

УДК 621.891:620.178.16

В. І. КУБИЧ<sup>1</sup>, В. В. КЛІМІН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Запорізький національний технічний університет, Україна

<sup>2</sup>Національний авіаційний університет, Україна

## ДОВГОТРИВАЛІСТЬ ГРАНИЧНОГО МАЩЕННЯ В МОДЕЛЬНИХ ТРИБОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ З ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ АНТИФРИКЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

У статті наведено результати триботехнічних випробувань експериментальних графітованих сталей та вторинного алюмінієвого сплаву АЛ25, у порівнянні з відомими сплавами БрОЦС4-4-4, БрОЦС4-4-2,5, АІSi12Cu1(Fe), Л63, АСЧ-2 при сумісній роботі зі сталлю 45ХН2МФ за схемою тертя «рухомий диск - нерухома колодка». При цьому, за зміною коефіцієнта тертя визначається час спроможності граничних мастильних шарів забезпечувати нормальне тертя без подачі мастильного матеріалу при ступінчастому навантаженні.

**Ключові слова:** трибоз'єднання, випробування, коефіцієнт тертя, зразок-колодка, антифрикційний матеріал.

**Вступ.** Вирішення питань підвищення рівня надійності механізмів, приладів, складових одиниць двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) за рахунок забезпечення мінімального зносу поверхонь тертя їх елементів в сучасних умовах не втрачає доцільності та актуальності. Особливо це стосується пар тертя, в яких можливі зміни умов мащення при роботі на перехідних режимах навантаження, аж до виникнення «плівкового голодування», що призводить до катастрофічного зносу робочих поверхонь. До таких вузлів відноситься й підшипник ковзання турбокомпресора ДВЗ. При ремонті турбокомпресорів однією з операцій є заміна втулки вала, яка виготовляється з антифрикційних матеріалів. При цьому за наявності великої кількості різноманітних антифрикційних матеріалів (на мідній, алюмінієвій основах, графітовані сплави та інші) відсутні науково обґрунтовані рекомендації щодо їх застосування для гарантованого та прогнозованого забезпечення надійності граничного тертя без переходу до «плівкового голодування».

**Постановка проблеми.** В роботі [1], при проведенні модельних випробувань трибоз'єднань (ТЗ) «диск-колодка» з різними матеріалами дисків (сталь 45ХН2МФА, 12Х2Н4), колодка (сплав АО20-1) виявлено специфічність проявлення їх трибомеханічних властивостей при взаємодії без подачі мастильного матеріалу. При цьому спостерігалось формування вторинного мастильного матеріалу в ТЗ з диском із сталі 12Х2Н4. На ньому ТЗ працювало досить надійно. Пояснити цю специфічність, на перший погляд, можна полями сил у механічних сумішах та хімічних сполучень структури матеріалів ТЗ, що впливають на активні центри їх зовнішньої поверхні. На величину атома незакінченої кристалічної ґратки, до якої приєднуються активні кінці молекул мастильної композиції, будуть впливати потенціали хімічних елементів, що входять до складу структури. Також важливу роль при цьому будуть відігравати і механічні властивості матеріалів. На це вказує факт того, що твердість сталі 12Х2Н4 менша за твердість сталі 45ХН2МФА.

В теперішній час існує багато розробок нових матеріалів, які за своїм хімічним складом, структурою та механічними властивостями, можуть бути викорис-

тані, як антифрикційні. Наприклад, це графітізовані сталі (ГС) [2]. При цьому, їх поведінка при проведенні триботехнічних випробувань на прояв антифрикційності при роботі у мастильному матеріалі зовсім не визначена. Виходячи з того, що ГС у своїй структурі мають як не зв'язаний вуглець, так й мідь вони можуть, при деяких визначених умовах, формувати вторинні антифрикційні структури в зоні контакту. Разом з тим, два цих елемента можуть впливати й на упорядковане структуроутворення мономолекулярних шарів різної щільності на фактичних площадках контакту мікропрофілів, субмікропрофілів при терті ковзання [1,4].

Багато уваги приділяється сплавам на основі алюмінію, які здатні відповідати службовим характеристикам антифрикційних матеріалів: легка припрацьовуваність; низький коефіцієнт тертя в умовах порушення умов мащення; опір до схоплювання та заїдання; здатність поглинати тверді частинки; не дряпати контрповерхню; опір втомленості та повзучості, висока зносостійкість та теплопровідність.

