

УДК 621.891

Ю. Л. ХЛЄВНА

Національний авіаційний університет, Україна

ФОРМУВАННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ЕТАПУ ПРИПРАЦЮВАННЯ СИСТЕМИ «БРОНЗА – АМГ-10 – СТАЛЬ»

Встановлено закономірності зміни характеристик процесу припрацювання від рівня зовнішніх факторів трибологічної системи «бронза – АМГ-10 – сталь». При дослідженні поверхонь тертя отримано дані щодо механізму утворення та властивостей трибологічних структур на етапі припрацювання.

Ключові слова: *припрацювання, трибологічні структури, трибологічна система, сервовітна плівка, пари тертя.*

Вступ та постановка задачі досліджень. В даний час все більше уваги приділяється фізико-хімічним процесам, які відбуваються в тонких поверхневих шарах трибопари в процесі зношування. Важливим є дослідження початкового періоду роботи – етапу припрацювання. У період припрацювання, відбуваються зміни геометрії та фізико-хіміко-механічних властивостей тонких поверхневих шарів, у контакті формуються структури дисипативного типу. Поверхня, яка утворилась в процесі припрацювання, функціонує в подальшій експлуатації [1]. З позицій структурно-енергетичної теорії доведено, що еволюція процесів механохімічної адаптації обумовлює утворення на поверхнях трибологічних структур, при цьому досліджуються вторинні структури, їх формування здійснюється при комплексному впливі процесів тертя. З урахуванням [2] можна вважати, що процес припрацювання супроводжується диспергуванням структури поверхневого шару й утворенням захисних плівок, які полегшують опір зрушенню.

В насосах та гідроприводах гідравлічних систем, інших агрегатах авіаційної техніки (наприклад, букс-шток амортизаційної стійки, втулка-шток силового циліндра тощо) працює трибологічна пара «бронза – сталь» за умов граничного змащування в середовищі гідрорідини АМГ-10 або її мастильних аналогів. Букси амортизаційних стійок шасі літаків і втулки силових циліндрів гідросистем виготовляють з бронзи Бр.АЖМц 10 – 3 – 1,5, а деталі сполучень – зі сталі – 30ХГСА. Практична значущість вивчення процесу припрацювання цієї пари доповнюється актуальністю й донині нерозв'язаної, незважаючи на значний обсяг проведених науково-дослідних робіт, давньої наукової проблеми вибірного перенесення елементів бронзи в межах контактної зони тертя та утворення «мідної» («сервовітної») зносостійкої плівки водночас на поверхнях тертя бронзи та сталі, притаманної для трибологічних систем (ТС) БрАжМц10-3-1,5 – АМГ-10 – сталь (30ХГСА, ШХ15) [3- 5]. Актуальним є дослідження механізму формування трибологічних структур на етапі припрацювання, змін в тонких поверхневих шарах трибоспряжень, фізико-хімічних явищ, що протікають у зоні тертя.

Методика досліджень та обговорення результатів. Триботехнічні властивості досліджували для ТС Бр.АЖМц10-3-1,5 – АМГ-10 – сталь (30ХГСА, ШХ15), за умов однобічно направленою ковзання, за кінематичною схемою «площина (торець стаціонарно закріпленого бронзового кільця) – площина (торець рухомого сталевих кільця)» на розробленому лабораторному пристрої торцевого тертя [6]. Властивості поверхонь досліджували методами оптичної мік-

роскопії, растрової електронної мікроскопії, рентгенівського енергодисперсійного мікроаналізу та електронної Оже-спектроскопії.

З метою зменшення часу припрацювання, розширення діапазону граничного значення навантаження обрано його ступінчасте збільшення на етапі припрацювання. Через час T , який відслідковувався у відповідності з коефіцієнтом варіації сили тертя, навантаження підвищувалось на одну ступінь гранично-допустимого значення (табл.).

Таблиця

Характеристики припрацювання у ТС Бр.АЖМц-10-3-1,5 – АМГ-10 – сталь (30ХГСА, ШХ15) при чотирьох ступенях навантаження N , швидкості $V = 2$ м/с та температури мастильного матеріалу 50 °С

N	Граничнодопустиме навантаження, МПа		Час припрацювання, хв		Знос від припрацювання, мкм				Коефіцієнт тертя, μ
					бронза		сталь		
	30ХГСА	ШХ15	30ХГСА	ШХ15	30ХГСА	ШХ15	30ХГСА	ШХ15	
1	2,2	2,6	330	240	70	52	16	12	0,02
2	2,2+2,8	2,6+3,2	318	220	64	47	14,8	9	
3	2,2+2,8+3,1	2,6+3,2+3,7	300	210	60	44	14,2	7,2	
4	2,2+2,8+3,1+3,7	2,6+3,2+3,7+4,1	270	180	46	40	13,6	6,8	

Порівняльний аналіз експериментальних досліджень, початкових умов роботи системи «бронза – АМГ-10 – сталь», дозволив встановити, що ефективність процесу припрацювання за швидкості 2 м/с і ступінчастого підвищення питомого навантаження має кращий ефект, ніж за постійного навантаження. Ступінчасте навантаження пари тертя призводить до розширення області граничнодопустимого навантаження, зменшення часу та зносу від припрацювання.

