



УДК 620.1

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-20

## ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ПРИСАДОК ПРИ ОБКАТУВАННІ ГІДРОМАШИН

В'юник О. В.<sup>1</sup>, інж.,

ORCID: 0000-0002-6413-5567

Дідур В. В.<sup>2</sup>, к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-7584-5073

Паніна В. В.<sup>1</sup>, к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-9623-516X

Дашивець Г. І.<sup>1</sup>, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-2612-6077

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

e-mail: [olga.viunyk@tsatu.edu.ua](mailto:olga.viunyk@tsatu.edu.ua)<sup>2</sup>Уманський національний університет садівництва

*Постановка проблеми.* В наш час гостро стоїть питання підвищення ефективності використання мобільних машин, які оснащені гідравлічними системами. Одним із шляхів вирішення цього питання є відновлення зношених деталей, яке характеризується комплексом операцій по відновленню справного або працездатного стану деталей та технічного ресурсу. Припрацювання поверхонь тертя деталей після відновлення є важливим резервом підвищення надійності і ресурсу шестеренних насосів після ремонту, отже впровадження прогресивних технологій при ремонті і обкатуванні гідромашин є актуальним.

*Аналіз останніх досліджень.* Ця робота є складовою досліджень, присвячених підвищенню післяремонтної довговічності вузлів тертя шестеренних насосів НШ–К за рахунок зниження зносу деталей в період припрацювання. Один із шляхів прискорення припрацювання деталей є застосування припрацювальних присадок. У попередній роботі було проаналізовано різні присадки для припрацювання деталей гідромашин після ремонту і виявлено, що найбільш перспективним є використання комплексних присадок, які містять поверхнево-активні й хімічно активні речовини [1].

Розширення обсягу знань в області фізики, хімії і механіки веде до розуміння складності структури поверхневого шару, яка складається з дефектного шару матеріалу твердого тіла, який утворився при його обробці, плівок окислів, хемосорбованих і адсорбованих шарів.

В проаналізованих роботах автори використовували поняття молекулярних сил при описі контактної взаємодії [2], загальне рівняння сили тертя поряд з механічним компонентом, містить молекулярну складову [3]. Спільний розгляд молекулярних сил і деформованості

граничного шару привело до формулювання поняття «третього тіла» у контакті. В останній час граничний шар мастильного середовища із прилягаючими плівками на твердих контактуючих поверхнях розглядається як один з основних факторів взаємодії [4].

В роботах П. А. Ребиндера використовувався комплексний підхід до розуміння фрикційної взаємодії з позицій фізико-хімічної механіки [5]. Поява високоефективних фізичних методів (растрова електронна мікроскопія, спектроскопія) дослідження структури і складу поверхневих шарів твердих тіл дозволило одержати принципові результати, які можна використовувати при описі зношування як динамічного комплексу процесів руйнування вихідних структур, формування нових структур і їх руйнування. Це дало поштовх до створення теорії фрикційної взаємодії на основі опису процесів масопереносу при терті. Одна з таких теорій запропонована в роботі [6], де автор запропонував модель тертя і вираз для коефіцієнта тертя.

*Формулювання мети статті.* Провести розрахунково-теоретичний аналіз підвищення довговічності вузлів тертя шестеренних насосів застосуванням фтороорганічних поверхнево-активних речовин (епіламів).

*Основна частина.* Загальним випадком фрикційної взаємодії [7] є виникнення перенесеної плівки на обох поверхнях тертя деталей (рис. 1).

