

## ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАВИТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

© 2011 О.П. Стебелева, Л.В. Кашкина, В.А. Кулагин

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Поступила в редакцию 22.03.2011

В работе рассматривается эффективность использования углеродных наномодификаторов в композиционных смазочных материалах, полученных методом низкочастотной гидродинамической кавитации. Показано, что использование данного материала в качестве добавок в малых весовых концентрациях приводит к значительному уменьшению износа трущихся стальных поверхностей.

Ключевые слова: кавитация, наномодификаторы, фуллерены, смазочные материалы, износостойкость

В последние годы одной из наиболее бурно развивающихся областей науки является физика и химия наноструктур. Среди наноструктур наибольший интерес вызывают прежде всего объекты, основанные на углероде – фуллерены, углеродные нанотрубки (УНТ), графены, ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Фуллерен (новая аллотропная форма углерода) – полая молекула сферической формы (рис. 1), напоминающая футбольный мяч и состоящая из 60 и более атомов углерода.

Самый распространенный метод синтеза фуллеренов – распыление графитового анода в плазме дугового разряда в атмосфере инертного газа (метод Хаффмана-Кречмера). Молекулы

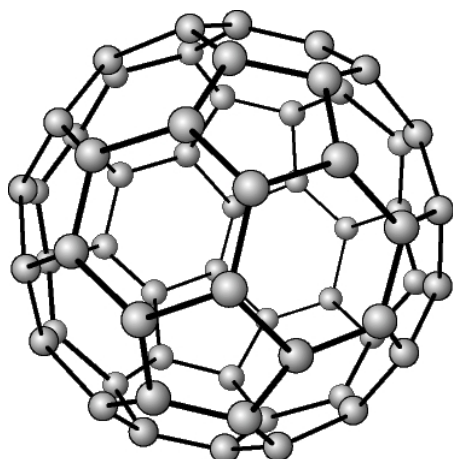


Рис. 1. Фуллерен  $C_{60}$

фуллеренов являются сильными окислителями. Первые зарубежные публикации, а также патенты Японии и США, выданные в начале 90-х годов, показали, что фуллерены  $C_{60}$  перспективны в качестве антифрикционных покрытий, твердых смазок и присадок к смазочным маслам. Фуллереновая сажа (ФС) – материал, экономически более доступный чем фуллерен, по своему строению и свойствам близка к фуллеренам  $C_{60}$ . Фуллерен  $C_{60}$  рассматривают как универсальный молекулярный подшипник. Он может использоваться и в маслах, и в твердых покрытиях при различных нагрузках и скоростях движения трущихся поверхностей.

В работе [1] и др. показано положительное влияние  $C_{60}$  в качестве антиизносной и антифрикционной присадки к промышленному маслу И-40А на характеристики трения пары сталь–медь. Результаты трибологических испытаний с использованием ФС в качестве присадки к маслу И-40А были практически такие же, как и в случае присадки к маслу И-40А чистого  $C_{60}$ . В [2] исследовано влияние фуллеренов на изнашивание фторопластов от давления. Выявлено 30%-ое повышение несущей способности при введении 1% фуллереносодержащей сажи. Эффективность введения малых добавок фуллереносодержащей сажи в пластичную смазку ЦИАТИМ-201 изучена в работе [3]. Наблюдается снижение коэффициента трения порядка 15% и уменьшение износа на 50%. В работе сообщается о том, что малые добавки фуллереносодержащей сажи вызывают резкое уменьшение интенсивности изнашивания. Рассматривается механизм «залечивания» микротрещин, если наночастицы состоят из фрагментов фуллерена. Весьма перспективными в смазочных материалах различного назначения оказались ультрадисперсные алмазографитовые порошки детонационного синтеза (УДП-АГ). Результаты исследований [4] подтвердили целесообразность и высокую эффективность использования УДП-АГ в качестве твердых добавок к смазочным материалам.

Стебелева Олеся Павловна, старший преподаватель кафедры теплотехники и гидрогазодинамики. E-mail: olessteb@rambler.ru

Кашкина Людмила Васильевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теплофизики. E-mail: sfugeo@mail.ru

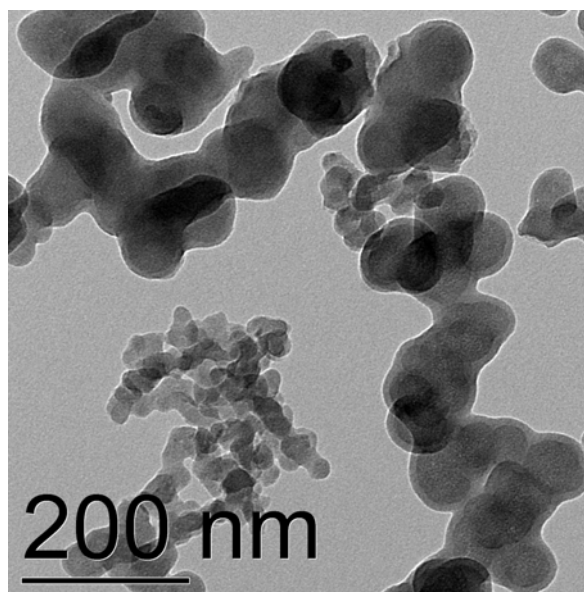
Кулагин Владимир Алексеевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой теплотехники и гидрогазодинамики. E-mail: v.a.kulagin@mail.ru

