

ТИМОФЕЄВА Л.А., ВОЛОШИНА Л.В., ТИМОФЄЄВ С.С., ВОЛОШИН Д.І., КОЛЕСНИК М.А.

МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ В УМОВАХ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

У роботі отримали подальший розвиток питання модифікації поверхні деталей машин та механізмів, які працюють в умовах тертя та зношування з мастилом та без. Розглянуто питання залежності антифрикційності і фрикційності від особливого стану лише поверхневих шарів деталей тертя. Виявлено, що саме структурні зміни, які відбуваються в повехневому мікрошарі спряжених матеріалів, утворення та руйнування вторинних структур відповідальні за характер вузла тертя. Авторами пропонується створення на поверхні тертя таких захисних покриттів, які мають властивості та механізм дії відповідний вторинним структурам аби мати можливість керувати явищами антифрикційності та фракційності в зоні тертя спряжених деталей. Поставлена мета дослідження досягається обробкою залізвуглецевих сплавів в середовищі перегрітої пари водних розчинів солей. Вибрано оптимальні параметри технологічного процесу формування покриттів при пароокисдуванні. Проведені лабораторні випробування різного хімічного складу утвореного покриття на триботехнічні властивості пари тертя. В ході проведення дослідження автори дійшли висновку, що встановивши якісну та кількісну залежність між складом оксидних покриттів та їх триботехнічними властивостями, можна змінювати тим самим умови вузла тертя від антифрикційності до фрикційності, використовуючи при цьому для виготовлення його деталей ті самі конструкційні матеріали – залізвуглецеві сплави. Таким чином, складні оксиди, які відрізняються за хімічним складом і будовою, що є покриттями на залізвуглецевих сплавах, можуть істотно впливати на термомеханофізичні процеси, які протікають при експлуатації та дозволяють їх реновацію в присутності мастильного матеріалу та без нього. Покриття утворені на поверхні залізвуглецевих сплавів відповідно до умов експлуатації можуть мати як фрикційні та і антифрикційні властивості.

Ключові слова: антифрикційні, фрикційні пари тертя, структура поверхні тертя, захисні покриття, насичуюче середовище, водний розчин солей, легуючі елементи, оксидні покриття, знос, триботехнічні властивості

TIMOFEEVA L.A., VOLOSHYNA L.V., TIMOFEEV S.S., VOLOSHYN D.I., KOLESNYK M.A.
SURFACE MODIFICATION OF MACHINE PARTS AND MECHANISMS IN THE CONDITIONS OF FRICTION AND WEAR

The issues of surface modification of machine parts and mechanisms in conditions of friction and wear with and without oil further develops that work. The dependence of antifricition and friction on the special state of only the surface layers of friction parts is considered. It is revealed that the structural changes that occur in the surface microlayer of conjugate materials, the formation and destruction of secondary structures are responsible for the nature of the friction node. The authors propose to create on the friction surface such protective coatings that have properties and mechanism of action corresponding to secondary structures in order to be able to control the phenomena of antifricition and fractionality in the friction zone of conjugate parts. The aim of the study is achieved by processing iron-carbon alloys in the environment of superheated steam of aqueous solutions of salts. The optimal parameters of the technological process of forming coatings during vapor oxidation are selected. Laboratory tests of different chemical composition of the formed coating on the tribotechnical properties of friction steam were carried out. During the study, the authors concluded that by establishing a qualitative and quantitative relationship between the composition of oxide coatings and their tribotechnical properties, it is possible to change the conditions of the friction unit from antifricition to friction, using the same structural materials - ferroc carbon alloys. Thus, complex oxides, which differ in chemical composition and structure, which are coatings on ferroc carbon alloys, can significantly affect the thermomechanophysical processes that occur during operation and allow their renovation in the presence of lubricant and without it. Coatings formed on the surface of ferroc carbon alloys in accordance with the operating conditions can have both friction and antifricition properties.