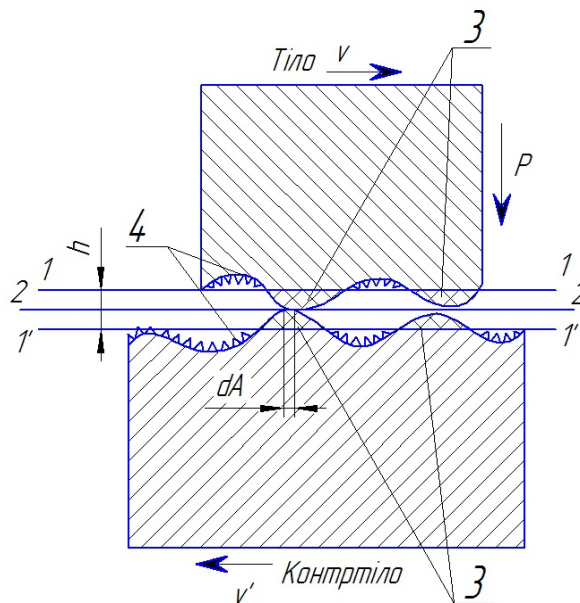


Рис. 1. Схема фрикційної взаємодії поверхонь, покритих плівками переносу: 1 – 1, (1'– 1') – границі розділу перенесеної плівки і поверхневого шару металу тіл; 2 – 2 границя розділу на рівні «плівка – плівка» перенесені на взаємодіючі тіла; 3 – плівки перенесені на поверхні тіл тертя; 4 – адсорбований і хемосорбований шар змащення;  $V$ ,  $V'$  – швидкості руху;  $P$  – навантаження;  $dA$  – площа одиничного контакту;  $h$  – товщина перенесених плівок.



Поверхні тіл покриті шаром перенесеної речовини (рівної товщини), а ковзання реалізується або на границі розділу 2 – 2 з коефіцієнтом тертя  $\mu_1$ , або на границі розділення 1–1, (1'–1') з коефіцієнтом  $\mu_2$ . Якщо  $\mu_1 \geq \mu_2$  плівка на поверхні тіла може відшаровуватися частинками.

Структура плівки переносу характеризується істотною неоднорідністю, більшим числом пор, які є мікрорезервуарами для мастильного матеріалу. Дрібнодисперсні частки металу з активною поверхнею слугують також центрами створення полімероподібних продуктів. Присутність у зоні контакту поверхнево-активних речовин з металами приводить до реалізації особливого механізму фрикційної взаємодії, що характеризується колоїдною системою часток у мастильному матеріалі і структурними перетвореннями на поверхні розділення. Це приводить до швидкої адаптації пари тертя і переходу її в сталий режим роботи [7 – 8].

Зміна режиму тертя або властивостей поверхневого шару значно впливають на величину зношування і силу тертя.

При терті, як і при ударі, шорсткості граничних поверхонь при взаємодії, сприймають як пружні, так і сильні локальні пластичні деформації з порушенням структури і появою дислокацій. У результаті збільшується вільна поверхнева енергія, і контактна зона отримує стан сильного активування. Він супроводжується випромінюванням електронів, перетворенням речовин, активацією хімічних реакцій.

Відомо, що зміна за часом у міжатомному зв'язку під навантаженням (довговічність тіла) від напруги ( $\sigma$ ) і температури ( $T$ ) описується рівнянням, що лежить в основі кінетичної природи руйнування твердих тіл [9]:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp \frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{k \cdot T}, \quad (1)$$

де  $\tau$  – час до руйнування, с.;

$\tau_0$  – період теплових коливань атомів, с.;

$U_0$  – величина енергетичного бар'єра, Дж.;

$\sigma$  – напруга, МПа.;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постійна Больцмана.;

$\gamma$  – коефіцієнт, який характеризує міцнісні властивості твердого тіла.;

$T$  – абсолютна температура, К.

Це загальне рівняння для довговічності справедливо для великого числа найрізноманітніших матеріалів у широкому інтервалі напруг і температур. У середньому для всіх матеріалів, незалежно від



їхнього хімічного складу, типів зв'язку й структури,  $\tau_o \approx 10^{-13} \text{ с}$ . Початковий енергетичний бар'єр  $U_o$  (енергія деструкції зв'язку) різний для різних матеріалів і по величині близький до значення енергії від активації розпаду міжатомних зв'язків у твердих тілах. Коефіцієнт  $\gamma$  сильно залежить від структурних змін: режиму термообробки, змісту домішок, ступені орієнтації (для полімерів) і пластифікації, кристалографічної орієнтації і щільності дислокацій.

Така ж функціональна залежність (див. 1) кінетичних параметрів від температури спостерігається і для безлічі інших явищ (дифузії, випарування, протікання хімічних реакцій і так далі), які обумовлюються хаотичністю теплового руху атомів і звідси нерівномірністю розподілу теплової енергії між ними [9].

Очевидно, правомірним буде застосування подібної залежності і для процесу динамічної взаємодії тіл, зокрема для процесу граничного тертя металів. Тоді, якщо це процес протікання трибохімічних реакцій, то  $U_o$  – той надлишок енергії в порівнянні із середньою енергією молекул при даній температурі, яку повинні мати молекули, що вступають у хімічну реакцію.