**Цель работы** – путем кавитационной обработки сажевых водных суспензий улучшить эксплуатационные свойства саж с целью их дальнейшего использования в смазочных материалах. Техника гидродинамического кавитационного воздействия детально описана в [5]. Суть гидродинамического воздействия может быть сведена к действию 2 механизмов: распространению ударных волн вблизи схлопывающегося кавитационного микропузырька и ударному действию кумулятивных микроструек при несимметричном коллапсе кавитационных микропузырьков. За счет трения внутри жидкости наблюдается электризация пузырьков. При схлопывании пузырьков возникают локальные области сверхвысоких давлений и температуры как в горячей плазме ( $T_{\max} \sim 1000-15000$  К,  $P_{\max} \sim 1000$  МПа; окрестность вокруг кавитационного пузырька после схлопывания можно рассматривать как плазму), делая локальную область около него уникальным реактором для проведения различных реакций и процессов. Таким образом, кавитационная технология включает в себя элементы технологии получения фуллеренов и ультрадисперсные алмазов детонационного синтеза. Однако следует учитывать тот факт, что кавитация происходит в воде и ее состояние играет большую роль. Время релаксации для ряда процессов в воде при  $T = 20$  °С,  $t = 10^{-11} \div 10^{-13}$  с, а для некоторых – до  $t \approx 10^{-14}$  с. В связи с тем, что продолжительность конечной стадии коллапса пузырька  $t = 10^{-9} \div 10^{-8}$  с, становится возможным механолиз воды с образованием ионов  $H^+$  и  $OH^-$ , молекулярного кислорода, перекиси водорода ( $H_2O_2$ ). Это активизирует процессы передачи энергии и перезарядки с участием молекул воды.

**Получение образцов для исследования.** Кавитационная обработка проводилась на водных суспензиях саж с помощью кавитационного миксера с блоком управления и питания [6]. Мощность двигателя составляет 1 кВт, объем рабочей камеры  $3 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>. В качестве рабочего органа использовалась двухлопастная крыльчатка с клиновидным профилем, с углами раскрытия клина от 10 до 90°, регулируемым числом оборотов до 15000 об/мин., что обеспечивает получение чисел кавитации до  $\chi=0,05$ . После окончания обработки суспензия отстаивалась в течение нескольких часов, при этом часть сажи выпадала на дно (фракция 1); часть оставалась в состоянии устойчивой взвеси (фракция 2). Взвесь выливали в чашку Петри и высушивали на воздухе в течение нескольких суток. Диспергирование сажевого порошка осуществлено в эксперименте до нанометровых размеров (рис. 2).

На всех режимах кавитационной обработки исследованных 7 типов саж наименьшая коагуляционная способность или большая седиментационная устойчивость наблюдалась у древесной сажи. Поэтому в дальнейшем использовались

образцы древесной сажи после кавитационного воздействия (фракция 2, кавитационно-обработанный материал КАУМ) – те сажевые частицы, которые большее время находились в зоне интенсивного кавитационного воздействия.



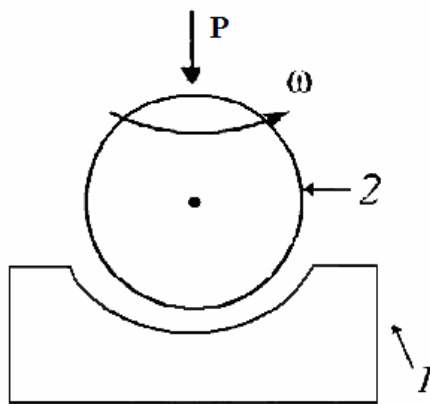
**Рис. 2.** Электронно-микроскопический снимок диспергированного сажевого порошка. Увеличение  $\times 30000$ , микроскоп JEOL JEM-2100

В таблице приведен состав используемой сажи (рентгеновский флуоресцентный спектрометр S-4 Pioneer фирмы Bruker, точность 0,001% в зависимости от элемента). Несмотря на то, что в образце присутствовало до 5% примесей, эти примеси в результате турбулентного перемешивания выпадают в осадок. Это было исследовано в работах [7, 8]. Поэтому количество примесей в КАУМ не более чем в фуллерено содержащих сажах.