Keywords: antifricition, friction pairs, friction surface structure, protective coatings, saturating medium, aqueous salt solution, alloying elements, oxide coatings, wear, tribotechnical properties

ТИМОФЕЄВА Л.А., ВОЛОШИНА Л.В., ТИМОФЕЄВ С.С., ВОЛОШИН Д.І., КОЛЕСНИК М.А.
МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ В УМОВИХ ТРЕННЯ І ЗНОСА

В работе получили дальнейшее развитие вопросы модификации поверхности деталей машин и механизмов, работающих в условиях трения и износа со смазкой и без. Рассмотрены вопросы зависимости антифрикционности и фрикционности от особого состояния только поверхностных слоев деталей трения. Выведено, что именно структурные изменения, происходящие в поверхностном микрослое сопряженных материалов, образование и разрушение вторичных структур, отвечают за характер узла трения. Авторами предлагается создание на поверхности трения таких защитных покрытий, которые обладают свойствами и механизмом действия, соответствующим вторичным структурам, чтобы иметь возможность управлять явлениями антифрикционности и фрикционности в зоне трения сопряженных деталей. Поставленная цель исследования достигается обработкой железоуглеродистых сплавов в среде перегретого пара водных растворов солей. Выбраны оптимальные параметры технологического процесса формирования покрытий при пароокисдувании. Проведены лабораторные испытания разного химического состава образованного покрытия на триботехнические свойства пары трения. В ходе проведения исследования авторы пришли к выводу, что установив качественную и количественную зависимость между составом оксидных покрытий и их триботехническими свойствами, можно изменять тем самым условия узла трения от антифрикционности до фрикционности, используя при этом для изготовления его деталей те же конструкционные материалы – железоуглеродистые сплавы. Таким образом, сложные оксиды, отличающиеся по химическому составу и строению, являющиеся покрытиями на железоуглеродистых сплавах, могут оказывать существенное влияние на термомеханофизические процессы, протекающие при эксплуатации и позволяющие их реновацию в присутствии смазочного материала и без него. Покрытия образованные на поверхности железоуглеродных сплавов в соответствии с условиями эксплуатации могут обладать как фрикционными, так и антифрикционными свойствами.

Ключевые слова: антифрикционные, фрикционные пары трения, структура поверхности трения, защитные покрытия, насыщающая среда, водный раствор солей, легирующие элементы, оксидные покрытия, износ, триботехнические свойства

Вступ. Існує кілька гіпотез щодо концепції антифрикційності та фрикційності вузлів тертя [1, 2]. Протягом тривалого періоду вважалося, що вирішити проблему створення антифрикційних або фрикційних пар тертя можна тільки за рахунок підбору спеціальних конструкційних матеріалів, що мають відповідну структуру та властивості. Триботехнічні характеристики, таким чином, безпосередньо ставилися у залежність від співвідношення твердих та м'яких структурних складових сплавів, яке змінювалося шляхом легування або мікролегування тими або іншими елементами. Такий висновок став результатом спільної співпраці металознавців та фахівців у галузі тертя та зношування.

Аналіз основних досягнень і літератури. Багатьма дослідженнями були отримані дані про можливість зміни

коефіцієнта тертя і зносостійкості при випробуванні тих самих поєднань матеріалів завдяки використанню різних мастил, що містять багатофункціональні присадки [2,3]. Ефективність присадок залежить від температури мастила, яка в об'ємі значно нижча, ніж у зоні тертя. Разом з тим, присадка, що знаходиться в мастилі, повинна бути інертною по відношенню до поверхні металу, але по мірі досягнення в зоні контакту певної (критичної) температури, що свідчить про можливість порушення нормального процесу зношування, починають протікати реакції між присадкою і металом, що сприяють утворенню, поряд із звичайними оксидами, специфічних захисних плівок.

