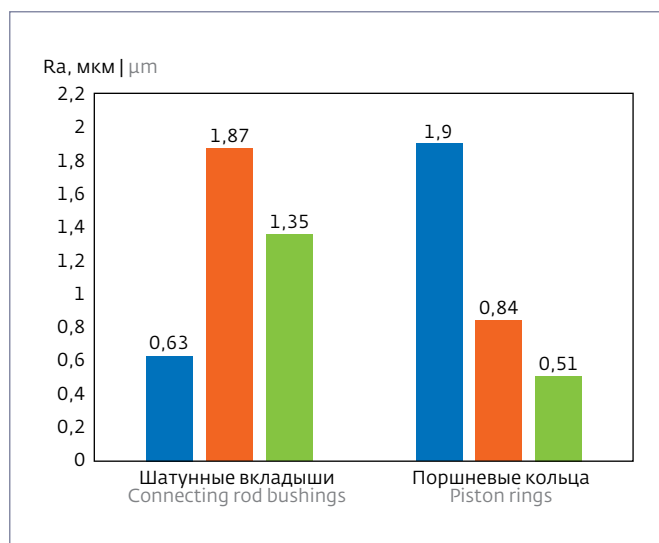


Рис.4. Изменение шероховатости поверхностей деталей при разных приработках: 1 – до приработки; 2 – после приработки без присадки; 3 – после приработки с присадкой бемита

Fig.4. Changing of surface roughness of parts by running-in in different conditions: 1 – before running-in; 2 – after running-in without additive; 3 – after running-in with boehmite

Приработка дизеля Д-243 при использовании бемита показала стабилизацию компрессии в цилиндрах на уровне 3,0 МПа через 30–40 мин. Без бемита для этих значений компрессии требовалось не менее 80 мин (рис.3). Шероховатость вкладышей и поршневых колец после приработки без бемита больше, чем

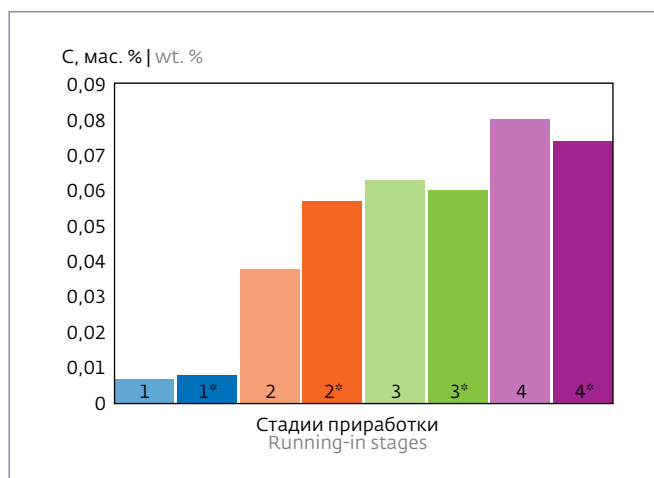


Рис.5. Содержание механических примесей в масле при разных приработках: 1 – через 3 мин после начала холодной приработки; 2 – конец холодной приработки; 3 – конец горячей приработки; 4 – конец испытаний на износостойкость; * – приработка с присадкой бемита

Fig.5. Content of mechanical impurities in oil by running-in in different conditions: 1 – 3 min after start of cold running-in; 2 – the end of cold running-in; 3 – end of hot running-in; 4 – end of the durability testing; * running-in with boehmite

с ним в 1,38–1,65 раза (рис.4). Содержание механических примесей в масле при разных приработках приведено на рис.5, а расход картерных газов – на рис.6.

Из экспериментальных данных следует, что после холодной приработки с бемитом суммарный износ сопряжений дизеля на 34% больше, чем при при-

using four-ball friction machine. Adding of 10% of a powder of boehmite has improved anti-wear properties (critical load increased from 863 N to 1570 N) and antiwelding properties (welding load increased from 1471 N to 1962 N, while the scuffing index increased from 43 to 62 units).

Using the 2070 SMT-1 friction machine the testing was performed according to the scheme of loading "roller-shoe". The shaft speed of the machine was 1000 min⁻¹, the shoe was cut from a cylinder liner of the D-240 diesel engine. The test of

the M-10DM engine oil with the addition of boehmite after the ultrasonic machining showed that 0.5% of the boehmite powder reduces the friction coefficient to 0.05, and the temperature in the friction zone – from 54 to 45°C.