Так, в роботі [8] наведено данні про випробування втулок підшипників ковзання в умовах обмеженого мащення. Втулки виготовлялися з антифрикційних сплавів на основі алюмінію, що були отримані методом порошкової металургії. При цьому основна увага приділялася змінам коефіцієнту тертя та зносу матеріалів, що досліджувалися. Однак, час працездатного стану мастильних шарів, які утворювалися за визначеними умовами випробувань у порівнянні з іншими умовами, наприклад, при подачі мастила та його призупиненні, не визначався.

В роботі [9] була досліджена можливість підвищення експлуатаційної ефективності підшипників ковзання за рахунок конструктивних змін в окремих важконавантажених робочих елементах (підшипникових втулках з антифрикційного алюмінієвого сплаву АО-3-7 системи Al-Cu-Sn) для відновлення працездатності і підвищення ресурсу шестеренних гідронасосів методом об'ємної гарячої пластичної деформації.

Також був розроблений вторинний алюмінієвий сплав АЛ25 (АК12М2МгН) згідно з ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93) для виготовлення поршнів циліндрів ДВЗ [3]. Для цього сплаву були визначені механічні властивості, проведені випробування на міцність, довгострокову міцність, на твердість при різних температурах. Антифрикційні властивості цього сплаву при терті ковзання у мастильному середовищі зовсім не досліджувалися.

Отже, виникає необхідність продовження проведення пошукових досліджень ТЗ в об'єктах машинобудування в залежності від хімічного складу та механічних властивостей матеріалів, що контактують, особливо при порушенні умов мащення. Оскільки питання розробки рекомендацій для підбору матеріалів підшипника ковзання турбокомпресору для забезпечення його надійності при порушенні умов мащення є відкритим, то безперечно, отримання експериментальних даних у вигляді графічних залежностей, що визначають прояв функціональності мастильних шарів для нових матеріалів, та відомих матеріалів, в умовах «плівкового голодування» будуть мати наукову новизну.

**Метою роботи** є проведення триботехнічних випробувань для визначення впливу ступінчастого навантаження на зміну коефіцієнта тертя модельних ТЗ, що відтворюють взаємодію поверхонь тертя підшипника ковзання турбокомпресора, без подачі мастильного матеріалу. При цьому, на даному етапі досліджень пропонується обмежитись однією маркою матеріалу вала, однією маркою моторного мастила для ДВЗ, а для втулки застосовувати вищезгадані матеріали [2,3], у порівнянні з відомими. Отримані результати свідчать про можливу стійкість до руйнування мастильних шарів, що формуються на поверхнях матеріалів з різною активністю.

**Методи дослідження.** Триботехнічні випробування матеріалів проводилися на машині СМЦ-2 за схемою тертя «рухомий диск - колодка».

Випробування проводились у відповідності з циклом [1,5] для кожного трибоз'єднання (кількість дослідів для кожного складала три):

- припрацювання поверхонь тертя та мастила при граничному мащенні (крапельна подача в зону тертя) з навантаженням 165 Н протягом 5 хв., далі збільшення навантаження до 250 Н, 350 Н, 450 Н та утримання на кожному по 5 хв., зменшення навантаження до 165 Н та утримання протягом 5 хвилин, надалі зупинка, розкриття контакту, обтирання поверхонь, огляд;

- пуск, закриття контакту, ступінчасте навантаження 165 Н, 250 Н, 350 Н, 450 Н та витримка на кожному з них на по 3 хв., зменшення до 165 Н з витримкою протягом 3 хв. При явному та дуже інтенсивному збільшенні коефіцієнту тертя, появі шумових ефектів катастрофічного зносу – зупинка дослідів.

Вибір навантаження був обумовлений наступним. Оскільки результати триботехнічних випробувань матеріалів мають бути застосовані для обґрунтування вибору матеріалів для виготовлення елементів підшипників ковзання агрегатів турбонаддуву, то за основу були взяті сили, що діють на його опорний підшипник. У відповідності з роботою [6], сила, яка прикладена до лопаток ротора, визначена як  $Q_n = 150$  Н.

Всі дослідів проводились при частоті обертання диска  $300 \text{ хв}^{-1}$ . Це, на наш погляд, дозволяє гарантувати моделювання процесів взаємодії мастильних шарів з поверхнею металів, а зрив мастильного шару при меншій швидкості обертання диска трапляється з більшою ймовірністю, ніж при більшій. Диск виготовлявся зі сталі 45ХН2МФА, надалі по тексту *PI*, твердість *HRB* 99, зовнішній діаметр  $d = 50$  мм, ширина 10 мм.

