

**Аулін В.В.,\***  
**Деркач О.Д.,\*\***  
**Лисенко С.В.,\***  
**Гриньків А.В.\***

\* Центральноукраїнський національний  
технічний університет,

м. Кропивницький, Україна,

\*\* Дніпровський державний аграрно-  
економічний університет,  
м. Дніпро, Україна

E-mail: [aulinvv@gmail.com](mailto:aulinvv@gmail.com)

## ВПЛИВ ФУЛЕРЕНО ВМІСНИХ ОЛИВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ

УДК 620.179.112

DOI:10.31891/2079-1372-2018-90-4-60-64

Показано, що підвищення інтенсивності режиму роботи вузлів машин і механізмів сприяє зменшенню їх надійності та довговічності. В роботі розглядаються вузли тертя, які є найбільш чутливими до дії великих навантажень, швидкостей та температур, зростання яких має місце при інтенсифікації роботи обладнання. Актуальність роботи полягає у підвищенні надійності та довговічності роботи вузлів тертя машин і механізмів, які працюють за умови високих навантажень, швидкостей та температур. Ця проблема в роботі вирішується за рахунок підвищення змащувальних якостей мастильних матеріалів, які використовуються у вузлах тертя. Мета роботи полягала у встановленні впливу фулерено вмісних олив на зміну фізико-механічних властивостей робочих поверхонь деталей спряжень деталей з матеріалів типу «сталь-сталь». Фізико-механічні властивості поверхонь тертя спряжень зразків і деталей досліджували на прикладі вимірювання мікротвердості. Для досліджень були досліджені три змащувальні композиції моторної оливи: 1 – без добавок; 2 - 1,5 % фулерено вмісної добавки; 3 - 3 % фулерено вмісної добавки.

Показано, що змащувальні композиції № 2 і № 3 чинять більшій зміцнюючій дії на робочі поверхні деталей ніж базовий зразок мастильної композиції № 1. Змащувальна композиція № 3 забезпечує кращі робочі властивості деталей трибоспряжень, що обумовлюють вплив на їх макро- та мікрогеометрію і, як наслідок, забезпечує збільшення ресурсу. Встановлені закономірності відносних змін значень зменшення вагового зносу можуть корелювати з ресурсом трибоспряжень деталей.

**Ключові слова:** вузли тертя, режим роботи, змащування, фулерено вмісні добавки, зміцнення, мікротвердість.

### Вступ

Підвищення інтенсивності режиму роботи основних вузлів машин і механізмів сприяє зменшенню їх надійності та довговічності. Причому ця проблема пов'язана, в основному, із вузлами тертя, які є найбільш чутливими до дії високого рівня навантажень, швидкостей та температур, зростання яких є неминучим при інтенсифікації роботи обладнання [1]. Тому актуальним завданням є підвищення надійності та довговічності роботи вузлів тертя машин і механізмів, які працюють за умови високих навантажень, швидкостей та температур. Цю проблему можливо вирішити різними способами, у тому числі за рахунок підвищення змащувальних якостей мастильних матеріалів, які використовуються у вузлах тертя.

### Аналіз попередніх досліджень

Ефективним є застосування фулеренів в якості модифікаторів пластичних мастил і олив [2]. Також, досліджувалося використання карбонових мікросфер у якості наповнювачів олив [3]. В обох випадках, додавання фулеренових матеріалів призводило до зниження коефіцієнта тертя і зносу. Очевидно, що застосування фулеренів у оливах забезпечує зміну характеру тертя при фрикційній взаємодії сталевих деталей за рахунок трибохімічних реакцій у зоні контакту [4, 5]. Це дозволяє значно зменшити тертя та зношування деталей у вузлах машин і механізмів, що сприяє підвищенню їх надійності та довговічності. Отримані залежності змащувальних властивостей олив, наповнених фулеренами  $C_{60}$  від в'язкості мінеральної основи [6]. Встановлено, що застосування фулеренів дозволяє не тільки зменшити тертя та зношування деталей, що знаходяться у фрикційній взаємодії, а і відновлювати пошкоджені поверхні тертя. Виявлено, що низькі коефіцієнти тертя та знос забезпечуються за рахунок прокатки сферичних наночастинок [7]. Тобто, зниження коефіцієнта тертя забезпечується не стільки ефектом ковзання, скільки ефектом перекочування молекул та їх груп по поверхнях тертя робочих тіл. Таким чином, можна стверджувати, що завдяки своїм фізико-хімічним властивостям фулерени можуть впливати на зменшення тертя та зношування деталей при фрикційній взаємодії і у середовищі модифікованих ними олив.

