

*В. Ф. Лабунець, канд. техн. наук, проф.,  
В. А. Тім,  
А. В. Дмитренко,  
Р. М. Діденко, інж.*

## **ПРИЧИНИ ВТРАТИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЕРТЬОВИХ ДЕТАЛЕЙ АКСІАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНИХ ГІДРАВЛІЧНИХ НАСОСІВ**

ДП Завод 410 ЦА, Україна

*Виконано аналіз причин і чинників, які спричиняють втрату працездатності спряжених деталей аксіально-плунжерних гідравлічних насосів як основи для подальшого розроблення методів поверхневого зміцнення та відновлення третьових деталей.*

**Загальна постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними завданнями.** Проблема забезпечення зносостійкості деталей аксіально-плунжерних гідравлічних насосів як на стадії виробництва, так і під час виконання ремонту є актуальною і потребує вирішення. Для поліпшення експлуатаційних характеристик гідравлічних насосів необхідно в першу чергу підвищити зносостійкість їх третьових деталей. Це дасть змогу забезпечити їх працездатність в широкому діапазоні впливу зовнішніх чинників.

**Огляд публікацій і аналіз невирішених проблем.** У виробнично-технічній та науковій літературі [1–8] досить широко і детально розглянуто питання гідродинаміки, конструювання, принципи дії гідроагрегатів, але недостатньо висвітлено причини та ознаки проявлення відмов паливних і гідравлічних агрегатів, зумовлених зношуванням їх деталей, способи попередження відмов та способи підвищення їх працездатності. Як зазначено в праці [6], це ускладнює усунення відмов авіаційної техніки в процесі її експлуатації та ремонту, а також урахування позитивного досвіду для підвищення надійності паливних та гідравлічних систем. Чітке уявлення про причини відмов, механізми зношування та пошкодження деталей, їх вплив на функціонування відповідних

регулювальних, розподільних та інших пристроїв є неодмінною умовою для об'єктивного визначення причин відмов гідравлічних та паливних агрегатів і своєчасного розроблення заходів щодо їх попередження.

Паливні та гідравлічні агрегати сучасних машин використовують для автоматичного регулювання подачі палива і мастильних матеріалів у двигунах, для підтримання або зміни тиску в паливних та гідравлічних системах, для регулювання продуктивності насосів і керування гідравлічними силовими агрегатами. Плунжерні пари використовують як насосні та силові елементи в насосах і гідромоторах [5].

Для плунжерних і особливо золотникових пар паливних і гідравлічних агрегатів при всій різноманітності їх конструктивних форм і функціональних особливостей вимога стабільності тертя є загальним параметром, яка визначає безвідмовність їх роботи в процесі експлуатації.

На всіх етапах проектування, виготовлення і експлуатації аксіально-плунжерних гідромашин інженери намагаються оптимізувати параметри процесів тертя і зносу як складових робочого процесу залежно від заданих умов (вхідних параметрів). Це зумовлює до зниження енергетичних і матеріальних витрат, а отже, підвищення економічного ефекту [8]. Ще одним способом збільшення терміну експлуатації гідромашин є поверхневе зміцнення та відновлення деталей [9].

Для оцінювання працездатності деталей рухомих спряжень гідроагрегатів і розроблення засобів з підвищення їх зносостійкості потрібно знати зовнішні та структурні ознаки видів зношування, які відзеркалюють умови навантаження та інші чинники, що характеризують силу тертя, інтенсивність пошкодження деталей. Аналіз цих ознак зношування передбачає вивчення початкового стану поверхні деталі та характерних особливостей зміни мікрогеометрії і фізико-механічних властивостей матеріалів поверхневих шарів.

**Мета роботи.** Виконати системний аналіз причин руйнування поверхонь тертя деталей аксіально-плунжерних гідравлічних насосів для подальшого розроблення та пропонування способів забезпечення їх працездатності.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження були проведені на матеріалах, взятих під час проведення дефектації аксіально-плунжерних насосів таких типів:

1. Насос гідравлічний НП92. Частота обертання становить 2500 об/хв, робоче середовище – гідравлічне мастило АМГ-10, робочий тиск – 150 кгс/см<sup>2</sup>; встановлюється на гелікоптерах МІ-8, МІ-24, міжремонтний ресурс – 1500 год.

2. Насос гідравлічний 435Ф. Частота обертання становить 2070 об/хв, робоче середовище – АМГ-10, мастило МК-8, робочий тиск 150 кгс/см<sup>2</sup>; встановлюється на літаках АН-32, АН-12, міжремонтний ресурс – 1500 год.

3. Насосна станція НС-14. Частота обертання становить 2500 об/хв, робоче середовище – АМГ-10, робочий тиск – 150 кгс/см<sup>2</sup>; встановлюється як аварійний насос на літаках АН-26, АН-32.

