

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

УДК 621.891:681.6-633

Ю. І. Андрусишин,
аспірантка спеціальності «Матеріалознавство»
Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника

РОЗРОБКА ТВЕРДОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МАСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ, МОДИФІКОВАНЕ ГРАФЕНОМ ТА ВУГЛЕЦЕВИМИ ПОХІДНИМИ

Тверді мастильні матеріали у вигляді порошків або спечених брикетів, суспензій, паст, покриттів набули за останні 40-50 років неабиякого значення, як одне із розв'язків актуальної проблеми змащування вузлів тертя за екстремальних умов, зокрема: за високих питомих навантажень, високих зсувних зусиль та контактних температур, стійкості до хімічно і корозійно агресивних середовищ. Проводиться методика модифікації твердого мастила за допомогою графена та вуглецевих похідних.

Ключові слова: тверді мастильні матеріали, графен, трибологія, вуглецеві волокна, модифікація матеріала.

Вступ

Пластичні мастила широко використовуються в різних машинах і механізмах, а також в різьбових з'єднаннях для зменшення зносу і тертя, наприклад при бурінні нафтових і газових свердловин.

Широке застосування мастил призводить до того, що щорічно мільйони тонн мастильних матеріалів скидаються в навколишнє середовище в результаті витоків і заміни відпрацьованого мастильного матеріалу.

Деякі з цих відходів стійкі до біодеградації і є загрозою для навколишнього середовища.

Таким чином, існують 2 основні проблеми у виробників мастильних матеріалів:

- пошук поновлюваних сировинних ресурсів,
- створення матеріалів, які є біологічно руйнуватися [1, 2].

Як відомо, пластичні мастила складаються з рідкої основи (дисперсійного середовища), твердого згущувача (дисперсної фази) і різних добавок або присадок.

Для поліпшення експлуатаційних властивостей до складу мастил вводять присадки різного функціонального призначення і тверді добавки.

Таким чином, мастила є складні багатокомпонентні системи, основні властивості яких визначаються властивостями дисперсійного середовища, дисперсної фази, присадок і добавок.

В якості дисперсійного середовища мастил використовують різні мастила і рідини. У змащеннях, що працюють в екстремальних умовах, застосовують кремнійорганічні рідини,

складні ефіри, фтор і фторхлорвуглеводні, поліфенілові ефіри.

Використання таких мастил обмежена насамперед їх високою вартістю. В окремих випадках в якості дисперсійного середовища застосовують рослинні олії, наприклад касторова, але в цих випадках виникають проблеми, пов'язані з низькими трибологічними характеристиками цих мастил.

Високої біорозкладності і низькою токсичністю володіють складні ефіри на базі синтетичного або рослинного сировини [3].

Цілком ймовірно, що структура складних ефірів, близька до природних сполук, сприяє високому біорозпаду, оскільки мікроби в процесах своєї життєдіяльності використовують речовини тільки зі знайомим хімічною будовою.

Багато експлуатаційні характеристики мастил залежать від властивостей не тільки дисперсної середовища, але і від загущувача.

Діапазон застосування мастил буде сильно залежати від температур плавлення і розкладання загущувача, ступеня його розчинності в маслі і величини його концентрації в композиції.

Від природи загущувача залежать антифрикційні і захисні властивості, водостійкість, колоїдна, механічна і антиокислювальна стабільності мастил.

При створенні екологічно безпечних мастил вельми перспективними матеріалами є такі похідні графіту, як графен і оксид графену.

Дане припущення ґрунтується на тому, що графен і оксид графену одночасно є

ефективними загущувачами, тобто дисперсною фазою і присадкою, яка істотно покращує трибологічні характеристики мастила.

Нами експериментально встановлено, що добавки в індустріальне масло I-20A 7-8% багатошарового або 10-12% малослойного графена, який виробляє ТОВ «НаноТехЦентр», призводять до утворення консистенції, ідентичною консистенції пластичного мастила.

З іншого боку, добавки 0,1% графена в пластичні мастила Солідол-Ж і Литол-24 знижують коефіцієнт тертя ковзання в 1,5 - 2 рази [4].

Крім того, результати експериментальних досліджень [5] показують, що одношаровий графен витримує порядку 6400 циклів ковзання, зберігаючи дуже низьке значення коефіцієнта тертя ковзання, а 3 - 4 шаровий графен витримує 47 000 циклів.

Таким чином, на практиці мастила, модифіковані багатошаровим графеном, по всій видимості, будуть працювати більш тривалий термін, зберігаючи високі трибологічні показники.

За нашими припущеннями, в процесі експлуатації під впливом зсувних напружень, що виникають в мастилі, що знаходиться в малому зазорі між поверхнями пари тертя, відбувається поступове зменшення кількості шарів багатошарового графена.