Колодки виготовлялися з матеріалів, хімічний склад яких наведено у таблицях 1, 2:

Таблиця 1

**Показники твердості та хімічного складу матеріалів зразків-колодок**

Назва матеріалу, позначення зразку	Твердість, HRB	Al	Pb	Si	Cu	Sn	Mg	Ti	Cr	Ni	Zn	Mn	Fe
AK12M2 MgH, K1	67	88,6	–	11	1,5	0,3	0,6	0,05	–	0,8	–	0,8	–
AlSi12C u1(Fe), K2	67	86,8	0,2	10 ,5	0,4	0,1	0,35	0,15	0, 1	0,2	0,5	0,1	0,6
BrOЦС4 -4-2,5, K3	68	до 0,00 2	1.5 – 3.5	–	86.3 – 92.5	3-5	–	–	–	–	3–5	–	До 0,05
BrOЦС4 -4-4, K6	84	до 0,00 2	3.5 – 4.5	–	85.3 – 90.5	3-5	–	–	–	–	3–5	–	До 0,05
Л63, K12	75	–	–	–	62– 65	–	–	–	–	–	34,2 – 37,5	–	–

*Примітка:* 1. K1 – «К» - колодка; 1 - порядковий номер колодки при випробуваннях.  
- вторинний алюмінієвий сплав AL25 (AK12M2MgH) [2];

- алюмінієвий сплав AlSi12Cu1(Fe) (з цього сплаву виготовляються головки блока циліндрів та моно кришки, що містить в собі поверхні вкладишів підшипників ковзання сучасного двигуна автомобіля Audi);
- бронзи БрОЦС4-4-2,5, БрОЦС4-4-4;
- латунь Л63;
- експериментальна графітізована сталь [3].

Таблиця 2

**Показники твердості та хімічного складу матеріалів зразків-колодок з перспективних графітізованих сталей**

Матеріал зразка, позначення зразка	Твердість, <i>HRB</i>	Хімічний склад, мас. %								
		C	Si	Cu	Al	Mn	Ni	Cr	S	P
ГС14, К7	111	1,21	1,69	3,95	0,22	0,42	0,17	0,19	0,024	0,022
ГС15, К8	120	1,27	1,65	2,01	0,24	0,64	0,18	0,18	0,016	0,025
ГС2, К9	108	1,54	1,07	0,85	0,22	0,41	0,13	0,15	0,022	0,018
ГС8, К5	119	1,78	2,25	3,19	0,23	0,64	0,15	0,17	0,016	0,029
ГС10, К4	110	1,95	1,66	1,94	0,22	0,50	0,12	0,14	0,030	0,030
АСЧ-2, К10	109	3,10	0,20	1,18	-	0,41	-	0,10	0,012	0,200
АСЧ-2*, К11	98	3,10	0,20	1,18	-	0,41	-	0,10	0,012	0,200

*Примітка:* 1. цифрою матеріалу зразка позначено його номер при проведенні дослідження на фрикційність.

2. \* зразок, що не випробувався на фрикційність.

3. К8 – «К» - колодка; 1 - порядковий номер колодки при випробуваннях.

Під час випробувань реєструвався опір обертанню диска, який перераховувався у коефіцієнт тертя. При цьому, попередньо здійснювалось визначення значень коефіцієнта сухого тертя для кожного поєднання матеріалів.

В якості змащувального матеріалу було використане моторне мінеральне мастило 15W40 марки Lukoil-Super SAE SG/CD.

**Результати досліджень та їх обговорення.** В результаті випробувань без мастильного матеріалу отримані наступні значення коефіцієнту тертя у ТЗ матеріалів:

«45ХН2МФА- АК12М2МгН» - 0,271;

«45ХН2МФА- AlSi12Cu1(Fe)» - 0,275;

«45ХН2МФА- БрОЦС4-4-2,5» - 0,175;

«45ХН2МФА- БрОЦС4-4-4» - 0,163;

«45ХН2МФА-Л63» - 0,52 до початку масопереносу, при «Л63-Л63» 0,39-0,41.