За своїм призначенням присадки можуть бути антифрикційними, фрикційними, протизносними, протизадирними. За хімічним складом вони, як правило, є сіркофосфоровмісними сполуками. Ефективність та факт їх дій залежать, крім температури, від матеріалу спряжених деталей, адсорбційної активності та інших факторів. Однак основна складність полягає в тому, що забезпечити своєчасну доставку присадки, з урахуванням її малої концентрації, в зону тертя, де зароджуються відхилення від нормального процесу зношування, вдається далеко не завжди.

Незважаючи на це, з погляду практики, технологія створення антифрикційних та фрикційних вузлів тертя дещо полегшилася, хоча сама природа цих протилежних явищ залишалася неясною. У той самий час дедалі чіткіше стверджувалася необхідність запровадження науку про тертя поняття «тріада тертя», що враховує потрібне поєднання: матеріал-мастило-матеріал.

Новим імпульсом у розвитку трибології послужили дані про залежність характеристичних параметрів ідентичних матеріалів, що труться, і мастила від навантажувально-швидкісних режимів їх експлуатації [1,3].

Розкриття механізму явища, які відбуваються на поверхні тертя, дозволило металознавцям спільно з фахівцями в галузі триботехніки дійти висновку про залежність антифрикційності і фрикційності від особливого стану поверхневих шарів деталей тертя. Саме структурні зміни, що відбуваються в мікрошарі спряжених матеріалів, утворення та руйнування, так званих, вторинних структур відповідальні за характер вузла тертя.

Вторинні структури поділяються на два типи. Для забезпечення умови антифрикційності вузла тертя найбільш сприятливим поєднанням є наявність на поверхні тертя структур першого та другого типу. У разі появи на поверхнях тертя тільки одного виду вторинних структур, насамперед другого типу, пара тертя працює в режимі фрикційності.

Механізм управління утворенням того чи іншого типу вторинних структур пов'язується як із хімічним складом конструкційних матеріалів і мастильних засобів, так і з необхідною для цього величиною роботи [1]. Таким чином, введено нове поняття – структурна пристосованість пар тертя, і зв'язок її зі станом вузла тертя саме по собі вже охоплює досить широкий спектр факторів – навантаження, швидкість ковзання, мастило, матеріал спряження. Тільки при певному їх поєднанні досягається необхідний ефект.

У світовій практиці розроблено ряд методів підвищення триботехнічних властивостей матеріалів, за рахунок формування поверхневих шарів, які впливають на антифрикційність та фрикційність вузлів тертя. [4-6] Однак, як показала практика, ці методи не забезпечують необхідну зносостійкість. Тому ведуться дослідження, пов'язані з розробкою нового методу поверхневого зміцнення, який би забезпечував підвищення експлуатаційних характеристик поверхонь пар тертя. Особливу увагу приділяють тим методам та способам, які забезпечують не тільки досягнення заданих властивостей, але й гарантують екологічну чистоту технологічного процесу.

Аналіз методів [7-9], що використовуються для зміцнення робочої поверхні, показує, що вони трудомісткі, тривалі, вимагають застосування шкідливих і дефіцитних хімікатів і складного устаткування. Так, наприклад, поверхневі шари, отримані при азотуванні, підвищують зносостійкість, але погано припрацьовуються через високу твердість, що приводить до викришування азотованого шару в процесі експлуатації. При фосфатуванні поліпшується припрацьовуваність, але не забезпечується необхідної зносостійкості чавуна. Сульфидування гарантує чавуніві антифрикційні властивості, але ці шари не можуть тривалий час протистояти високим навантаженням, при яких працюють безліч деталей.

Мета дослідження, постановка проблеми. Метою дослідження є формування на поверхні залізовуглецевих сплавів захисних покриттів, що наближені за своєю структурою та властивостями до вторинних структур, які з'являються в процесі тертя і сприяють підвищенню працездатності поверхневого шару деталей, а також за необхідності забезпечують антифрикційні або фрикційні властивості спряження деталей.