### Постановка проблеми

Описані вище результати створюють передумови для досліджень впливу фулеренів і на трибосистеми матеріалів типу «сталь-сталь». Очевидно, такі матеріали також можуть бути ефективними модифікаторами олив. Особливо це стосується модифікації недорогих ширококовжливаних олив, таких як, наприклад, M10г2к. Тому актуальною задачею є визначення впливу фулереновмісних речовин в оливах на їх змащувальні властивості, які використовуються у спряженнях деталей машин і механізмів у промислових масштабах.

### Мета та завдання

Мета роботи полягала у виявленні впливу фулереновмісних олив на зміну фізико-механічних властивостей робочих поверхонь деталей спряжень деталей з матеріалів типу «сталь-сталь».

Для досягнення мети, поставлені наступні завдання:

- створення дослідних зразків фулереновмісних олив з різним складом і концентрацією модифікаторів;
- проведення випробувань на тертя досліджуваних зразків на машині тертя СМЦ-2;
- визначення фізико-механічних властивостей робочих поверхонь та проведення їх металографічних досліджень.

### Результати вирішення основних завдань

Фізико-механічні властивості поверхонь тертя спряжень зразків і деталей досліджували на прикладі вимірювання мікротвердості. Для досліджень були взяті такі змащувальні композиції:

- 1 – Олива M10г2к;
- 2 – Олива M10г2к+1,5 % ССФ\*;
- 3 – Олива M10г2к+3 % ССФ (покращений). \* – склад силікато-фулереновий.

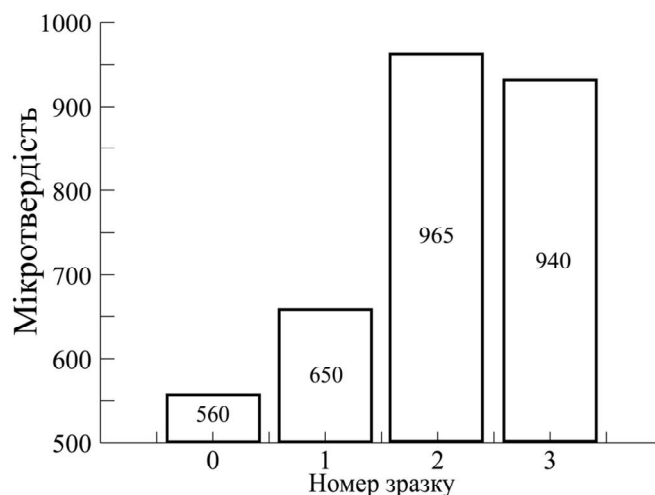
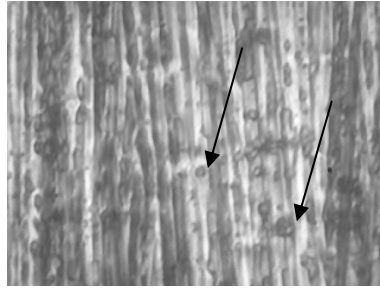


Рис. 1 – Залежність мікротвердості вихідної (0) поверхні сталевго контртіла (сталь 45) та поверхонь при терті із змащуванням у мастилах

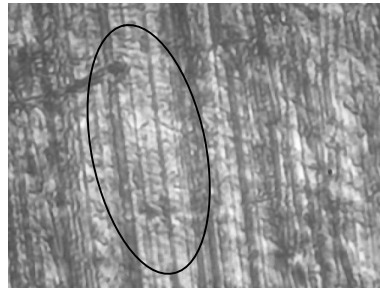
Мікротвердість вимірювали на металевих зразках до випробувань (показник «0») та після випробувань змащувальних композиціях (рис.1). Встановлене суттєве зростання цього показника. Так, по відношенню до початкового значення мікротвердості (560 одиниць) після випробувань у базовій оливі № 1 мікротвердість зросла на 16 % (в 1,16 рази). А вже по відношенню до зразка № 1 даний показник зріс на 48,4 % (в 1,72 рази) при випробуванні зразка № 2 і на 44,6 % (в 1,67 разів) - при випробуванні для зразка № 3.

Можна зробити висновок, що зразки № 2 і № 3 чинять зміцнюючу дію на робочу поверхню деталі трибосистем.

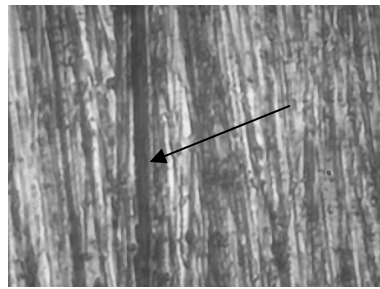
Металографічні дослідження на зразках здійснювали при збільшенні  $\times 400$  разів (рис.2). Перед випробуваннями робочі поверхні оброблялися шліфувальним наждачним папером з однаковою зернистістю № 120. Потім поверхні знежирювалися стандартними методами.