Дослідженням мікроструктури поверхонь тертя ТС Бр.АЖМц10-3-1,5 – АМГ-10 – сталь (30ХГСА, ШХ15), виявлено у вказаних випадках наявність на поверхнях тертя як бронзи, так і сталі «мідного» відтінку. Це несло за собою припущення, про утворення зносостійкої плівки у вигляді тонкого шару міді на поверхнях тертя та виконання схеми формування трибоструктури зображеної на рис. 1.

Подібна візуальна характеристика найчастіше використовується у трибологічній практиці для підтвердження явища утворення «сервоподібної» зносостійкої плівки на основі міді, водночас на поверхнях тертя бронзи та сталі [4].

Методами мікрозондової Оже-спектроскопії, рентгенівського енергодисперсійного мікроаналізу, растрової електронної та оптичної мікроскопії виявлено суттєво різний характер змін у хімічному складі поверхневих шарів бронзи та сталі. Локалізація «сервовитної плівки» проявляється перш за все на бронзі, а «адгезійне» перенесення на сталь суттєво залежить від властивостей поверхні останньої.

На поверхні ТС Бр.АжМц10-3-1,5 – АМГ-10 –30ХГСА виявлено, формування на бронзі тонкого шару атомів міді з вуглецем, практичну відсутність карбідів, а на сталі – мідь (рис. 1, б). Однак, так як отримані триботехнічні характеристики сталі 30ХГСА були значно гіршими, ніж при терті по сталі ШХ15, за зносом та коефіцієнтом тертя, тому можна стверджувати, що мідь на поверхню сталі наноситься під впливом мікросхоплень. Практична відсутність цієї плівки

на поверхні сталі ШХ15 у досліджуваній парі тертя пояснюється високонапруженою мартенситною структурою загартованої сталі ШХ15 [3].

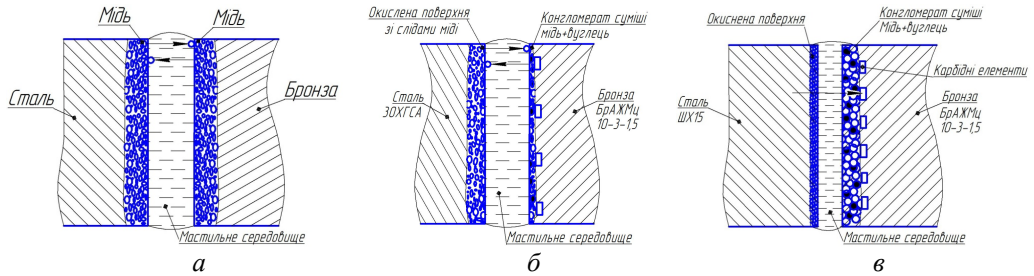


Рис. 1. Схема формування трибоструктури етапу припрацювання системи «бронза – АМГ-10 – сталь»: а – схема формування трибоструктури Д.М. Гаркунова; б – схема формування трибоструктури на поверхні ТС Бр.АжМц10-3-1,5 – АМГ-10 –30ХГСА; в – схема формування трибоструктури ТС Бр.АжМц10-3-1,5 – АМГ-10 –ШХ15

У ТС Бр.АжМц10-3-1,5 – АМГ-10 –ШХ15 виявлено суттєво різний характер змін у хімічному складі поверхневих шарів бронзи та сталі: переважного науглецювання у значних концентраціях бронзи на глибині від більш, ніж 1,5 до 0,8 мкм та одночасного переважного окиснення сталі, відповідно на глибині від 250 до близько 1500 нм. Мідь на поверхні сталі зареєстровано в концентраціях мікродомішки. Отже, «мідний» відтінок поверхні тертя сталі було обумовлено оксидами заліза.