Для досягнення цієї мети необхідно:

дослідити вплив комплексної обробки з дифузійним насиченням поверхні в середовищі водяної пари декількома елементами на триботехнічні властивості залізовуглецевих сплавів;

визначити раціональні параметри технологічного процесу окислення, а саме час витримки, концентрація насичуючого середовища, температура, що забезпечать підвищення зносостійкості деталей;

визначити вплив технологічних параметрів на експлуатаційні властивості, а саме зносостійкість, антифрикційні або фрикційні властивості.

Матеріали дослідження. В останні роки успішно розвивається новий напрямок у вирішенні проблеми створення антифрикційних або фрикційних пар тертя [1,10]. Передбачається утворення на поверхні тертя деталей, виготовлених із залізовуглецевих сплавів, штучних захисних плівок на кшталт вторинних структур, які докорінно змінюють, порівняно з вихідним матеріалом, триботехнічні властивості пари тертя. Досягається це обробкою залізовуглецевих сплавів у перегрітій парі водного розчину солей, внаслідок чого на чистій металевій поверхні утворюється шар простих або складних оксидів, мікролегованих елементами, що входять як у сплав, так і насичує парогазове середовище. [10-14]

Керуючи складом джерел легуючих елементів, можна створювати вторинні структури, що мають антифрикційні або фрикційні властивості. У кожному конкретному випадку вибір тих чи інших солей для насичуючого середовища

визначається поставленим завданням, тобто необхідністю отримання антифрикційної або фрикційної пари, а також прогнозом про триботехнічні властивості утворених при цьому хімічних сполук твердих розчинів.

Покриття формується на основі зустрічної дифузії - ефект Кіркендалла [15]. Особливістю формування таких покриттів є те що, структура покриття складається з декількох зон (рис.1):

1 зона – утворюється безпосередньо біля матриці і складається з хімічних елементів, що входять до складу матриці. Беручи до уваги дані рентгеноспектрального аналізу її склад можна інтерпретувати як суміш оксидів заліза.

2 зона – синтезована зона компонентів зони 1 і 3. Має явно виражену кристалічну будову і характеризується певною направленістю – стовбчаста структура.

3 зона – містить хімічні елементи, що входять до складу насичуючого середовища. Ця зона має крупнозернисту рівновісну структуру [15].