Для ГС у відповідності з роботою [3] значення коефіцієнта тертя знаходилось у межах 0,33-0,36, для АСЧ-2 – 0,36-0,38, та його збільшенням в 1,5-1,8 разів при збільшенні навантаження до 188 Н.

За даними, які були отримані при проведенні триботехнічних випробувань ТЗ з подачею мастильного матеріалу та без нього, були отримані графічні залежності (рис. 1, 2). Аналіз графічних залежностей показав наступне.

Для всіх матеріалів при припрацюванні має місце формування граничних шарів, стійких до руйнування при збільшенні навантаження від 250 Н до 450 Н. На це вказує відносно постійне значення коефіцієнту тертя, в межах від 0,13 до 0,19, без досягнення значень при сухому терті. При знятті навантаження до початкового 165 Н, коефіцієнт тертя у всіх ТЗ зменшувався в 1,7 – 2,1 разів, та складав 0,06-0,11. У відповідності з наведеним напрошується наступне запитання: Можливо це пов'язати зі щільністю, несучою здібністю та товщиною граничного мастильного

шару, що формувався за визначений час випробувань? Безумовно, для цього необхідно визначити характер впливу наступних факторів: хімічний склад матеріалів, вихідна шорсткість, твердість, мікротвердість, ступінь активації поверхонь тертя. Слід звернути увагу на те, яким чином зміниться різниця, та з якою інтенсивністю (яким буде приріст) при випробуваннях на більших швидкостях руху диска, а також при переході на інше мастильне середовище. Наведене визначає напрямок подальших досліджень. Але отримані результати вказують на те, що є інтервал навантажень, який забезпечує збільшення товщини граничних шарів, за рахунок підведення мастила в зону тертя. При більших навантаженнях це неможливо через максимальне зближення пружних поверхневих шарів з первинного мастильного матеріалу диска та колодки. Тертя в цьому випадку здійснюється тільки за рахунок відтворення необхідної мінімальної товщини граничного шару. Тому можливо стверджувати, що має місце прояв позитивних пружних властивостей мастильних шарів. На податливість шарів впливають фізичні, механічні та хімічні властивості внутрішньої та зовнішньої поверхні кожного з антифрикційних матеріалів, що випробувалися. При цьому, граничне тертя супроводжується дією мастильних шарів з різним опором зсуву. Однак, неможливо не враховувати пружно-пластичні властивості самого матеріалу поверхонь, що контактували. Труднощі в тому, що дуже складно відокремити дію третього тіла у рідкому та твердому агрегатному стані. Але факт неоднозначної дії мастильних шарів при граничному терті при однакових зовнішніх умовах взаємодії поверхонь матеріалів, що досліджуються, вказує на їх неоднозначну трибологічну активність.

Найменше значення коефіцієнта тертя (0,09-0,11) мало місце у ТЗ *PIK6* (BrO<sub>2</sub>C4-4-4). Найбільше значення коефіцієнта тертя мало місце у ТЗ *PIK2* (AlSi12Cu1(Fe)) та складо 0,19.

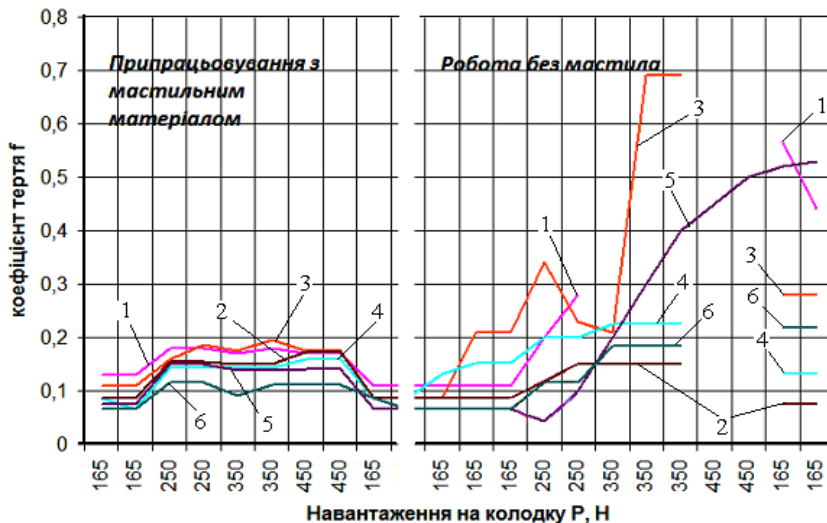


Рис. 1. Залежність коефіцієнта тертя ковзання від нормального навантаження для ТЗ:  
1 - *PIK1*; 2 - *PIK5*; 3 - *PIK2*; 4 - *PIK3*; 5 - *PIK4*; 6 - *PIK6*