4. Насос гідростатичний EATON АН128535. Частота обертання становить 1000–3000 об/хв, робоче середовище гідравлічне мастило – SAE-10, робочий тиск – 480 кгс/см<sup>2</sup>, встановлюється на сільгостехніці John Deere.

Дослідження деталей аксіально-плунжерних гідравлічних насосів проводили методами неруйнівного контролю: акустичним, магнітним, індукційним і рентгенографічним. Макрографічні дослідження проводили за допомогою мікроскопа МБС-2 за збільшення 2080, мікроскопічні – на мікроскопі NEOFOT-32 і електронномікроскопічні – на електронному растровому мікроскопі.

Явні поверхневі дефекти виявляли візуально, а приховані (внутрішні) і поверхневі, які неможливо виявити неозброєним оком, – неруйнівними методами контролю.

**Зміст і результати досліджень.** Одним з поширених видів зношування гідравлічних насосів є кавітація. Кавітаційне зношування виникає в результаті турбулентного потоку рідини. Кавітація належить до нестационарних явищ, оскільки вона являє собою процес виникнення, зростання і закриття каверн. При цьому в рідині поширення імпульс тиску у вигляді ударної хвилі (тиск може досягати значень 10<sup>3</sup>МПа), яка може спричинити руйнування поверхні твердого тіла на великих відстанях [11]. Ступінь руйнування залежить від властивостей конструкційного матеріалу, його структури, напруженого стану та інших чинників.

Кавітаційне руйнування має чітко виражений характер і недопустиме під час роботи деталей гідромашин. Глибина каверн може сягати від кількох мікрометрів до 100 мкм і більше, а площа уражених ділянок може становить від часток в квадратних міліметрах ( $\text{мм}^2$ ) до кількох квадратних метрів ( $\text{м}^2$ ). Макрофотографію повзуна плунжера з явним руйнуванням у результаті гідрокавітаційного вимивання показано на рис. 1. У результаті розвитку кавітаційних процесів на поверхні повзуна виникають каверни, вириви, які характеризуються неоднорідним рельєфом з виступами та заглибинами.



Рис. 1. Руйнування повзуна плунжера в результаті кавітаційного вимивання

Процесом дослідження для деталей, які працюють в умовах повторно-змінних навантажень, є втомне руйнування. Зовнішнім проявом втоми металів є поява і розвинення у наслідок кількоразових навантажень характерного виду тріщин, які виникають за напружень, нижчих за межу міцності. Тріщини зароджуються на мікрорівні. Надалі тріщини розвиваються в макротріщини, які призводять до руйнування (рис. 2, 3).



Рис. 2. Руйнування плунжера в результаті втомного розтріскування

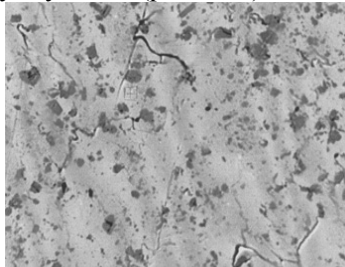


Рис. 3. Електронна фотографія поверхневого руйнування при втомному зношенні

У процесі проведення досліджень встановлено, що мікротріщини втомного зношування виникають не тільки на поверхні деталей, а й у підповерхневих шарах. Основним джерелом зародження поверхневих і підповерхневих мікротріщин є змінні поля напружень. Як було встановлено Герцом, для статичного пружного контакту максимальні напруження стиснення виникають на поверхні, а максимальні дотичні напруження – на деякій глибині від неї.

Процес руйнування металів за одночасної дії багаторазового (циклічного) деформування і адсорбування поверхнево-активних речовин називають абсорбційною втомою [14]. Механізм утворення втомної тріщини при абсорбційній втомі аналогічний механізму її утворення при звичайному процесі втомного руйнування, але після появи тріщини на поверхні твердого тіла по ній починає мігрувати поверхнево-активне середовище, що сприяє розповсюдженню мікротріщини в поверхневому шарі унаслідок активізації внутрішніх джерел дислокацій. Цей вид зношування спостерігається на деталях гідромашин, що працюють в середовищах мастильних матеріалів, гідросумішей і за циклічного деформування.



Рис. 4. Пятно контакту на сталевій опорній пластині як результат фретинг-корозії в парі з похилою чавунною шайбою

Зовнішній вигляд робочої поверхні вузла тертя гідронасоса з пошкодженням, типовим для фретинг-корозії, показано на рис. 3. На пошкоджених ділянках третьових поверхонь спостерігаються вириви, що підвищують її шорсткість, а оксиди металів як продукти зношування у вигляді порошку ініціюють абразивне зношування, оскільки оксиди металів завжди мають твердість значно більшу, ніж метали. Різноманітний колір порошку свідчить про те, що при фретинг-корозії енергія розсіюється у вигляді тепла, яке інтенсифікує фізико-механічні процеси на робочих поверхнях

деталей. У зв'язку з малою амплітудою коливань поверхонь частинки зносу не виводяться із зони контакту, що стимулює подальший розвиток пошкоджень робочих поверхонь. Слід зазначити, що поверхневе пошкодження та мікротріщини, які виникають в процесі фретинг-корозії, ініціюють розвиток утомних тріщин за навантажень значно менших, ніж навантаження, що стимулюють втомне зношування.