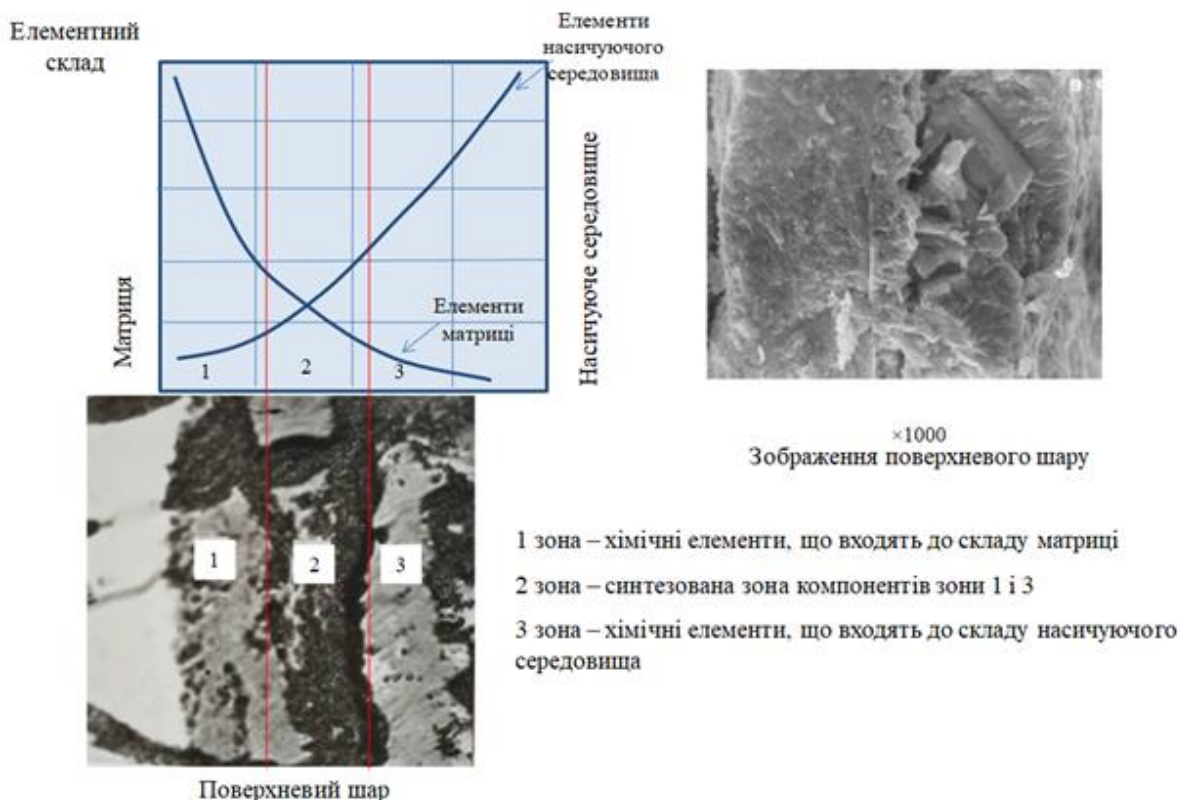


Рис.1 – Схема механізму формування покриття із водного розчину солей

Такі покриття характерні для залізобуглецевих сплавів, але більш наглядно виявлено на чавунах з різною формою графіту, наприклад, пластинчатою (рис.2). Експерименти проводилися на лабораторних зразках, виготовлених із сірого чавуну та використовуваних для подальших зносних випробувань на машині тертя СМЦ-2 за схемою колодка-диск. Структура чавуну перлітно-феритна (П70). Хімічний склад чавуну (маса, %): С – 2,1%; Si – 2,2%; Mn – 0,80%; P – 0,04%; S – 0,08%; Cr – 0,02%; N – 0,03%; решта Fe.

Встановлено, що основними параметрами технологічного процесу дифузійного насичення із водного розчину солей є температура обробки деталей, концентрація солі у водному розчині та час витримки в насичуючому середовищі. Від цих параметрів залежить формування поверхневого шару, а також його триботехнічні властивості. Виконана оптимізація параметрів технологічного процесу, що дозволило визначити діапазон значень параметрів технологічного процесу, за рахунок зміни яких можливо досягти найкращих експлуатаційних та триботехнічних властивостей, а саме утворення оптимальної товщини покриття, мінімальних значень зносу, оптимального часу приробітки, витримки максимального навантаження до утворення задирів. [16-17]