Для коефіцієнта тертя  $f$ , аналогічне за видом рівняння має вигляд [8]:

$$f = f \cdot \exp \frac{U_o - \gamma \cdot \sigma}{k \cdot T}. \quad (2)$$

Експерименти, проведені у фізико-технічному інституті Білоруської академії наук разом з Бердянським дослідним маслозаводом показали, що дане рівняння правильно описує зміну коефіцієнта тертя в інтервалі навантажень від 20 до 240 МПа.

Під модифікуванням поверхонь тертя розуміють хімічне насичення поверхонь тертя у процесі самого тертя. До хімічного модифікування можна віднести і процес вибіркового переносу.

Хімічна модифікація поверхонь тертя залежить від наявності в мастильному матеріалі хімічно-активних речовин, які взаємодіючи з металевими поверхнями, знижують схильність до утворення металевих зв'язків, і перешкоджають схоплюванню і підвищеному зношуванню при важких режимах тертя. У якості критерію  $\Pi_{\text{сп.х}}$ , який враховує хімічну модифікацію, можна прийняти співвідношення [9, 10]:

$$\Pi_{\text{сп.х}} = \frac{R \cdot T}{U}, \quad (3)$$

де  $U$  – енергія активації розпаду міжатомних зв'язків хімічно модифікованих шарів, Дж;

$T$  – абсолютна температура, К;

$R$  – універсальна газова постійна, ( $R=8,3$  Дж/моль·К).



Зносостійкість поверхонь буде залежати від співвідношення швидкості стирання модифікованих шарів і їх утворення в процесі тертя, від фізико-хімічних властивостей цих шарів, їх розмірів.

Проведені дослідження показують, що шляхом цілеспрямованої зміни зовнішніх умов, складу і природи змащення можна змінювати властивості поверхонь тертя в потрібному напрямку.

З точки зору хімотології процесу зношування деталей при обкатуванні можна виділити п'ять видів фрикційної взаємодії.

1. Пружне деформування. Напруги в точці контакту в цьому випадку не перевищують границі текучості матеріалу, а зношування відбувається в результаті фрикційної втоми.

2. Пластичне відтиснення матеріалу. Напруги досягають межі плинності, але матеріал обтікає мікроступи, які впровадилися. Зношування- результат малоциклової фрикційної втоми.

3. Мікрорізання. Напруги досягають межі міцності, зношування відбувається за рахунок відриву мікростружок.

4. Адгезійне порушення фрикційного зв'язку. За рахунок прилипания руйнується захисна адгезійна плівка на поверхні металу.

5. Когезійний відрив. Міцність фрикційного зв'язку перевищує міцність основного металу, відбувається захоплення і глибинне виривання металу.

Через те, що мікроступи шорсткої поверхні неоднакові по висоті і формі, то в процесі припрацювання мають місце всі п'ять видів фрикційної взаємодії. На процеси мікрорізання і пластичного відтискування матеріалу можна впливати шляхом впровадження пластифікуючих присадок в обкаточні мастила. Процес адгезійного порушення фрикційного зв'язку може бути змінений шляхом введення адгезійних присадок. Процес когезійного відриву може бути оптимізований за рахунок протизадирних властивостей масел.

Таким чином, застосування найбільш раціонального набору присадок буде суттєво впливати на зношування деталей аксіально-поршневих гідромашин.

У процесі життєвого циклу зношування деталей тертя можна розглядати як суму двох випадкових функцій:

$$U(t) = f_1(t) + f_2(t), \quad (4)$$

де  $f_1(t)$  – функція, що відображає зношування при працюванні;

$f_2(t)$  – функція, що відображає зношування при експлуатації.

Інтенсивність зношування деталей машин у процесі припрацювання характеризується комплексним станом поверхонь тертя. У відповідності з існуючим станом про приробіток контактуючих поверхонь деталей, один з її результатів – утворення рівноважної шорсткості, яка не залежить від вихідної і визначається

тільки умовами тертя. При досягненні рівноважної шорсткості коефіцієнт тертя і інтенсивність зношування стають мінімальними. Тільки після утворення рівноважного стану поверхневого шару можна говорити про завершення процесу припрацювання. Звідси, підвищення якості процесу припрацювання деталей полягає в скороченні часу досягнення рівноважного стану контактуючих поверхонь, який характеризується найкращими трибологічними параметрами з погляду подальшої експлуатації агрегату.