The testing of the friction pair "plate-roller" (steel St10) was performed using the MTU friction machine. As can be seen from the table.3, addition of about 0.01% boehmite in the industrial oil I-20 reduces the wear of the roller in 5.9 times, and of the plate – in 5.6 times. In the solid oil at a concentration of about 9%

the wear decreased, respectively, in 2.1 and 2.8 times. Corundum powder in the lubricant (concentration of about 2.4 %) has abrasive properties, which leads to increased wear.

Comparative tests of the up-to-date tribo-materials has shown that the most effective are multi-component formulations containing, in addition to the mixture of minerals, organometallic surface-active agents (surfactants). Nanostructured boehmite in the composition with surfactant after ultrasonic treatment increased the load capacity of



работке без него, но суммарный износ за всю приработку с бемитом на 5,8% меньше. Расчет времени приработки, необходимого на увеличение содержания механических примесей в масле на один процент, показал повышение износостойкости сопряжений двигателя на 22% (с 27,77 ч/% при приработке без присадки до 35,71 ч/%). В целом ввод бемита повысил износостойкость дизеля и уменьшил приработочный износ. Через 60 мин приработки износ первого компрессионного кольца с использованием бемита был меньше в 2 раза, расход картерных газов – в 1,6 раз, а температура масла – на 15–20°C.

Максимальная эффективная мощность дизеля, приработанного в течение 90 мин на масле с бемитом, составила 52,5 кВт, удельный расход топлива – 257 г/л.с.ч., что близко к показателям дизеля после 50–100 ч работы. А при приработке двигателя на простом масле в течение тех же 90 мин его наибольшая мощность была около 45 кВт, удельный расход топлива – около 270 г/л.с.ч. После 120 мин износ первого компрессионного кольца оказался меньше в 2,5 раза, а расход картерных газов – на 12,7%.

Далее дизель работал с переменной нагрузкой 70 ч: 30 ч с возрастающей нагрузкой, остальное время с нагрузкой 50 кВт при 1800 об/мин. В конце испытаний существенной разницы в износе верхнего компрессионного кольца в обоих случаях не выявлено. Средний расход картерных газов при использовании бемита составлял 11,0 л/мин, а с обычным маслом – 12,6 л/мин.

В целом использование бемита уменьшило время полной приработки дизеля Д-243 в 1,8–2 раза, началь-

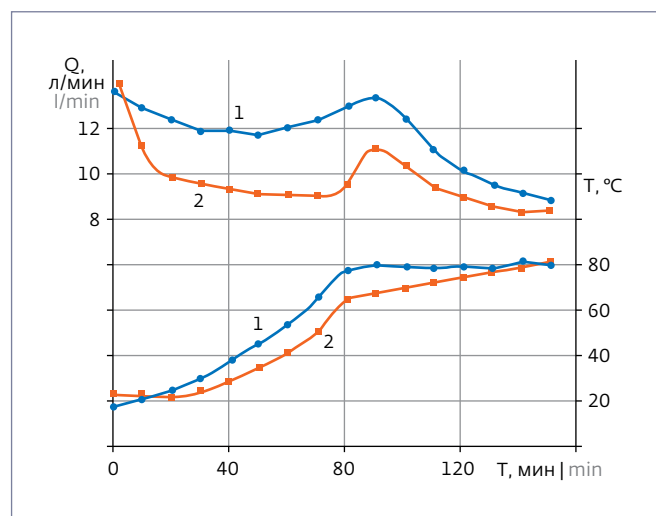


Рис.6. Динамика расхода картерных газов (Q) и температуры масла (T) при приработке дизеля Д-243 на масле М-63/14Г без присадок (1) и с присадкой бемита (2)

Fig.6. Dynamics of crankcase emissions (Q) and oil temperature (T) during running-in of D-243 diesel engine with use of M-63/14G oil without additives (1) and with boehmite (2)

ный износ первого компрессионного кольца – в 2,5 раза, расход картерных газов – на 12,7%, а масла – на 27%.

Принимая во внимание положения трибологии, роль бемита в трибосреде со стандартными смазками можно свести к следующему:

- подшлифовка поверхностей трения, повышение чистоты поверхностей, снижение механической составляющей коэффициента трения;

the pair, in comparison with the oil, in more than 2 times and in 1.8 times compared with the composition containing boehmite without the ultrasonic treatment and surfactants. As a result, in the pressure range from 200 N to 550 N the coefficient of friction decreased to 0.044–0.05 (fig.2).