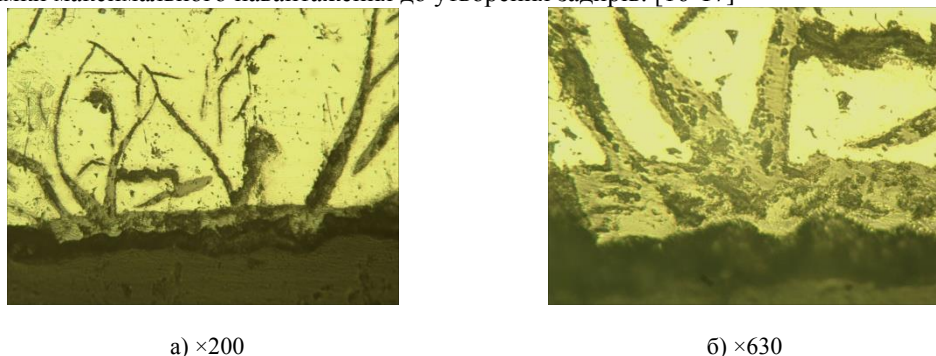


Рис.2 – Мікроструктура покриття на чавуні

Чавунні зразки однакового хімічного складу піддавалися хіміко-термічній обробці при суворому дотриманні наступних її параметрів: температура – $620 \pm 10^\circ\text{C}$, (температура завантаження та вивантаження зразків складала 350°C), тривалість насичення – 60 хв, швидкість подачі розчину – 3 краплі/хв. Вирівнювався лише хімічний склад насичуючого середовища шляхом дослідження в кількості наступних солей: NaCl , Na_2SO_4 , NaH_2PO_4 .

Випробування зразків на зношування проводилися на машині тертя за наступним режимом:

швидкість ковзання – 1,04 кг/с;

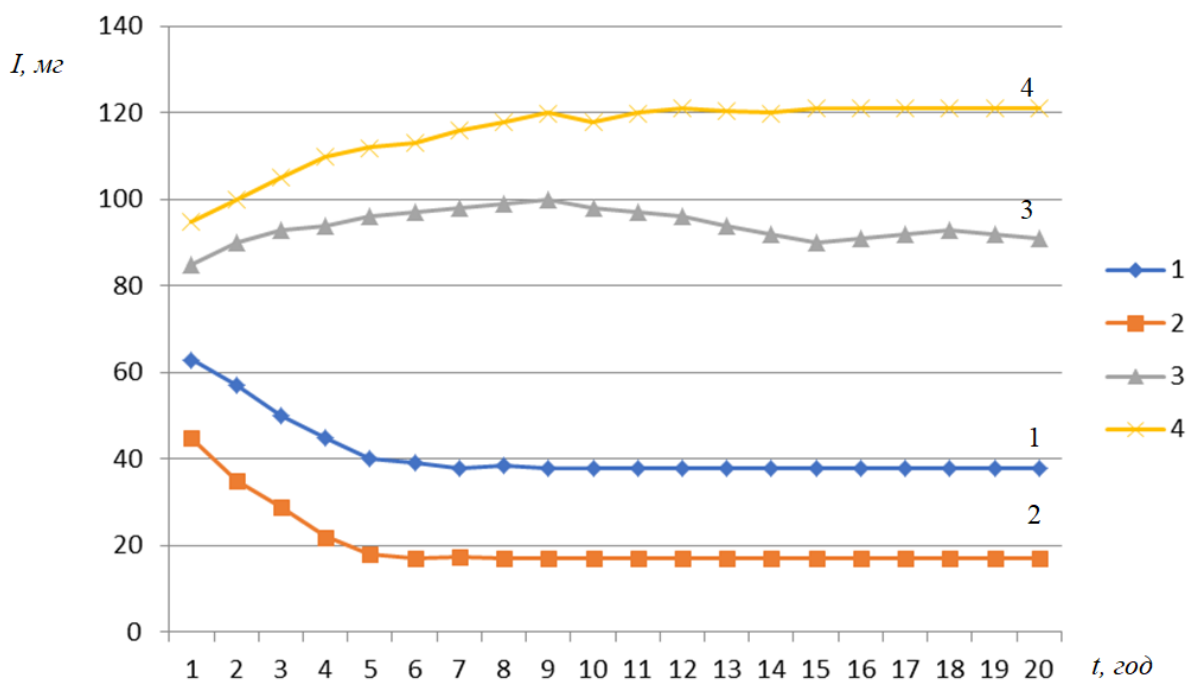
припрацювання – 1 година при тиску 0,7 МПа;

робоче навантаження – 50 кг (тиск 2,5 МПа);

тривалість випробування – 102 год;

змащування зануренням у мастило МГ-8 (обсяг мастила – 150).