Одним із катастрофічних видів зношування є абразивне, яке являє собою процес усунення або зміщення матеріалу в результаті появи у зоні контакту тертьових поверхонь жорстких частинок (наприклад, оксидів металів, піску та ін.).

Згідно з працею [13] цього виду зношування зазнають поверхні циліндрів амортизаторів шасі, зовнішні поверхні штоків, верхні й нижні бронзові букси, манжети ущільнювання, болтові з'єднання в шарнірах, органи механізації крила та інші форми і механізми. Руйнування визначаються взаємодією поверхонь тертя з абразивним середовищем, сутність якого полягає не тільки в ковзанні твердих частинок по поверхні деталі, а і в її пластичному деформуванні, зануренні в місцях контакту, руйнуванні поверхневих шарів без відокремлення металу або із появою мікростружки. Типовим представником цього виду руйнування є пошкодження циліндра силового сервопоршня керування похилою шайбою аксіально-плунжерного насоса.



Рис. 5. Риски та задири на внутрішній поверхні циліндра сервопоршня в наслідок гідроабразивного зношування

Значна кількість деталей вузлів тертя гідромашин працює в умовах механохімічного зношування, яке характеризується мінімальними значеннями коефіцієнта тертя та зносу. Робочі

поверхні деталей мають блискучий або матовий вигляд пошкоджень з плівками вторинних структур.

**Висновок.** Установлення основних видів зношування деталей гідромашин, механізму їх розвитку – це передумова розроблення методів підвищення їх зносостійкості.

Для забезпечення працездатності вузлів тертя гідромашин і, зокрема аксіально-плунжерних гідравлічних насосів в арсеналі металознавців є багато різноманітних методів зміцнення та відновлення робочих поверхонь деталей вузлів тертя.

### Список літератури

1. Эрнест В. Гидропривод и его промышленное применение. Пер. с англ. – М: Машгиз, 1963. – 492с.
2. Антинов В.В. Износ плунжерных пар и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей. – М.: Машиностроение, 1965. – 132с.
3. Фомин В.В. Гидроэрозия металлов. – М: Машиностроение, 1966. – 292с.
4. Баишта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1967. – 496с.
5. Лозовский В.Н. Надежность гидравлических агрегатов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320с.
6. Аксёнов А.Ф., Лозовский В.Н. Износостойкость авиационных топливногидравлических агрегатов. – М.: Транспорт, 1986. – 240с.
7. Войтов В.А. Принципы конструктивной износостойкости узлов трения гидро машин/ В.А. Войтов, О.М. Яхно,Ф.Х. Аби Сааб. – К.:НТУ(КПИ), 1999. – 192с.
8. Тромін О.М. Закономірності енергетичних співвідношень у високонавантажених трибосистемах і шляхи підвищення їх зносостійкості. Дисертація спец. 0502.04. – Київ: НТУ, 2010. – 160с.
9. Трибологія. Підручник/ М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко, І.Г. Черниш.
10. Хильчевский В.В. Надежность трубопроводной пневмогидроаппаратуры\ В. В. Хильчевский, А.Е. Ситиников, В.А. Ананьевский. – М.: Машиностроение, 1989. – 208с.
11. Эрозия/ Под ред. К. Прис. – М.: Мир, 1982. – 464с.
12. Надежность и долговечность машин/ Б.И. Костецкий, М.Г. Носовский, Л.И. Бернадский, А.К. Караулов. – К.: Техніка, 1975. – 408с.

13. Кудрін А.П. Основні види зношування деталей вузлів тертя сучасної авіаційної техніки\А.П. Кудрін, О.В. Мельник// Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2007. – Вип 48. – С.160–168.

*Лабунец В.Ф., Тит В. А., Дмитренко А. В., Диденко Р.М. Причины потери трудоспособности трущихся деталей аксиально-плунжерных гидравлических насосов // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 53. – С. 120–127.*

Выполнен анализ причин и факторов, вызывающих потерю трудоспособности сопряженных деталей аксиально-плунжерных гидравлических насосов как основа для дальнейшей разработки методов поверхностного упрочнения и восстановления трущихся деталей

Рис. 5, список лит.: 13 найм.

### **Causes of incapacity rubbing parts of axial-plunger hydraulic pump**

The analysis of causes and factors that result in disability conjugated details axial-no-plunger hydraulic pump as the basis for further development in methods of surface strengthening and restoration of rubbing parts

Стаття надійшла до редакції 10.06.10