З точки зору енергетичних перетворень настання рівноважного стану відбувається пропорційно збільшенню енергії активації  $d(A_a)$  в одиницю часу, яке визначають із залежності [3]:

$$10adA_a = \frac{dS}{dt} = a \left( \frac{dA_T}{dt} - \frac{dA_O}{dt} \right), \quad (5)$$

де  $a$  – постійний коефіцієнт, с/Н;

$S$  – площа контакту, м<sup>2</sup>;

$dA_T$  – енергія тертя, Дж;

$dA_O$  – енергія, що приділяється, Дж.

При постійній площі контакту ( $dS/dt = 0$ ) процес переходить у рівноважний стан. У процесі припрацювання енергія, яка виділяється, змінюється за складним законом і при деякому критичному значенні  $S = S_{кр}$  досягає граничного значення і залишається незмінною або починає зменшуватися.

Швидкість збільшення площі контакту  $dS/dt$  більше при наявності в маслі спеціальних припрацювальних присадок. Це пояснюється більш низьким опором зрушенню плівок переносу, а також тим, що антифрикційні покриття в більшості випадків більш пластичні в порівнянні з основним шаром металу. Розділення поверхонь легкоплавкими евтектиками поліпшує їх припрацюваність, перешкоджає металевому схоплюванню на ділянках контакту в початковий момент і підвищує несучу здатність пар тертя. У процесі роботи опір поверхонь зношуванню і задирам визначається властивостями матеріалів деталей, і масел, які застосовуються. Процеси контакту, тертя і зношування, як правило, пов'язані з безпосередніми фізичними взаємодіями поверхонь, які здійснюють відносні рухи. На всі ці процеси впливає масло, яке виконує наступні функції: розділяє поверхні тертя і зменшує площу безпосереднього контакту металевих поверхонь; змінює пластичні властивості взаємодіючих поверхонь; охолоджує поверхні тертя і змиває з них або вимиває із зазорів частки металів і їх оксидів, які мають абразивний вплив на поверхні тертя. При наявності плівки



переносу, поверхні тертя переміщуються одна щодо іншої з малим опором зрушенню і без яких-небудь ушкоджень. Залежно від товщини плівки ( $10^{-3} \dots 10^{-2}$ ), розподілу в ній профілів і ступені геометричного прилягання поверхонь виникають різні режими змащування.

Припрацювання деталей качаючого вузла аксіально-поршневих гідромашин відбувається в режимі граничного змащення. Цей режим характеризується наступними особливостями: поверхні розташовані на близькій відстані і між поверхнями існує контакт; гідродинамічні явища і вплив об'ємних реологічних властивостей масла малі і не суттєві; трибологічна поведінка системи визначається поверхневими взаємодіями між тонкими плівками переносу і твердими поверхнями.

Основне призначення масел полягає в створенні між поверхнями, що рухаються, плівки, здатної зменшити число прямих взаємодій твердих тіл, і характеризується малим опором здвигу. Граничне мащення повинно мати високу адгезію до поверхні тертя, зменшувати зношування і мати малу міцність на зріз, що забезпечує низьке тертя.

Взаємодія твердого тіла з маслом, яке приводить до появи захисної граничної плівки, може бути представлена трьома механізмами: фізичною і хімічною адсорбцією, хімічною реакцією.

Фізична адсорбція характеризується тим, що молекули мащення затримуються на поверхні металу силами Ван-Дер-Ваальса [3]. Полярні молекули мащення, наприклад, стеаринової кислоти, приєднуються до металу головним чином у вертикальній орієнтації, утворюючи міцну плівку. Ця плівка протистоїть проникненню нерівностей і тим самим перешкоджає контакту металу з металом. Багато молекул зближаються гранично щільно і зміцнюють плівку поперечними когезійними силами. Зона малої міцності на зріз створюється між зовнішніми поверхнями двох монослоїв, адсорбованих прилягаючими металевими поверхнями. Система граничного мащення з фізичною адсорбцією плівки чутлива до температури, оскільки нагрівання викликає десорбцію, порушення орієнтації і плавлення плівки. Тому граничне мащення з перевагою механізму фізичної адсорбції застосовується при низьких температурах і в умовах малого тепловиділення при терті, тобто при малих навантаженнях і швидкостях ковзання пар тертя.