У ряді досліджень [6-8] експериментально доведено, що графен, в тому числі багатошаровий, покращує не тільки трибологічні характеристики матеріалів, але і їх властивості міцності.

Слід зазначити, що рівномірність розподілу графена в пластичній мастилі істотно впливає на її трибологічні характеристики [9].

Метою цієї роботи є розробка методики модифікування пластичного мастила багатошаровим графеном і визначення трибологічних характеристик цієї мастила.

Експериментальна частина

Багатошаровий графен був обраний в якості модифікатора по 2м основним причин:

- відносно низька собівартість виробництва;
- тривала дія антифрикційних властивостей.

ТОВ «НаноТехЦентр» виробляє багатошаровий графен (15 - 25 шарів) [10] у вигляді водної пасти або суспензії, які містять добавки поверхнево-активних речовин (ПАР).

Оскільки багатошаровий графен на відміну від малослойного отримують ексfolіацією інтеркальованого графіту в роторно-імпульс-

ному апараті, а не в ультразвукової установці, його собівартість набагато нижче. У базове масло додавали водну суспензії багатошарового графена з розрахунку, що після видалення води в сушильній шафі масова концентрація графена складатиме 0,1 - 0,5%.

Змішувач складається з циліндричних корпусу 1 і ротора 2, встановленого в корпусі і з'єднаного з приводом обертання 3.

Внутрішній діаметр циліндричних корпусу \varnothing 60 мм, а висота ротора - 20 мм. За рахунок використання змінних роторів зазор між циліндричними поверхнями корпусу і ротора становив 0,1 - 0,05 мм. Швидкість обертання ротора варіювалася приводом 3 в діапазоні 20 - 150 с⁻¹.

Суміш подавалася в циліндричний корпус шприцом 4 з об'ємною продуктивністю 0,3 - 0,6 см³/с.

Цикл обробки суміші повторювали від 2 до 5 разів. Для порівняння аналогічні зразки готували з вуглецевими нанотрубками і графітом.

Модифіковане пластичне змащення проводили в 2 етапи.

- на 1 етапі готували графеновий концентрат, з вмістом багатошарового графена від 7 до 8% по масі,
- на 2 етапі змішували графеновий концентрат з базовою пластичне мастилом.

Масовий вміст концентрату варіювалося в діапазоні 0,7 - 7%, що відповідало концентрації графена в пластичне мастило 0,05 - 0,5%.

Гомогенізацію мастила з графеном проводили на роторному змішувачі при геометричних і режимних параметрах, зазначених вище.

В процесі модифікації мастила графеном встановлено, що всі трибологічні характеристики поліпшуються при збільшенні циклів обробки в роторному змішувачі.

Найкращі характеристики досягаються в результаті 3х циклів обробки.

Подальша обробка підвищує експлуатаційні властивості всього на 2 - 3%.

З огляду на дану обставину, обробку мастила проводили 3 рази.

Трибологічні дослідження визначали:

- несучу здатність - по критичному навантаженні РК;
- граничне навантаження - по навантаженню зварювання РС;
- протизношувальні властивості - по діаметру плями зносу Ди.

Випробування по визначенню протизношних властивостей мастильних матеріалів

проводилися на 4-кульковою машині тертя з мікропроцесора моделі TE 82 виробництва компанії Phoenix Tribology Ltd., Великобританія.

Діаметр плями зносу заміряли за допомогою мікрометричною цифровий головки, вбудованої в мікроскоп Mitutoyo.

Вузол тертя 4-кульковою машини являє собою піраміду з 4х контактуючими один з одним сталевих кульок.

З нижніх кульки закріплюють нерухомо в чашці машини з випробуванним мастильним матеріалом.

Верхній кульку, закріплені в шпинделі машини, обертається відносно 3х нижніх під заданим навантаженням з частотою обертання 1460 ± 70 хв-1.

Після проведення випробування за допомогою мікроскопа визначали діаметр плями зносу кожного з 3х нижніх кульок, середнє арифметичне від суми отриманих значень є діаметром плями зносу випробуваного зразка.

Результати та обговорення

Тільки графен сприяє зниженню діаметра плями зносу.

Зменшення \varnothing плями зносу спостерігалось при концентрації графена в маслі починаючи з 0,1%.

Максимальне зменшення діаметра плями зносу на 33% було зафіксовано при концентрації багат шарово графена 0,25%.

При подальшому збільшенні концентрації до 0,5% зменшення діаметра плями зносу НЕ зафіксовано.

Оскільки при концентрації графена 0,1%, діаметр плями зносу зменшився на 30%, було

прийнято рішення при модифікуванні різьбових мастил додавати в них 0,1% багат шарово графена.