а



б



в

**Рис. 2 – Металографія поверхні тертя деталей спряження після взаємодії з різними композиціями фулереновмісних олив (× 400):**  
**а – Олива M10r2к;**  
**б – M10r2к+1,5 % ССФ;**  
**в – M10r2к+3 % ССФ (п)**

Після випробовувань у змащувальній композиції № 1 поверхня характеризувалася утворенням локул (показані стрілками), які, очевидно, є наслідком наявності присадок у оливі. Виявлені зони незначних ерозійних процесів (виділені овалом), що є припустимим для трибосистем. Також поверхня характерна згладженими піками мікроподряпин.

При використанні композиції № 2 (рис.2, б) такі локули та зони явно виражених ерозійних процесів відсутні. Встановлений ефект інтенсивного шліфування робочої поверхні. Для прикладу, овалом виділені характерні ділянки найбільш з плоскими поверхнями. Загальна картина поверхні тертя характеризується в цілому рівнинним рельєфом і зменшенням глибини початкових подряпин і задирів.

Схожа картина виявлена і при випробуванні змащувальної композиції № 3 (рис. 2, в), однак у даному випадку зафіксовані окремі подряпини (стрілка).

Отже, можна зробити висновок, що змащувальна композиція № 2 (або наявні в ній домішки) має значний шліфувальний ефект. У процесі тертя дана композиція чинить інтенсивний зношувальний ефект частини робочої поверхні деталей трибосистеми. Проте, цей процес протікає з одночасним зменшенням шорсткості поверхні: тут відбувається як руйнування мікропіків, так і їх пластична деформація. Очевидно, що наявні домішки мають розміри типу «мікро» або «нано», які не здатні утворювати значні подряпини і задири і розвивати їх. Тому відбувається вирівнювання мікропіків і заповнення ними і домішками композиції мікроставин. Утворена таким чином поверхнева плівка може мати як суцільну, так і дискретну структуру. Вона має вищу мікротвердість від базового матеріалу і забезпечує зростання ресурсу деталей трибосистем.

#### **Висновки**

1. Змашувальні композиції № 2 і № 3 чинять більші зміцнюючі дії на робочі поверхні деталей ніж базовий зразок мастильної композиції № 1.

2. Змашувальна композиція № 3 забезпечує кращі робочі властивості деталей трибоспряжень, що обумовлюють вплив на їх макро- та мікрогеометрію і, як наслідок, забезпечує збільшення ресурсу. Встановлені закономірності відносних змін значень зменшення вагового зносу можуть корелювати з ресурсом трибоспряжень деталей.

3. Змашувальна композиція № 2 забезпечує максимальне зменшення шорсткості поверхні і може бути використана в трибоспряженнях деталей з високими вимогами до шорсткості їх робочих поверхонь.

### Література

1. Фролов, К.В. Современная трибология. Итоги и перспектива / К.В. Фролов. – М. : Издательство УКИ, 2008 – 480 с.

2. Wu, Y.Y. Experimental analysis of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives / Y.Y. Wu, W.C. Tsui, T.C. Liu // *Wear*. 2007. – Vol. 262(7-8). – P. 819-825. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.08.021>.

3. Alazemi, A. A. Ultrasmooth Submicrometer Carbon Spheres as Lubricant Additives for Friction and Wear Reduction / A. A. Alazemi, V. Etacheri, A. D. Dysart, L.-E. Stacke, V. G. Pol, F. Sadeghi // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2015 – Vol. 7(9). – P. 5514-5521. DOI: 10.1021/acsami.5b00099.

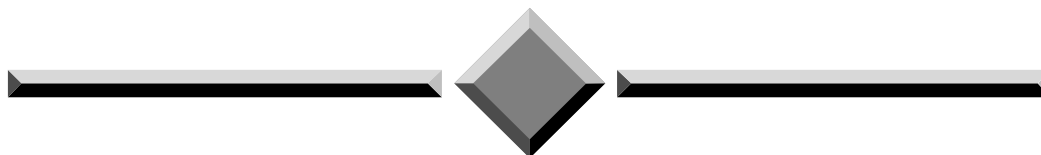
4. Erdemir, A. Superlubricity / A. Erdemir, J. – M. Martin. – Am.: Elsevier, 2007 – 499 p.

5. Аулин, В.В. Триботехнология восстановления деталей мобильной с.-х. и транспортной техники модификацией моторного масла фуллеренсодержащим составом / В.В. Аулин, А.Д. Деркач, А.И. Буря, Д.А. Макаренко, Г.Я. Мищенко // *Тракторы и сельхозмашины*. Ежемесячный научно-практический журнал. 2014. – № 4. – С. 26-29.