У системі граничного мащення може виникати хімічна адсорбція (хемосорбція), коли молекули змащення втримуються на поверхні хімічними зв'язками. Прикладом служить взаємодія стеаринової кислоти з окисом заліза в присутності води з утворенням на поверхні плівки «металевого мила» із стеарата заліза. «Металеве мило» має більш високі міцнісні властивості на зріз і температуру плавлення (390 K), що підвищує стійкість плівки.

Хімічно адсорбовані плівки мають ефективну змащувальну здатність, аж до температури плавлення, незалежно від того, утворені



вони на поверхні реагуючої чи ні. Вони забезпечують змазування при помірних температурах, навантаженнях, швидкостях ковзання, але виявляються непридатними у важких робочих умовах через порушення орієнтації, розм'якшення або плавлення плівки. У системі із граничним змащенням між твердими поверхнями і молекулами мащення можуть протікати хімічні реакції, коли існує обмін валентними електронами, і утворюються нові хімічні речовини (плівки солей металів, що володіють малою міцністю на зріз, але високою температурою плавлення). Ці плівки більш стійкі ніж будь-яка фізично або хімічно адсорбована плівка. Граничні мащення, що виникають у результаті хімічної реакції, придатні для високих навантажень, температур і швидкостей ковзання, але вони не повинні бути занадто активними. У противному випадку розвивається корозійно-механічне зношування.

*Висновки.* Таким чином, дослідження показують, що:

- працездатність масла визначається стабільністю плівки на нерівностях металу, яка, у свою чергу, залежить від взаємодії металу, масла і навколишнього середовища, а також від тепловиділення на поверхнях розділу при терті. Ушкодження поверхні тертя деталі виникає у випадку, якщо контактний тиск перевищить величину несучої здатності плівки змащення;

- руйнування поверхневих плівок може відбуватися поетапно. Спочатку руйнуються або термічно розкладаються зовнішні шари (фізично або хімічно адсорбовані), а потім внутрішні (оксидні і зміцнені). Таким чином, механізми порушення працездатності таких плівок масла на поверхнях тертя деталей визначаються фізичною і хімічною природою захисних поверхневих шарів, а також умовами контакту нерівностей.

*Список використаних джерел:*

1. Дідур В. В., Паніна В. В., В'юник О. В. Спосіб підвищення післяремонтної довговічності шестеренних насосів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 4. С. 110–117.

2. Yakovleva A. P. Improving the Durability of Machine Parts Using a Combined Method. *Materials Science Forum*. 2019. P. 37-41.

**DOI:** 10.4028/www.scientific.net/MSF.946.37 .

3. Крагельский И. В., Добычин М. Л., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. Москва: Машиностроение, 1977. 526 с.

4. Running-in of repaired engines using friction modifiers / S. Mitko et al. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2014. P. 62 – 65. **DOI:** 10.1108/ILT-07-2011-0056.

5. Neville A., Morina A. Wear and Chemistry of Lubricants. *Wear - Materials, Mechanisms and Practice*. Gwidon W. Stachowiak, 2014. P. 71-94. **DOI:** 10.1002/9780470017029.ch5.





6. Lee Hsin-Min , Wang A-Cheng, Lin Yan-Cherng. Friction Characteristics of Machined Metal with Different Surface. *Morphologies Advances in Materials Science and Engineering*. 2015. DOI: 10.1155/2015/710768.

7. Закалов О. В., Закалов І. О. Основи тертя і зношування в машинах: навч. посібник. Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 322 с.

8. Динаміка фрикційної взаємодії / М. В. Кіндрачук та ін. *Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. журнал*. 2014. № 1. С. 63 – 72. DOI: 10.18372/0370-2197.1(62).7766.

9. Гаркунов Д. Н., Мельников Э. Л. Безизносное трение и водородное изнашивание металлов в решении основных трибологических проблем качества механизмов и машин. *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2014. № 1(19), т. 2. С. 205 – 214.

10. Effect of Nano Oil Additive Proportions on Friction and Wear Performance of Automotive Materials *Tribology in Industry* / A. Vadiraj et al. 2012. Vol. 34, № 1. P. 3-10. URL: <http://www.tribology.rs/> (дата звернення 16.04.2020).

#### ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ПРИСАДОК ПРИ ОБКАТУВАННІ ГІДРОМАШИН

В'юник О. В., Паніна В. В., Дідур В. В., Дашивець Г. І.

