

УДК 629.083(045)

О.А. ТАМАРГАЗИН¹, І.І. ЛІННІК¹, Л.Б. ПРИЙМАК¹

¹Національний авіаційний університет

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕЦИЗІЙНИХ ПАР ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ

Розглядаються результати досліджень впливу магнітного поля на робоче середовище при наявності та без наявності у складі оливи модельних нанопорошків різної магнітної природи та його взаємозв'язок із робочими поверхнями прецизійних пар, що працюють у сучасних енергетичних установках авіаційної наземної техніки. Дослідження проводились з мінеральними та синтетичними оливами при їх обробці постійним магнітним полем різної конфігурації. Отримані результати дозволяють виконати модернізацію систем змащення енергетичних установок авіаційної наземної техніки в експлуатаційних умовах з метою керування ресурсом окремих агрегатів та вузлів.

Ключові слова: олива, магнітне поле, прецизійна пара, енергетична установка.

1. Постановка проблеми

Енергетична установка є важливою частиною авіаційної наземної техніки (АНТ), завдяки якій забезпечується робота усіх основних функцій АНТ, тому її технічний стан впливає не тільки на експлуатаційну надійність АНТ, але й безпосередньо пов'язаний з питанням забезпечення безпеки польотів.

Значна частина позапланових зупинок АНТ пов'язана з виходами з ладу елементів системи змащення енергетичної установки (ЕУ) АНТ, які становлять понад 20% від загальної кількості відмов, причому значна їх частина обумовлена відмовами нагнітаючого насосу, підшипників кочення, відкачуючих насосів. Через наднормативний знос пар «плунжер-циліндр» при наробітку біля 4000 мотогодин до 70% з них підлягає заміні. З урахуванням позапланових простоїв АНТ річні збитки хендлінгових компаній складають сотні тисяч гривень.

Проблемі підвищення рівня експлуатаційної надійності прецизійних пар присвячена значна кількість спеціальних досліджень. Більшість з них присвячена підвищенню зносостійкості робочих поверхонь, застосуванню різноманітних комплексів антифрикційних присадок та модифікації оливи впливом різних фізичних полів. Ці дослідження дали відповіді на багато важливих питань стосовно вказаної проблеми, проте значна їх частина все ще потребує свого вирішення.

Відомо, що ресурс механізму залежить від інтенсивності зношування деталей, інтенсивність якого залежить від змашувальних властивостей оливи [1], таким чином, чим вони

кращі тим менше рівень зношування поверхонь деталей в процесі експлуатації.

Змашувальна здатність середовища виявляється здатністю запобігати зношуванню поверхонь тертя за умов утворення стійкої граничної плівки [2].

Міцність плівки залежить від наявності в ній активних молекул, їх кількості та якості [3].

Цікавим питанням для експлуатації є вивчення процесів утворення такої плівки та оцінка її характеристик при обробці робочої рідини постійним магнітним полем (МП).

2. Вирішення проблеми

У якості робочого середовища для досліджень використовувалися моторні оливи М10Г2к (мінеральна) та 5W40 (синтетична) та наступна схема тертя: площа-палець, робочий зразок сталь 45, модельне контртіло скло (прозорий матеріал). Швидкість 0,1...1,0 м/с, нормальне навантаження 0,5...1,5 МПа. Конструктивно проходження магнітних ліній крізь об'єм робочого середовища спрямовували таким чином, щоб вони перетинали робочу речовину безпосередньо перед потраплянням її в робочу зону.

В процесі напрацювання робоча поверхня вкривається плівками, щільність яких залежить від напрямку дії МП на робочу рідину. При розміщенні магнітів перпендикулярно до робочого середовища отримуємо, що і при напрямку МП $S-N$ і при напрямі $N-S$ диполі робочої рідини будуть розташовані перпендикулярно стосовно робочих поверхонь тертя, однак рівень зношування буде різним [2]. Це пояснюється тим, що при напрямку МП $N-S$ в діапазоні

дії силових ліній на робоче середовище оливи М10Г2к та 5W40, модифікатори слідуєть напрямку магнітних ліній із середовища до контртіла, тобто силою МП притискаються до поверхні контртіла, а потім при терті значна їх частина потрапляє на зразок, таким чином приймаючи активну участь у підвищенні рівня зносостійкості поверхні. Відповідно поверхня характеризується наявністю захисної плівки (ЗП) (60...65% в оливі М10Гк, 25...30% в 5W40 і зносостійкістю $-0,005$ мкм/км в М10Г2к та $-0,0065$ мкм/км в 5W40.