6. Ku, B.-C. Tribological effects of fullerene (C60) nanoparticles added in mineral lubricants according to its viscosity / B.-C. Ku, Y.-C. Han, J.-E. Lee, J.-K. Lee, S.-H. Park, Y.-J. Hwang // *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2010. – Vol. 11(4). – P. 607-611. DOI 10.1007/s12541-010-0070-8

7. Rapoport, L. Polymer Nanocomposites with Fullerene-like Solid Lubricant / L. Rapoport, O. Nepomnyashchy, A. Verdyan, R. Popovitz-Biro, Y. Volovik, B. Ittah // *Advanced Engineering Materials*. 2004. – Vol. 6 (1-2). – P. 44-48. DOI 10.1002/adem.200300512.

Надійшла в редакцію 04.01.2019



**Проблеми трибології**  
**“Problems of Tribology”**  
**E-mail: tribosensor@gmail.com**

---

Aulin V.V., Derkach O.D., Lysenko S.V., Grynkiv A.V. **Influence of fullerene containing oils on the physical and mechanical properties of the surface of the friction of joints of parts.**

It is shown that increasing the intensity of the mode of operation of machine nodes and mechanisms helps to reduce their reliability and durability. Friction nodes are considered in this work, which are the most sensitive to the action of high loads, speeds and temperatures, which increase occurs during the intensification of equipment operation. The urgency of the work is to increase the reliability and durability of the friction units of machines and mechanisms that operate under high loads, speeds and temperatures. This problem is solved by increasing the lubricating properties of the lubricants used in the friction nodes. The purpose of the work was to determine the effect of fullerene-containing oils on the change of the physical and mechanical properties of the working surfaces of parts of the parts from the materials of the type "steel-steel". The physical and mechanical properties of the friction surfaces of the conjugations of samples and details were studied on an example of measurement of microhardness. For research, three lubricating compositions of engine oil were investigated: 1 - without additives; 2- 1,5% of fullerene additive; 3- 3% fullerene additive.

It has been shown that the lubricating compositions No. 2 and No. 3 show greater reinforcing effects on the working surfaces of the parts than the basic sample of lubricant composition No. 1. The lubricant composition No. 3 provides the best working properties of the three-way components, which determine the effect on their macro- and microgeometry and, as consequence, provides an increase in the resource. The established regularities of relative changes in the values of the reduction of weight wear can correlate with the resource of triangular parts.

**Key words:** friction knots, operating mode, lubrication, fullerene additives, hardening, microhardness.

### References

1. Frolov, K.V. *Sovremennaya tribologiya. Itogi i perspektiva*. K.V. Frolov. M.: Izdatel'stvo UKI, 2008 480 c.
2. Wu, Y.Y. Experimental analysis of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives. Y.Y. Wu, W.C. Tsui, T.C. Liu. *Wear*. 2007 Vol. 262(7-8). P. 819-825. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.08.021>.
3. Alazemi, A. A. Ultrasmooth Submicrometer Carbon Spheres as Lubricant Additives for Friction and Wear Reduction. A. A. Alazemi, V. Etacheri, A. D. Dysart, L.-E. Stacke, V. G. Pol, F. Sadeghi. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2015. Vol. 7(9). P. 5514-5521. DOI: 10.1021/acsami.5b00099.
4. Erdemir, A. *Superlubricity*. A. Erdemir, J.-M. Martin. Am.: Elsevier, 2007. 499 p.
5. Aulin, V.V. Tribotekhnologiya vosstanovleniya detalej mobil'noj s.-h. i transportnoj tekhniki modifikacij motornogo masla fullerensoderzhashchim sostavom. Aulin V.V., Derkach A.D., Burya A.I., Makarenko D.A., Mishchenko G.YA. *Traktory i sel'hozmashiny. Ezhemesyachnyj nauchno-prakticheskij zhurnal*. 2014. № 4. S. 26-29.
6. Ku, B.-C. Tribological effects of fullerene (C60) nanoparticles added in mineral lubricants according to its viscosity. B.-C. Ku, Y.-C. Han, J.-E. Lee, J.-K. Lee, S.-H. Park, Y.-J. Hwang. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2010. Vol. 11(4). P. 607-611. DOI 10.1007/s12541-010-0070-8
7. Rapoport, L. Polymer Nanocomposites with Fullerene-like Solid Lubricant. L. Rapoport, O. Nepomnyashchy, A. Verdyan, R. Popovitz-Biro, Y. Volovik, B. Ittah. *Advanced Engineering Materials*. 2004. Vol. 6 (1-2). P. 44-48. DOI 10.1002/adem.200300512.