При випробуванні без мастильного матеріалу спостерігалось наступне. Самим нестійким до руйнування мастильних шарів виявилось ТЗ *PIK2* (AlSi12Cu1(Fe)). В ньому час стійкості шарів склав 30 с при навантаженні 165 Н, а навантаження початку повного руйнування складо 350 Н. При цьому мало місце не тільки збільшення коефіцієнта тертя, а також й його зменшення при 250 Н. Це вказує на мож-

ливість підключення до тертя молекул мастила, що були зосереджені на внутрішніх поверхнях матеріалів, але не без наслідків катастрофічних пошкоджень.

Відсутність стабільності в часі та навантаженні показало ТЗ *PIK3* (БрОЦС4-4-2,5), в якому значення коефіцієнту тертя постійно збільшувалося. Час до переходу на сухе тертя склав приблизно 6,5 хв. При цьому з самого початку коефіцієнт тертя складав більше 0,11.

Не показали стабільність і мастильні шари у ТЗ *PIK7* (ГС14), *PIK10* (АСЧ-2), *PIK9* (ГС2). Про це свідчив постійний ріст коефіцієнту тертя з (0,065- 0,09) до 0,35 з початком абразивного пошкодження диска. При цьому умовний час стійкості мастильних шарів склав 4,5 хв.

Більшу стабільність мастильних шарів показали матеріали ТЗ *PIK1* (АК12М2МгН), *PIK5* (ГС8), *PIK4* (ГС10), *PIK6* (БрОЦС4-4-4), *PIK12* (Л65), *PIK11* (АСЧ-2\*), *PIK8* (ГС15). При цьому, умовний час стійкості мастильних шарів склав у середньому 6,5 хв. Але найбільша швидкість росту коефіцієнта тертя була в ТЗ *PIK1* (АК12М2МгН), тоді як у *PIK4* (ГС10) спостерігалось при навантаженні 250 Н його зменшення протягом 30 с з подальшим ростом та проявом абразивного руйнування поверхні диска.

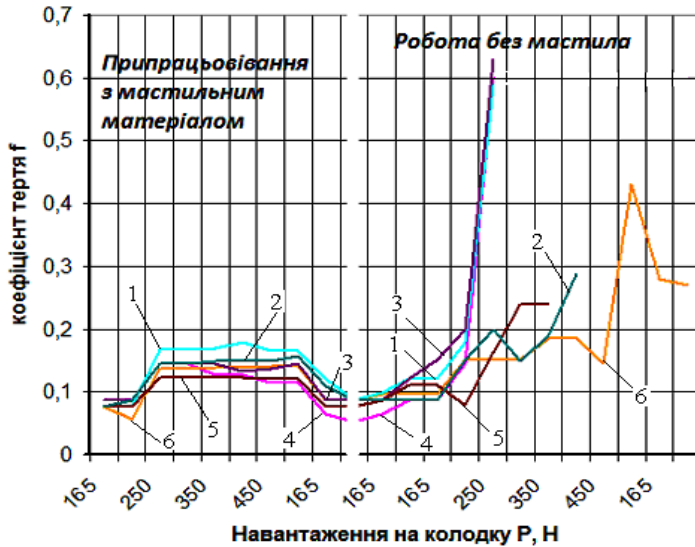


Рис.2. Залежність коефіцієнта тертя ковзання від нормального навантаження для ТЗ: 1-*PIK9*; 2 - *PIK12*; 3 - *PIK10*; 4 - *PIK7*; 5 - *PIK11*; 6 - *PIK8*

Можливість припрацювання в умовах «плівкового голодування» показав сплав ГС15. Це спостерігалось при навантаженні в 450 Н. При збільшенні навантаження перехід на сухе тертя не здійснювався, але мало місце пошкодження поверхні диска. При навантаженні в 250 Н з'являвся шумовий ефект. На нашу думку це обумовлено виходом більш твердої фази в зону тертя, однак стрибка коефіцієнта тертя не було. На поверхні диска формувалися тонкі смуги, які розташовувалися між смуговими зонами більшого розміру з нормальним механохімічним зносом. Будова смуги, що утворювалася, являла собою чергування виступів і западин, які були сформовані процесом мікросхоплювання елементів мікропрофілів матеріалів при руйнуванні масляної плівки між ними. При цьому, механічна активація поверхневого шару забезпечувала постійність коефіцієнта тертя та насичення внутрішньої поверхні ролика молекулами мастильного сере-

довища. Останні й відіграли значну роль в мащенні локальних зон контурних площ тертя без подачі мастильного матеріалу.