##### Анотація

Припрацювання поверхонь тертя деталей після відновлення є важливим резервом підвищення надійності і ресурсу шестеренних насосів після ремонту. Ця робота є складовою досліджень, присвячених підвищенню післяремонтної довговічності вузлів тертя шестеренних насосів НШ–К за рахунок зниження зносу деталей в період припрацювання. В статті описано процес масопереносу при терті. Надано схему фрикційної взаємодії поверхонь, покритих плівками переносу. Наведено рівняння довговічності для різних матеріалів у широкому інтервалі напруг і температур та залежність процесу граничного тертя металів. Описано види фрикційної взаємодії; особливості режиму граничного змащення; процеси фізичної та хімічної адсорбції. Запропоновано шляхи впливу на процеси пластичного відтискування матеріалу, адгезійного порушення фрикційного зв'язку та когезійного впливу. Обґрунтовано доцільність застосування присадок при обкатці деталей аксіально-поршневих гідромашин. Наведено результати проведених досліджень.

**Ключові слова:** гідромашини, обкатування, тертя, змащення, присадки.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИСАДОК ПРИ ОБКАТКЕ ГИДРОМАШИНЫ

Вьюник А. В., Панина В. В., Дидур В. В., Дашивец Г. И.

##### Аннотация

Приработка поверхностей трения деталей после восстановления – важный резерв повышения надежности и ресурса шестеренных насосов после ремонта. Эта работа является составляющей исследований, посвященных повышению послеремонтной долговечности узлов трения шестеренных насосов НШ–К за счет снижения износа деталей в период приработки. В статье описан процесс



массопереноса при трении. Предоставлена схема фрикционного взаимодействия поверхностей, покрытых пленками переноса. Приведены уравнения долговечности для различных материалов в широком интервале напряжений и температур и зависимость процесса граничного трения металлов. Описаны виды фрикционного взаимодействия; особенности режима граничной смазки; процессы физической и химической адсорбции. Предложены пути влияния на процессы пластического отеснения материала, адгезионного нарушения фрикционной связи и когезионного воздействия. Обоснована целесообразность применения присадок при обкатке деталей аксиально-поршневых гидромашин. Приведены результаты проведенных исследований.

**Ключевые слова:** гидромашинны, обкатка, трение, смазка, присадки.

## **THEORETICAL APPROACHES FOR THE USE OF DIFFERENT ADDITIVES IN THE RUNNING-IN PROCESS OF THE HYDRAULIC MACHINES**

**O. V. Viunyk, V. V. Panina, V. V. Didur, G. I. Dashivets**

### *Summary*

Working-in of the friction surfaces of parts after restoration is an important reserve of increase of reliability and resource of gear pumps after repair, therefore introduction of advanced technologies at repair and running-in of hydraulic machines is relevant. This work is part of researches devoted to improve the post-repair endurance of friction units of the gear pumps NS-K by reducing the wear of the parts during the working-in period. The article describes the process of mass transfer during friction. The scheme of friction interaction of surfaces covered by transfer films is given. The general longevity equation for a large number of various materials in a wide range of stresses and temperatures is presented, as well as the dependence of the process of dynamic interaction of bodies - the ultimate friction of metals. The types of friction interaction are described; peculiarities of the boundary lubrication mode, in which the working-in of the parts of the pumping assembly of axial-piston hydraulic machines occur; physical and chemical adsorption processes. The ways of influence on the processes of plastic extrusion of material, adhesive disturbance of friction bonding and cohesive influence are offered. The expediency of using a rational set of additives in the running-in parts of axial-piston hydraulic machines is substantiated. The results of the conducted researches are given which show that:

- the performance of the oil is determined by the stability of the film on the irregularities of the metal, which, in turn, depends on the interaction of metal, oil and the environment, as well as heat dissipation on the surfaces of the section during friction. Damage to the friction surface of the component occurs if the contact pressure exceeds the load bearing capacity of the lubricating film.

- the destruction of surface films can occur in stages. First, the outer layers (physically or chemically adsorbed) are destroyed or thermally decomposed, then the inner layers (oxide and hardened) are destroyed. Thus, the mechanisms of disability of such films of oil on the friction surfaces of the parts are determined by the physical and chemical nature of the protective surface layers, as well as the conditions of contact of the irregularities of the friction surfaces.

**Keywords:** hydraulic machines, rolling, friction, lubrication, additives.