**Таблица.** Состав сажи

Элемент	Состав древесной сажи, %
C	94,58
Na	
Mg	0,1
Al	0,18
Si	0,382
P	0,1
S	0,356
Cl	0,11
K	0,373
Ca	0,639
Cr	
Fe	3,001
Co	
Ni	
Cu	
Zn	0,0759

**Трибологический эксперимент.** Приготовление смазочных композиций осуществлялось путем добавления в 50 мл индустриального масла И-20А порошка КАУМ, предварительно растворенных в капле бензина, с последующим механическим перемешиванием в течение 1-2 минут. Используемые концентрации порошков до 3% по массе. Трибологические испытания проводились на машине трения КТ-2 (рис. 3). Испытуемая пара сталь ШХ15–сталь 45 (подставка–подшипник). Нагрузка  $P$  составляла 25 Н, скорость вращения 800 об/мин. Испытывалось 5 однотипных образцов при одинаковых условиях испытаний. В результате проведенных экспериментов получено, что наиболее эффективно использование КАУМ в малых дозах концентрации (до 0,1% по массе). Износ стальных поверхностей уменьшается почти в 2 раза.



**Рис. 3.** Четырехшариковая машина трения КТ-2: 1 – неподвижная подставка, 2 – испытуемый подшипник

**Выводы.** Полученные результаты показали, что при определенных режимах обработки сажевой взвеси путем гидродинамической кавитации можно диспергировать сажевый порошок вплоть до наноразмеров. Использование такого порошка в качестве добавок в малых весовых

концентрациях приводит к значительному уменьшению (почти в 2 раза) износа трущихся стальных поверхностей. При этом концентрации вводимого порошка на порядок меньше используемых концентраций углеродных наномодификаторов трения, описанных в литературе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Точильников, Д.Г. Влияние  $C_{60}$ -содержащих присадок к смазочному маслу на оптимизацию процессов изнашивания при граничном трении металлов / Д.Г. Точильников, Б.М. Гинзбург // ЖТФ. 1999. Т. 69, № 6. С. 102-105.
2. Гинзбург, Б.М. О механизмах увеличения износостойкости композитов на основе политетрафторэтилена, допированного фуллереновой сажей / Б.М. Гинзбург и др. // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33, № 20. С. 88-94.
3. Цветков, Ю.Н. Влияние фуллереновой сажи и дисульфида молибдена на трибологические характеристики пластичной смазки ЦИТАИМ-201 / Ю.Н. Цветков, В.С. Патраков // Трение, износ, смазка. 2008. Т. 10. № 1. www.tribo.ru
4. Витязь, П.А. Влияние материала фрикционной пары на триботехнические свойства консистентной смазки, модифицированной ультрадисперсными алмазами / П.А. Витязь, В. И. Жорник, В. А. Кукаренко и др. // Трение и износ. 2000. (21). № 5. С. 527-533.
5. Ивченко, В.М. Кавитационная технология / В.М. Ивченко, В.А. Кулагин, А.Ф. Немчин; ред. Г.В. Логвинович. – Красноярск: Изд-во КГУ, 1990. 200 с.
6. Кулагин, В.А. Суперкавитационный миксер / В.А. Кулагин // Гидродинамика больших скоростей. - Красноярск: КрПИ, 1992. С. 134-140.
7. Стебелева, О.П. Утилизация золы на базе физико-химических превращений при кавитационном воздействии / О.П. Стебелева, Л.В. Кашкина, В.А. Кулагин, Л.В. Кулагина // Вестник МАНЭБ. 2009. Т. 14, № 6. С. 238-242.
8. Кулагин, В.А. Получение углеродосодержащих наноструктур методами кавитационной технологии / В.А. Кулагин, Л.В. Кашкина, Л.В. Кулагина, О.П. Стебелева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. № 12. С. 34-38.

## RECEPTION OF CARBON NANOMODIFIERS FOR LUBRICANTS WITH USE OF CAVITATIONAL TECHNOLOGY

© 2011 O.P. Stebeleva, L.V. Kashkina, V.A. Kulagin

Siberian Federal University, Krasnoyarsk

In work efficiency of use the carbon nanomodifiers in composite lubricants received by method of low-frequency hydrodynamic cavitation is considered. It is shown that use of given material as additives in small weight concentration leads to considerable reduction of wear the rubbing steel surfaces.

Key words: *cavitation, nanomodifiers, fullerenes, lubricants, wear resistance*

*Olesya Stebeleva, Senior Teacher at the Heat Technics and Hydrogas Dynamics Department. E-mail: olessteb@rambler.ru*

*Lyudmila Kashkina, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor at the Thermophysics Department. E-mail: sfugeo@mail.ru*

*Vladimir Kulagin, Doctor of Technical Sciences, Head of the Heat Technics and Hydrogas Dynamics Department. E-mail: v.a.kulagin@mail.ru*