Найкращу оцінку з отриманих результатів можливо дати функціональності мастильних шарів у ТЗ *PIK6* (БрОЦС4-4-4), *PIK5* (ГС8), *PIK12* (Л63), *PIK11* (АСЧ-2\*), які забезпечували граничне тертя без слідів катастрофічних пошкоджень протягом у середньому 6,5 хв. при навантаженні в 165 Н. З подальшим збільшенням навантаження до 250 Н протягом 3 хв. мастильні шари повністю не руйнувалися, про що свідчить не досягнення значень коефіцієнта сухого тертя.

В ТЗ *PIK12* при випробуванні без подачі мастила за умови, що попередньо були сформовані мастильні структури на поверхнях тертя, був отриманий ефект формування вторинного мастильного матеріалу. Матеріал був у вигляді згустків темного кольору в агрегатному стані пасти липкої консистенції (рис.3).

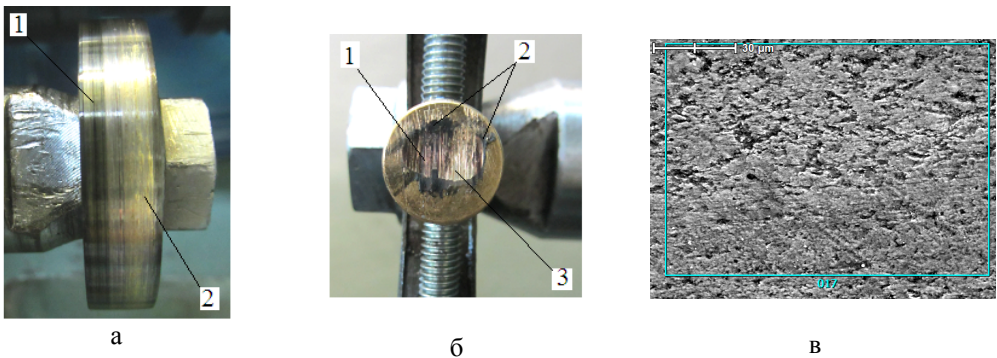


Рис. 3. Зовнішній вигляд колодки з латуні та диска після проведення експерименту без подачі мастила:

- а - диск: 1 - смуга чорного кольору сформованого вторинного мастильного матеріалу; 2 - слід перенесеної латуні; б – колодка: 1 - сліди зносу з фрагментами виділеної міді; 2 - вторинний мастильний матеріал; 3 - сліди механічного зносу без структурних змін; в - стан поверхні колодки ( $\times 1000$ ) з залишками вторинного мастильного матеріалу зі складом елементів: С - 0,55%; О - 0,85%; Fe - 4,43%; Cu - 66,5%; Zn - 27,66%

На поверхні диска на 2-й хвилині формувалася смуга 1 шириною 2,5 мм з цього матеріалу, на якій працювало ТЗ. Крім цього, мало місце масоперенесення компонентів латуні на поверхню диска (смуга 2) з дрібними вогнищами схоплювання (нерівності локального характеру на тлі маси, що розмазана по поверхні). Тобто, візуально формувались структури особливого складу та будови, які контактно працювали в середовищі вторинного мастильного матеріалу з коефіцієнтом тертя 0,08 при навантаженні 165 Н протягом 3 хвилин. При навантаженні 250 Н на 2-й хвилині майже вся робоча поверхня диска покрилася темним утворенням. При навантаженні 350 Н з одного боку наліт зруйнувався, потім на 3-й хвилині з'явився «писк», характерний для взаємодії Л63-Л63 (з урахуванням перенесеного шару, що спостерігалось при сухому терті з навантаженням 165 Н). При зменшенні навантаження до 165 Н «писк» пропав, коефіцієнт тертя зменшився.