Втрату маси визначали шляхом зважування зразків через кожні шість годин на аналітичних терезах. При втраті маси колодок та дисків обчислювали інтенсивність поверхневого руйнування матеріалу покриттів на основі сірого чавуну. За допомогою термометра вимірювали об'ємну температуру мастила. Усереднені дані, що відображають залежність інтенсивності сумарного зносу від тривалості випробування сірого чавуну з різними захисними покриттями, наведено на рисунку 3.



1 – вихідна; 2 – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; 3 – NaCl ; 4 – Na_2HPO_4

Рис.3 – Залежність інтенсивності сумарного зносу спряженої пари від тривалості випробування сірого чавуну з різними захисними покриттями

Слід зазначити, що оксидні покриття, які відрізняються за хімічним складом, на сірому ідентичному чавуні по-різному впливають на його триботехнічні властивості. Так, наприклад, сірковмісне покриття (рис.3, крива 2) знижує в порівнянні з вихідними зразками (рис.3, крива 1) об'ємну температуру мастила, а також, як наслідок, коефіцієнт тертя та інтенсивність зносу. І навпаки, хлор- або фосфоровмісне покриття відповідає різкому посиленню тепловиділення пар тертя – об'ємна температура мастила. Зносостійкість при цьому суттєво знизилася, особливо у перші години випробувань (рис.3, криві 3, 4).

Порівнюючи триботехнічні характеристики пар тертя з різними покриттями, можна помітити, що хімічний склад їх докорінно змінює умови тертя – від антифрикційності до фрикційності.

На думку авторів, механізм такого покриття полягає у процесі чистого пароокисдування залізвуглецевих сплавів: залежно від температури на поверхні тертя виникають різні оксиди заліза [3, 4]. Відомо, що при температурі 600°C і вище оксидний шар складається з в'юститу (FeO), який прилягає безпосередньо до основного металу. Далі розташовані оксиди Fe_2O_3 та Fe_3O_4 , загальний вміст яких становить приблизно 5...10%. В'юстит характеризується найнижчою мікротвердістю, але високою щільністю і міцністю зв'язку з основним металом, оскільки має однакоvu з ним кристалічну (кубічну решітку) будову.

Природні властивості оксидів заліза, особливо в'юститної фази FeO , можуть змінюватися, якщо і в залізвуглецевій основі містяться легуючі елементи (Cr , Al та ін.). Ця ж закономірність спостерігається і в наявності зазначених елементів у насичуючому середовищі, яким є перегріта пара водного розчину солей. У цьому випадку

оксиди набувають і більш складнішу будову типу шпинелів (наприклад: $\text{FeO} \times \text{Cr}_2\text{O}_3$, $\text{FeO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$), або має місце ущільнення іонних решіток оксидів за рахунок різних іонів насичуючого середовища. У нашому випадку з використанням насичуючого середовища це наявність Cl, S, P, Na та ін., які утворюють тверді розчини.

Висновки. В ході проведення дослідження автори дійшли висновку, що встановивши якісну та кількісну залежність між складом оксидних покриттів та їх триботехнічними властивостями, можна змінювати тим самим умови вузла тертя від антифрикційності до фрикційності, використовуючи при цьому для виготовлення його деталей ті самі конструкційні матеріали – залізобуглецеві сплави.

Таким чином, складні оксиди, які відрізняються за хімічним складом і будовою, що є покриттями на залізобуглецевих сплавах, можуть істотно впливати на термомеханофізичні процеси, які протікають при експлуатації та дозволяють їх реновацію в присутності мастильного матеріалу та без нього. Тобто покриття утворені на поверхні залізобуглецевих сплавів відповідно до умов експлуатації можуть мати як фрикційні та і антифрикційні властивості.