Результати роботи піднімають питання про перенесення в зоні тертя елементів високоміцної сталі ШХ15 на бронзу та їх «глибоке проникнення» як мікродомішок у підповерхневий шар останньої. Ретельний спектральний аналіз складу мікродомішок та аналіз мікроструктури поверхонь тертя сталі та бронзи, виявили ефект перенесення фрагментів карбідної структури з поверхні сталі ШХ15 на поверхню бронзи та його ключову роль у механізмах утворення поверхневого шару бронзи, відомого в умовах ефекту «вибірнього перенесення» як «сервовітна плівка». Подібне ніяк не пояснюється теорією «вибірнього перенесення» у парі «бронза-сталь». Але вказаний розподіл механохімічних процесів окислення поверхні та одночасного відновлення (науглецювання) поверхні тертя бронзи – спостерігали як за чіткого феноменологічного підтвердження ефекту «вибірнього перенесення», так і за умов, віддалених від оптимальних для його прояву, він зберігався за умови суттєвої зміни товщини механохімічно утворених поверхневих шарів бронзи та сталі [3].

Феномен «сервовітної плівки» слід пов'язувати з чітко локалізованою в поверхневих шарах контактної зони тертя плівкою, в якій провідну роль відіграє вуглець. «Сервовітна плівка» у ТС Бр.АжМц10-3-1,5 – АМГ-10 –ШХ15 в поверхневому шарі бронзи досягається стехіометрією між карбідотвірними елементами та вуглецем, характерною для карбідних фаз сталі (рис. 1, в).

Зроблені висновки обумовлюють гіпотезу про те, що відмічена раніше зовнішня аналогія між співвідношеннями мікроструктурних фаз у третьовому шарі бронзи та співвідношеннями концентрацій металу та вуглецю в мікроструктурах поверхневого шару сталі є пов'язаною з процесами перенесення мікроструктурних карбідних фрагментів сталі на поверхню бронзи на етапі припрацювання.

Висновки. Дослідження системи Бр.АЖМц – АМГ-10 – сталь (30ХГСА, ШХ15) дозволили встановити закономірності зміни характеристик процесу припрацювання (часу та зносу від припрацювання) від рівня зовнішніх факторів.

Атомарні механізми формування трибологічних структур на етапі припрацювання залишаються відкритими для подальших досліджень, але суттєво доповнюються отриманими результатами стосовно принципової ролі перенесення карбідних фрагментів із сталі на бронзу з послідувачим науглецюванням останньої та окиснення сталі.

Список літератури

1. Комбалов В. С. Влияние шероховатости твердых тел на трение и износ / В. С. Комбалов. – М. : «Наука», 1974. – 112 с.
2. Кульгавий Э. А. Триботехнические характеристики и их применение / Э. А. Кульгавий // Проблени трибології. – 2003, № 3. – С. 51 – 61.
3. Особливості взаємодії та стан поверхонь тертя пари бронза-сталь / [Кіндрачук М. В., Міщук О.О., Данілов А.П., Хлевна Ю.Л.] // Проблени трибології. – 2013. – № 1. – С. 51–58.
4. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность)/ Д. Н. Гаркунов. – М. : Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.
5. Смазочные материалы, реализующие эффект «безызносности» / [Гришин Н.Н., Викторова Ю.С., Фукс И.Г., Караулов А.К., Василенко И.В.] // Химия и технология топлив и масел. – 1989. – № 4. – С. 40 – 43.
6. Кіндрачук М.В. Установка та методика визначення характеристик тертя та зношування/ [Кіндрачук М.В., Кульгавий Е.А., Данілов А.П., Хлевна Ю.Л.] // Наукоємні технології. – 2010. № 2 (6). – С. 22 – 25.

Стаття надійшла до редакції 16.03.2015

Y. L. KHLIEVNA

PHASE STRUCTURE FORMATION TRIBOLOGICAL RUNNING-IN OF "BRONZE - AMG-10 - STEEL"

It is shown that a step load increment, regulation of frictional heat generation and constant sliding velocity activate the process of running-in, broaden the range of maximum permissible loads, reducing the time and wear-and-tear, as well as the probability of jamming, seizure and failure of running-in. Study of the friction surface Бр.АжМц10-3-1,5–АМГ–10–ШХ15 by methods of optical, scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray microanalysis, Auger electron spectroscopy showed fundamentally different properties than it had been provided by the theory of "selective transfer" inherent to the present tribological system. We have established significantly different pattern of changes in the chemical composition of the surface layers of bronze and steel: preferential carbonization in significant concentrations of bronze, simultaneous preferential steel oxidation, which is a new aspect of the formation mechanism and properties of the surface "servovite film" on the bronze. "Copper" tone on the friction surface of steel is not due to "rubbed" surface film of copper but due to color of submicron surface films of iron oxides.

Keywords: running-in, tribological structures, tribological system, servovite film, friction pair.

Хлевна Юлія Леонідівна – канд. техн. наук, молодший науковий співробітник кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 77 73, E-mail: yuliya-khlevna@yandex.ua.