За зовнішніми ознаками вторинний мастильний матеріал був аналогічний матеріалу, дані про який описані в роботі [7]. Також на контактній поверхні зразка з латуні мало місце виділення чистої міді (рис.3 б). Про це свідчив неоднорідний колір робочої поверхні – наявність фрагментів у вигляді смуг темно-червоного кольору. Це можна розглядати як передумови для формування струк-

тур, близьких за будовою до структур, що забезпечують зниження тертя та зношування при вибіркового перенесенні [4].

В цілому найбільш значний вплив на прояв функціональності мастильних шарів як при граничному терті, так і в умовах переходу до «плівкового голодування» показали:

- експериментальні ГС з вмістом вуглецю 1,78%, 1,21% , 3,1%, і міді 3,19%, 3,95%, 1,18% відповідно;

- відомі сплави на мідній основі БрОЦС 4-4-4, і Л63.

Експериментальний сплав вторинний АК12М2МгН зумовив схильність до впливу на впорядкованість формування структури масляних шарів. Однак, такі структури менш стійкі при статичному навантаженні за умовами експерименту і зовсім не стійкі при його збільшенні. У порівнянні з ним, промисловий сплав на алюмінієвій основі AlSi12Cu1(Fe) в розглянутих умовах зовсім не працює.

Аналіз впливу співвідношень твердості матеріалу диска і матеріалів колодки попередньо вказує на наступне. При навантаженні в 165 Н протягом 4-6 хв. при терті без подачі мастильного матеріалу найбільш стійкі мастильні шари при співвідношеннях твердості матеріалів диска та колодок від 0,8 до 1,32. Отриманий результат вказує на вплив твердості матеріалів на формування структури мастильних шарів. Адже такий вплив має місце як при роботі прямих, так і зворотніх пар тертя. Виходячи з цього, у подальшому доцільно враховувати при оцінці властивостей мастильних шарів таку складову впливу, як шорсткість поверхневих шарів трибологічних систем, з урахуванням можливості накопичувати мастильний матеріал на поверхні. Особливо це стосується елемента, що рухається, оскільки це створює передумови для виходу мастильного матеріалу по капілярним каналам з внутрішньої поверхні на зовнішню під дією відцентрових сил. В більшій мірі це можливо при формуванні печероподібних вторинних зносостійких структур з компонентів матеріалів, що беруть участь в процесі тертя.

**Висновки.** Застосування методики штучного введення трибологічної системи в стан «плівкового голодування» дало можливість:

- по-перше, констатувати факт неоднозначного впливу хімічного складу і механічних властивостей сплавів, що визначають їх трибологічну активність, до формування мастильних шарів з різною стійкістю до руйнування;

- по-друге, визначити з переліку експериментальних матеріалів, що розглядалися, сплави: ГС з вмістом вуглецю 1,78%, 1,21% , 3,1%, і міді 3,19%, 3,95%, 1,18% відповідно; БрОЦС 4-4-4, Л63, які за проявом антифрикційних властивостей обумовлюють визначену довготривалість граничного тертя в конкретних умовах навантаження;

- по-третє, виявити факт формування вторинного мастильного матеріалу при застосуванні латуні Л63, який може надійно забезпечувати граничне мащення без руйнування основного матеріалу зразків.

Для визначення доцільності застосування сплавів для виготовлення підшипників ковзання турбокомпресорів, та розробки рекомендацій для підвищення їх надійності в умовах можливого «плівкового голодування» необхідно проведення наступних триботехнічних випробувань з обов'язковим визначенням зношування поверхонь.

#### Список літератури

1. Кубич В.И. Коэффициент трения триад «45ХН2МФА - Lukoil-Super - АО20-1», «12Х2Н4 - Lukoil-Super - АО20-1» в условиях ступенчатого нагружения /В.И. Кубич// Проблемы тертя та зношування №61. - 2013. - С. 37-45.



2. Акимов И.В. Оценка фрикционности модифицированных графитизированных сталей на малогабаритных образцах / И.В. Акимов, В.И. Кубич / Проблемы трибологии. - ХНУ. - №72. - 2014. - С.38-44.

3. Лоза К.М. Вплив модифікування та термічної обробки на формування структури і властивостей вторинного поршневого сплаву АЛ25: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.01 «Матеріалознавство» / К.М.Лоза. - Запоріжжя, 2012. - 20 с.

4. Кіндрачук М.В. Трибологія : Підручник / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко, Є. В. Корбут. - К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк». - 2009. – 392 с.