У випадку, коли МП має S-N напрям, магнітні лінії спрямованні навпаки: від контртіла до середовища, тобто модифікатори оливи виносяться в об'єм робочого середовища, таким чином практично не потрапляють на робочу поверхню. Площа ЗП складає 8...10% для М10Г2к та 2...4% для 5W40, рівень зношування відповідно $-0,02...0,04$ мкм/км у М10Г2к та $-0,02...0,01$ мкм/км у 5W40. Але якщо говорити про рівень зношування без дії МП в зазначених оливах, тоді в синтетичній оливі 5W40 зношування буде нижчим ніж в мінеральній М10Г2к за рахунок наявності покращених та вдосконалених експлуатаційних характеристик цієї синтетичної оливи. При терті без дії МП продукти напрацювання розташовуються довільно в оливі й певна їх кількість переноситься на робочу поверхню, але рівень розтікання оливи по поверхні нищий ($6 \text{ мм}^2/\text{хв.}$) ніж при дії на оливу МП ($9,5 \text{ мм}^2/\text{хв.}$), тому рівень зношування при S-N напрямку МП та без МП майже не відрізняється.

Таким чином, після проведених досліджень було встановлено оптимальний вплив МП на робоче середовище, а саме його напрям N-S, що підвищує зносостійкість поверхні тертя до $0,01$ мкм/км.

Моделльні випробування сталі 45 по ЛС59-1 в робочому середовищі, яке знаходиться під впливом МП характеризуються утворенням і утриманням ЗП на поверхні тертя при направленні МП S-N-S-N протягом 30...40 хвилин в оливах М10Г2к та 5W40, а без МП – 15...20 хв., після чого в обох зазначених випадках проходить процес стирання ЗП.

Таким чином, встановлено оптимальний вплив МП поля на робоче середовище, а саме його напрям (S-N-S-N), що сприяє покращенню експлуатаційних характеристик, а саме підвищенню зносостійкості робочої поверхні.

Так як змащувальні матеріали, оброблені МП, володіють антифрикційними та протизносними властивостями, тому змінюючи стан змащувального матеріалу використанням енергії МП можна покращити експлуатаційні характеристики робочих поверхонь.

Для досліджень було вибрано наступні об'єкти:

– енергетичні – вплив МП постійного магніту на змащувальний матеріал, з можливістю зміни потужності магнітної індукції та напрямку магнітних ліній;

– фізичні: зразок із сталі 45, скляне контртіло, робоче середовище – моторна мінеральна олива М10Г2к та синтетична 5W40.

Під час експериментів магніти створювали постійне, рівномірне МП, яке впливає на робоче середовище поза робочою зоною.

Дослідження на зносостійкість проводили по схемі контакту площа-палець. Нормальне навантаження на зразок складало $0,5$ МПа, $1,0$ МПа та $1,5$ МПа, а швидкість $0,1$ м/с, $0,5$ м/с, 1 м/с. Для збору статистичних даних зразком служила сталь 2 як модельний матеріал, поверхневі зміни на робочій поверхні якого проходять значно інтенсивніше ніж на загартованих сталях, а контртілом – скло (для проведення моніторингу змін на робочій поверхні).

На робочих поверхнях в оливах М10Г2к та 5W40 без впливу МП практично немає ЗП (займають до 1% площі тертя), відповідно інтенсивність зношування в цьому випадку висока, понад $-0,02$ мкм/км. Під дією МП, з напрямом S-N, величина магнітної індукції складала $0,15$ Тл. Топографія поверхні при цьому характеризується наявністю ЗП (до 4...6% в М10Г2к та 3...5% в 5W40), що пояснюється тим, що при дії МП на оливу кінетика її розтікання підвищується, кут змочування оптимізується в порівнянні із звичайними умовами, а це в свою чергу покращує експлуатаційні характеристики робочої поверхні, а саме, знижує рівень зношування за рахунок покращення змащувальних властивостей оливи. Крім того МП сприяє інтенсивнішому створенню ЗП на поверхні тертя зразка, при цьому дещо підвищується рівень зносостійкості до $-0,005$ мкм/км в М10Г2к та $-0,008$ мкм/км в 5W40.