Слід зазначити, що ця концентрація набагато нижче у порівнянні з діалкілдитіофосфату цинку, дозування якого становить до 2 мас. %.

Діаметр плями зносу зменшився на 50%, індекс задирака зріс майже в 2,9 рази, несуча здатність збільшилася в 3,8 рази.

Необхідно відзначити, що мастило з 0,1% багат шарово графена НЕ поступається змащенням, що містить одночасно цинк, мідь, графіт і свинець у концентраціях до 30%.

Графен є не тільки екологічно безпечним матеріалом, але і сприяє поглинанню шкідливих домішок з рідких середовищ, зокрема свинцю [11, 12].

В роботі [9] отримали зниження коефіцієнта тертя ковзання при використанні мастила, що містить всього 0,05% графена, що підтверджує доцільність проведення подальших досліджень по модифіцированню пластичних мастил графеном.

ВИСНОВОК

Розроблено методику модифіцированню пластичне змащення багат шаровим графеном. Встановлено, що при додавання до пластичними змащенням багат шарово графена в кількості близько 0,1% по масі істотно поліпшуються всі трибологічні характеристики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kreivaitis R., Padgurskas J., Spruogis B., Gumbyte M. Investigation of environmentally friendly lubricants // Environmental engineering The 8th International Conference. 2011, Vilnius, Lithuania. P. 174–177.
2. Петров Н.А., Вакилов А.Ф. Исследование экологически безопасной смазочной добавки для буровых растворов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2017. № 1. С. 6–20.
3. Karmakar G., P. Ghosh P., Sharma B.K. Chemically modifying vegetable oils to prepare green lubricants // Lubricants. 2017. V. 5. P. 1–17.
4. Al-Saadi D.A.Y., Pershin V.F., Salimov B. N., Montaev S.A. Modification of graphite greases graphene nanostructures // J. Friction Wear. 2017. V. 38. P. 418–422.
5. Berman D., Deshmukh S.A. Extraordinary macroscale wear resistance of one atom thick graphene layer // Adv. Funct. Mater. 2014. V. 24. P. 6640–6646.
6. Mindivan F. Effect of graphene nanoplatelets (GNPs) on tribological and mechanical behaviors of polyamide 6 (PA6) // Tribol. Ind. V. 39. P. 277–282.
7. Jia Z., Chen T., Wang J., Ni J., Li H., Shao X. Synthesis, characterization and tribological properties of Cu/reduced graphene oxide composites // Tribol. Int. 2015. № 88. P. 17–124.
8. Guo Y., Zhang S. The tribological properties of multi-layered graphene as additives of PAO2 oil in steel–steel contacts // Lubricants. 2016. V. 4. P. 30–41.

9. Sawyer W.G., Argibay N., Burris D.L., Krick B.A. Mechanistic studies in friction and wear of bulk materials // *Ann. Rev. Mater. Res.* 2014. V. 44. P. 395–427.

10. Много- и малослойные ГНП. <http://www.nanotc.ru/productions/162-gnp-3>

11. Кучерова А.Е., Буракова И.В., Бураков А.Е., Брянкин К.В. Изотермы адсорбции ионов свинца (II) графеновыми наноккомпозитами // *Вестник ТГТУ*. 2017. № 4. С. 698–706.

12. Kucherova A., Burakova I., Burakov A.. Graphene materials for lead (II) extraction: an equilibrium study // *MATEC Web of Conferences*. 2017. V. 1

DEVELOPMENT OF SOLID ENVIRONMENTAL LUBRICANT MODIFIED BY GRAPHEN AND CARBON DERIVATIVES

Solid lubricants in the form of powders or sintered briquettes, suspensions, pastes, coatings have become very important over the past 40-50 years, as one of the solutions to the current problem of lubrication of friction units under extreme conditions, in particular: at high specific loads, high shear forces and contact temperatures, resistance to chemically and corrosively aggressive environments. The technique of modification of solid oil by means of graphene and carbon derivatives is carried out.

Key words: *solid lubricants, graphene, tribology, carbon fibers, material modification.*

РАЗРАБОТКА ЖЕСТКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГРАФЕНОМ И УГЛЕРОДНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

Твердые смазочные материалы в виде порошков или спеченных брикетов, суспензий, паст, покрытий получили за последние 40-50 лет немалое значение как один из решений актуальной проблемы смазывания узлов трения в экстремальных условиях, в частности: при высоких удельных нагрузок, высоких сдвигающих усилий и контактных температур, устойчивость к химично и коррозионно агрессивных сред. Проводится методика модификации твердого масла с помощью графена и углеродных производных.

Ключевые слова: *твердые смазочные материалы, графен, трибология, углеродные волокна, модификация материала.*