5. Кубич В.И. Оценка функциональности смазочных слоев в трибологической системе «40X - (И-20А) - 40X» // «Ольвійський форум-2014: Трибологія, енерго- та ресурсозбереження тези., міжнар. наук.-практич. конфер., 4-7 червня 2014. - Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. - С.29-31.

6. Диха О.В., Сорокати́й Р.В. «Комп’ютерне моделювання контактних навантажень в підшипниковому вузлі турбоагрегата» /О.В. Диха, Р.В. Сорокати́й // Проблеми трибології №2. - 2014. - С. 95 – 98.

7. Кубич В.И. Состав вторичного смазочного материала трибологической системы «12Х2Н4 - Lukoil-Super - АО20-1» / В.И. Кубич// Проблеми техніки . - ОМУ.- №1. - 2014. - С.60-66.

8. Савицкий А.П. Подшипники скольжения на основе алюминия /А.П. Савицкий, М.И. Вагнер, S.- K. Shin, Y.- G. Jo//Известия Томского политехнического университета. – 2008, Т. 313. - № 3.- С. 78-82.

9. Клімін В.В. Повышение эффективности работы подшипников скольжения при комплексном восстановлении работоспособности деталей шестеренных гидронасосов с применением метода горячей пластической деформации / В.В. Клімін, В.О.Пасічник, А.П.Данілов, А.Л.Гловін / Проблеми тертя та зношування. – К.:НАУ. - №50. - 2008. – С.38-44.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2015

*В. И. КУБИЧ, В. В. КЛИМИН*

### **ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ В МОДЕЛЬНЫХ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ АНТИФРИКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

В статье приведены результаты триботехнических испытаний экспериментальных графитизированных сталей, вторичного алюминиевого сплава АЛ25 в сравнении с известными промышленными сплавами БрОЦС4-4-4, БрОЦС4-4-2,5, AlSi12Cu1(Fe), Л63, АСЧ-2 при взаимодействии со сталью 45ХН2МФ по схеме трения «подвижный диск - неподвижная колодка» в моторном масле 15W40 марки Lukoil-Super SAE SG/CD. При этом по изменению коэффициента трения определялось время способности граничных масляных слоев обеспечивать нормальное трение без подачи масла при ступенчатом нагружении.

**Ключевые слова:** трибосоединения, испытания, коэффициент трения, образец-колодка, антифрикционный материал.

*V. I. KUBICH, V. V. KLIMIN*

### **LONGEVITY IN MODEL BOUNDARY LUBRICATION TRIBOLOGICAL SYSTEM WITH EXPERIMENTAL ANTIFRICTION MATERIALS**

The article presents the results of tribotechnical tests of experimental graphitized steel, secondary aluminum alloy AL 25 in comparison with standard industrial alloys БрОЦС4-4-4, БрОЦС4-4-2,5, AlSi12Cu1(Fe), Л63, АСЧ-2 interaction with 45XH2MФ steel by “movable roller is stationary pad” scheme friction in the engine oil 15W40 of “Lukoil” Super SAE SG/CD brand. In this way the change of the coefficient of friction was determined with the time, ability edge oil layers to ensure the normal friction without lubrication under step-by-step loading.

It had been ascertained the fact of ambiguous effect of chemical composition and mechanical properties of the alloys on the formation of oil layers and their resistance to destruction. It had been revealed the formation of secondary lubricant during tested brass L63, which can reliably provide boundary lubrication without destroying the basic material of the sample. Graphitic steels alloys obtained with the carbon contents of 1.78 %, 1.21 %, 3.1 % and 3.19 % copper, 3.95 %, 1.18 % respectively, as well as bronze БрОЦС 4-4-4, brass L63 that the manifestation of anti-friction properties cause an increase in the length of boundary lubrication oil supply without the specific loading conditions.

**Keywords:** tribocompounds, testing, friction coefficient, sample-block, anti-friction material.

**Кубіч Вадим Іванович** – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів, Запорізький національний технічний університет, вул. Гоголя, 64-А, м. Запоріжжя, Україна, 69063, тел.: + 38 061 64 26 47, E-mail: reibung1@mail.ru.

**Клімін Володимир Володимирович** – канд. техн. наук, завідувач навчальної лабораторії «Новітніх триботехнологій», Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 74 92, E-mail: ATL@nau.edu.ua, <http://www.facebook.com/pages/Лаборатория-Новейших-триботехнологий/104453456366321>.