Підвищенням величини магнітної індукції до $0,3$ Тл з напрямом МП S-N-S-N поверхні тертя характеризуються значною кількістю продуктів, що беруть участь у створенні ЗП (8...12 % площі поверхні в М10Г2к та 5...9% в 5W40). Це говорить про те, що парамагнітні та діамагнітні модифікатори робочої рідини намагнічуються в зоні дії МП, і виштовхуючись осідають на поверхню, що третється, інтенсивніше ніж при $0,15$ Тл. Крім того, намагнічені модифікатори оливи в робочій зоні активно упродовжуються в поверхню, саме тому проходять процеси підвищення зносостійкості

матеріалу, а саме до $-0,003$ мкм/км в середовищі М10Г2к та до $-0,0045$ мкм/км в 5W40.

При напрямі магнітних ліній S-S-N-N поверхні тертя характеризуються значним рівнем зношування, оскільки на них практично не спостерігаються ЗП, що пояснюється тим, що як парамагнітні, так і феромагнітні модифікатори, слідуєчи напряму МП, виносяться в об'єм робочого середовища й інтенсивність їх потрапляння в зону тертя є низькою. Таким чином, поверхня не захищена плівками та значно зношується до $-0,03$ мкм/км в М10Г2к та до $-0,04$ мкм/км в 5W40.

Отже, постійне МП при впливі на змащувальне робоче середовище значно покращує експлуатаційні характеристики, а саме підвищує зносостійкість сталі 2 в направленому МП з напрямками S-N та S-N-S-N в основному за рахунок зміщення модифікаторів оливи до робочої зони, підвищення рівня кінетики її розтікання на поверхні тертя та оптимізації кута змочування. Було з'ясовано, що з підвищенням величини магнітної індукції МП, за умов його впливу на ММ, знижується коефіцієнт тертя.

Через те що поршень плунжерного насосу зазвичай виготовляють із загартованої на мартенситну структуру сталі, то актуальним було провести модельне дослідження, де робочий зразок буде виготовлений із зазначеного матеріалу.

Виходячи із результатів досліджень, поверхонь зразків та результатів отриманих даних відповідно до навантаження, можна сказати, що зносостійкість поверхонь тертя, як і в попередньому випадку із сталлю 2, залежить від напрямку магнітних ліній, що діють на робоче середовище та магнітної індукції, величина якої впливає на рівень кінетики розтікання оливи по робочій поверхні, кута змочування та спрямування її модифікаторів.

Найбільш інтенсивний механізм підвищення зносостійкості робочої поверхні сталі 45, як і у сталі 2, спостерігається при S-N-S-N розміщенні магнітів, оскільки, як було раніше визначено в другому розділі, саме під дією МП кінетика розтікання оливи підвищується до $9 \text{ мм}^2/\text{хв.}$, а кут змочування становить $2,5^\circ$, що й пояснює рівень зносостійкості поверхні тертя до $-0,0025$ мкм/км в середовищі М10Г2к та до $-0,003$ мкм/км в 5W40. Аналізуючи отримані результати потрібно зауважити, що такий параметр як нормальне навантаження має значний вплив на рівень зносостійкості, а саме, із збільшенням навантаження на робочу поверхню підвищується рівень зношування. В ході досліджень було також встановлено,

що коефіцієнт тертя сталі 45 по скляному контртілу в робочому середовищі М10Г2к та 5W40 під дією МП знижується, а це сприяє зниженню рівня зношування та підвищенню зносостійкості поверхонь.

Для проведення моніторингу процесу тертя пари метал-метал доцільним є збір статистичних даних стосовно характеру вібраційних характеристик при зміні трибологічного стану поверхні при терті сталі по склу, з подальшим перенесенням результатів на пару метал-метал, оскільки, як зазначалося в роботі [1], природа процесу зношування та кінетика його розвитку тісно пов'язані із станом змащувального шару, а робочий стан робочої рідини та зовнішній вплив в обох випадках ідентичні.

Реальна прецизійна пара в процесі експлуатації це сталений поршень (мартенситної структури) по латунному циліндру, тому доцільним було дослідити саме цю робочу пару на підвищення зносостійкості у робочому середовищі, обробленому МП.