Ultrasonic treatment reduces size of aggregates of boehmite and improves the stability of the suspension. Surfactant also contributes to aggregate stability. Without this treatment and surfactants can occur stratification of the suspension during

storage. Low coefficient of friction and low wear (determined by the length of the hole of the wear) suggest long life of friction units. Nanostructured boehmite additive improved the efficiency of the investigated industrial tribo-materials.

Running-in of the D-243 diesel engine with use of boehmite showed stabilization of the compression in the cylinders at the level of 3.0 MPa after 30–40 min. Without boehmite for these values of compression was required not less than 80 min (fig.3). The roughness of the liners and piston rings after running-in

without boehmite is greater than with him in 1.38–1.65 times (fig.4). Content of mechanical impurities in oil is shown in fig.5, and the crankcase emissions – in fig.6.

Experiments show that after the cold running-in with the boehmite total wear of mates of the diesel is 34% higher than when running without boehmite, but the total wear during the entire running-in with boehmite is 5.8% less. The calculation of the running time required to increase the content of mechanical impurities in oil by one percent, showed improvement in



- очистка поверхностей трения от наслоений, оксидных пленок и дефектных структур, что обеспечивает доступ частиц бемита к каталитически активным поверхностям металлов и ускоряет образование антифрикционных покрытий;
- адсорбция на поверхности частиц бемита смолистых веществ, что создает частицы, разделяющие детали ("третьи тела" в трибопаре), которые уменьшают коэффициент трения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования структуры, термических и триботехнических свойств бемита гидротермального синтеза, который имеет нанокристаллическое строение, высокую фазовую и химическую чистоту, показали, что он обладает антифрикционными, противозносными и противозадирными свойствами. В композиции с ПАВ, подвергнутый УЗО, повышает нагрузочную способность пары более чем в два раза, уменьшает коэффициент трения до 0,044–0,055.

Добавка бемита до двух раз ускоряет и повышает качество приработки двигателей. Разработаны рекомендации по обкатке ДВС с использованием наноструктурного бемита.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности продолжения изысканий в этом направлении и проведения дальнейших лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение о предоставлении субсидии №14.613.21.0004 от 22.08.2014 г. Уникальный идентификатор проекта RFMEFI61314X0004).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность) // – М.: Изд-во МСХА, 2001, 616 с.
2. Черноиванов В.И. Восстановление деталей машин. – М.: ГОСНИТИ, 1995, 278 с.
3. Мазалов Ю.А., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Ольховацкий А.К., Федотов А.В. Энергосбережение при применении трибопрепаратов в смазочных маслах // Труды 7-й Международной научно-технической конференции (18–19 мая 2010 года, Москва, ГНУ ВИЭСХ) // М.: ОНО "Типография Россельхозакадемии", 2010, ч.5. С. 169–174.
4. Селютин Г.Е. и др. Применение модифицированных наноалмазов для увеличения ресурса узлов трения // Труды ГОСНИТИ. 2011 (107, ч. 2). С. 25–29.
5. Гвоздев А.А., Дунаев А.В., Мазалов Ю.А., Ольховацкий А.К., Федотов А.В. Износостойкие триботехнические покрытия / Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка // Материалы докладов 9-й международной научно-технической конференции - Минск, Беларусь 29–30 сентября 2010 г. – Минск: Институт порошковой металлургии ГНПО ПМ, 2010. С. 184–185.
6. Мазалов Ю.А., Берш А.В., Иванов Ю.Л. Способ получения гидроксидов или оксидов алюминия и водорода. Патент РФ № 2278077 по заявке на изобретение № 2005121562 от 11.07.2005 г. Опубл. 20.06.2006.

the wear resistance of the mating of the engine by 22% (27.77 h/% while running-in without additives to 35.71 h/%). In general, the addition of the boehmite increased the durability of diesel and reduced running-in wear. After 60 min running-in the wear of the first compression ring with the use of boehmite was less in 2 times, the crankcase emissions – less in 1.6 times, and the oil temperature – less by 15–20°C.

The maximum effective power of diesel after 90 min. of running-in with use of oil with boehmite was 52.5 kW, and

specific fuel consumption was 257 g/l, what is close to the performance of a diesel engine after 50–100 hours of work. And after 90 min. of running-in with use of oil without additives the maximum power was about 45 kW, and the specific fuel consumption was about 270 g/l. After 120 min. the wear of the first compression ring was less in 2.5 times, and crankcase emissions – less by 12.7 %.