Для проведення експерименту було використано латунне контртіло із ЛС59-1 та сталь 45, як зразок, та оливи М10Г2к та 5W40, як робочі середовища. Час проведення досліджень визначено за допомогою накопичення даних при попередніх дослідженнях змін на робочих поверхнях за рахунок того, що контртілом було скло та заздалегідь визначено оптимальні параметри проведення експерименту.

Таким чином, механізм підвищення зносостійкості буде таким самим, що і у випадку із контртілом склом тільки інтенсивнішим за рахунок того, що у процесі створення ЗП на поверхні крім модифікаторів оливи прийматимуть участь ще й латунні складові контртіла.

Змащувальне робоче середовище значно підвищує зносостійкість сталі 45 в направленому МП $0,3 \text{ Тл}$, за рахунок зміщення модифікаторів оливи в робочу зону, підвищення рівня кінетики розтікання оливи по робочій поверхні та оптимізації кута змочування, що в свою чергу підвищує рівень зносостійкості до $-0,0012$ мкм/км в М10Г2к та до $-0,0016$ мкм/км в 5W40. Також з'ясовано, що коефіцієнт тертя сталі 45 по ЛС59-1 в робочому середовищі знижується з підвищенням величини магнітної індукції.

Висновки

У результаті проведених досліджень було встановлено, що під дією МП на робоче середовище зносостійкість поверхонь зростає в 1,5 рази в порівнянні із рівнем зносостійкості без впливу МП. Це пояснюється тим, що енергетичний додаток МП в оливу, складає 11,8%,

(підвищується рівень кінетичного розтікання оливи на 37%, оптимізується кут змочування – 87%, підвищується її температура на 5%). В ході проведення експериментів було з'ясовано, що експлуатаційні параметри поверхні сталей в оброблених МП робочих середовищах, а саме максимальний рівень зносостійкості поверхні тертя, спостерігається при S-N-S-N напрямку МП при 0,3 Тл магнітної індукції і становить до $-0,03...0,04$ мкм/км за рахунок високого рівня кінетичного розтікання оливи до $9,5$ мм²/хв. та кута змочування $2,5^\circ$, це в свою чергу дозволяє покращити технічний стан прецизійної пари.

Література

1. Дмитриченко М. Ф. Смазочное действие смазок и водно-гликолевых жидкостей в условиях сильной смазки и масляного голодания локального контакта трения [Текст] : дис д-ра техн. наук / Дмитриченко М. Ф. – К. : НАУ, 1991. – 386 с.
2. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах [Текст] / Б. И. Костецкий. – К.: Техніка, 1970. – 396 с.
3. Мышкин Н. С. Трибология в работах В. А. Белого [Текст] / Н. С. Мышкин, М. И. Петроковец, Ю. М. Плескачевский // Трение и износ. – 2002. – №3(23). – С. 236-246.

Поступила в редакцию 31.05.2016

А.А. Тамаргазин, И.И. Линник, Л.Б. Приймак. Влияние магнитного поля на эксплуатационные характеристики прецизионных пар энергетических установок авиационной наземной техники

Рассматриваются результаты исследований влияния магнитного поля на рабочую среду при наличии и без наличия в составе масла модельных нанопорошков различной магнитной природы и его взаимосвязь с рабочими поверхностями прецизионных пар, работающих в современных энергетических установках авиационной наземной техники. Исследования проводились с минеральными и синтетическими маслами при их обработке постоянным магнитным полем различной конфигурации. Полученные результаты позволяют выполнить модернизацию систем смазки энергетических установок авиационной наземной техники в эксплуатационных условиях с целью управления ресурсом отдельных агрегатов и узлов.

Ключевые слова: *масло, магнитное поле, прецизионная пара, энергетическая установка.*

A.A. Timirgazin, I.I. Linnik, L.B. Pryimak. The influence of magnetic field on performance characteristics precision steam power plants aviation ground equipment

The article discusses the results of studies of magnetic field effect on the working medium in the presence and without the presence of the oil composition of different magnetic nanopowders model of nature and its relationship with work surfaces precision pairs working in contemporary power plants aviation ground equipment. The studies were conducted with mineral and synthetic oils during processing with a constant magnetic field of various configurations. The obtained results allow the upgrade of the lubrication systems of power plants aviation ground equipment in operating conditions to manage the resource of the separate units and units.

Keywords: *oil, magnetic field, precision pair, power plant.*