Further, the diesel engine was running with variable load during 70 h: 30 h with increasing load, the rest of the time with load of 50 kW at 1800 rpm. The

test showed no significant difference in wear of top compression rings in both cases. The average crankcase emissions when using boehmite was 11.0 l/min, and when using a conventional oil – 12.6 l/min.

In general, the use of boehmite decreased the time of the full running-in of D-243 diesel engine in 1.8–2 times, initial wear of the first compression ring in 2.5 times, the flow of crankcase emissions by 12.7%, oil consumption by 27 %.

Taking into account the knowledge about tribology, the role of the boehmite in an environment



ТАТАРСТАН И НОРВЕГИЯ ИССЛЕДУЮТ ВЛИЯНИЕ НАНОТРУБОК НА ЧЕЛОВЕКА

8 сентября Центр нанотехнологий Республики Татарстан посетили представители Норвежского института общественного здоровья (Осло). Результатом визита стали договоренность об исследовании на базе наноцентра физико-химических свойств различных типов нанотрубок.

Встреча началась с экскурсии по аналитическо-исследовательскому комплексу. Эксперт наноцентра Елена Воронина и другие сотрудники показали возможности лабораторного оборудования для исследований в области экологической медицины, фармацевтической токсикологии, загрязнения воздуха. "Оптимальный прибор для этих целей – информационный комплекс МИМ-340 на базе лазерного конфокального микроскопа нового поколения. Его установил у нас для тестирования российский разработчик оптико-электронной аппаратуры – холдинг "Швабе", – пояснил Дмитрий Пашин, генеральный директор Центра нанотехнологий РТ.

Директор отдела атмосферного загрязнения и шума Пер Шварце констатировал важность исследований в области токсикологии, в частности, определения влияния токсических эффектов углеродных нанотрубок на работников производственных предприятий. Магне Рефнес, главный научный сотрудник отдела атмосферного загрязнения и шума: "Нанотоксикология – это достаточно новое направление в науке, особенно, в части изучения молекулярно-клеточных механизмов. Совместно с Казанским государственным медицинским университетом мы планируем провести комплексное исследование с оценкой профессиональных экспозиций, обусловленных углеродными нанотрубками, и изучением повреждений легочной ткани. Надеемся, что наноцентр нам в этом поможет".

Центр нанотехнологий РТ

ФОЛЬГА С SWCNT-ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ ЛИТIEВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА



На выставке The Battery Show 2015 (Мичиган, США) российская компания OCSiAl представила фольгу TUBALL FOIL для улучшения разрядных характеристик литий-ионных батарей.

Новинка имеет покрытие из одностенных углеродных нанотрубок (SWCNT) толщиной менее 100 нм, причем ее эффективность намного выше представленных на рынке аналогов с графеном. TUBALL FOIL позволяет уменьшить поверхностное сопротивление по сравнению с обычной фольгой, улучшает адгезию, обеспечивает достижение более высоких разрядных токов и больший срок жизни батареи. Этот продукт – следующий шаг OCSiAl на энергетический рынок после TUBALL BATT, универсального модификатора для химических источников тока, уже известного по сотрудничеству с CM Partner.

The Battery Show – ежегодное событие, включающее выставку и конференцию, посвященные источникам энергии. В этом году The Battery Show посетило около 5 тыс. специалистов.

OCSiAl

with standard greases can be summarized as follows:

- grinding of the friction surfaces, improving surface smoothness, reducing the mechanical component of the friction coefficient;
- cleaning of friction surfaces, removing oxide films and defect structures. This ensures access of the boehmite particles to catalytically active metal surface and accelerates the formation of anti-friction coatings;
- adsorption on the surface of the boehmite particles of resinous substances. Created particles separate the parts ("third body"

in tribosystem) and reduce the coefficient of friction.

CONCLUSION

Study the structure, thermal and tribological properties of boehmite of hydrothermal synthesis, which has a nanocrystalline structure, high phase and chemical purity, has shown that it has anti-friction, anti-wear and antiwelding properties. In compositions with surfactants and after ultrasonic treatment it increases the load capacity of the pair in more than two times, reduces the friction coefficient to 0.044-0.055.

The addition of boehmite up to two times accelerates and improves the quality of engines running-in. Recommendations are developed for running-in of engines using nanostructured boehmite.

The obtained results indicate the prospects of further research in this area and of the conducting of laboratory, bench and operational tests.

The study was performed with financial support of Ministry of Education and Science of the Russian Federation (agreement No.14.613.21.0004 from 22.08.2014, unique identifier of the project RFMEFI61314X0004). ■