Список літератури:

1. Костецкий Б.И. Носовский И.Г. Караулов А.К. Поверхностная прочность материалов при трении / Под общ.ред. Костецкого Б.И. – Киев: Техніка, 1976. –296 с.
2. Виноградова И.Э. Противоизносные присадки к маслам. – М.: Химия, 1972.– С. 272.
3. Кіндрачук М. В., Лабунець В. Ф., Пащенко М. І., Корбут С. В. Трибологія. К. : Вид-во НАУ, 2009. 392 с
4. Овчаров В.П. Влияние окисных пленок, полученных обработкой в атмосфере пара на трение и поверхностное упрочнение чугуна // Физико-химическая механика металла. 1973. № 2. С. 18 -21
5. Medvedovski E., Dudziak T. Protective coatings for high-temperature steam oxidation in coal-fired power plants. *Surface and Coatings Technology*, 2019. Vol. 369. P. 127-141.
6. Shewmon P. Diffusion in solids. Springer, 2016. 245 p
7. Тимофеева Л.А., Тимофеев С.С., Федченко Л.Л., Демин А.Ю. Повышение износостойкости восстановленных деталей транспортных двигателей // Трение и износ. Сборник научных трудов. Том 37. №6. Гомель: ИММС НАН Беларуси. 2016. С. 699-704.
8. Тимофеева Л.А., Геворкян Е.С. Повышения качества подготовки поверхностей изделий транспортного назначения при их восстановлении // Вестник сертификации железнодорожного транспорта, 2013. - №3/1. – С.68-69.
9. Волошина Л.В. Функціональні покриття для підвищення зносостійкості деталей масляного шестеренного насосу. //Матеріали II-ої міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 27-29 квітня 2021 р.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2021. С. 167 – 169.
10. Тимофеева Л.А., Устенко О.В., Цап О.І., Волошина Л.В. Підвищення експлуатаційних показників фрикційних клинів шляхом формування покриттів зі спеціальними властивостями // Збірник наукових праць УкрДУЗТ, Харків : УкрДУЗТ. 2019. Випуск 185. С.88 – 95. (НБД Index Copernicus)
11. Ananth S., Udaya Prakash J., Moorthy T. V., Hariharan P. Optimization of Wear Parameters for Grey Cast Iron under Different Conditions using Grey Relational Analysis. *Materials Today: Proceedings*, 2018. Vol. 5, Iss. 2, Part 2. P. 7346-7354.
12. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Комплексні дослідження при розробці технологічного процесу підвищення експлуатаційних властивостей деталей масляного шестеренного насосу. „Інтелектуальні транспортні технології” Матеріали I-ї міжнародної науково-технічної конференції, 24-30 січня 2020р. Трускавець-Харків: УкрДУЗТ.2020. С.116-117.
13. Волошина Л.В., Цап О.І. Дослідження впливу захисних покриттів на експлуатаційні показники фрикційних клинів гасників коливань візків вантажних вагонів// Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Матеріали 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 07–11 вересня 2020 р., м. Одеса. – Київ: АТМ України, 2020. С.28-30.
14. Комарова Г.Л., Волошина Л.В., Цап О.І. Підвищення трибологічних властивостей чавуну комплексною обробкою. *Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: Матеріали Міжнародного науково-технічного семінару*, 15–19 березня 2021 р., м. Львів. – Київ: АТМ України, 2021. С.44-45.
15. Волошина Л.В. Підвищення зносостійкості масляних шестеренних насосів тракторних дизельних двигунів. Дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн.-х н-к за спец. 05.02.01 «Матеріалознавство»(132 Матеріалознавство). Український державний університет залізничного транспорту, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2021. 195с.
16. Тимофеева Л. А., Тимофеев С. С., Волошина Л. В., Колесник М. А. Підвищення трибологічних властивостей поверхневого шару чавуну за допомогою оброблення в середовищі перегрітої пари водяного розчину солей. *Вісник ХНАДУ*, вип. 94, 2021. С.123-127. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.123
17. Волошина Л.В., Волошин Д.І., Карпенко Є.Р. Дослідження експлуатаційних показників масляних шестеренних насосів ДВЗ. *Інженерія поверхні та реновація виробів: Матеріали 22-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 15–16 червня 2022 р.* – Київ: АТМ України, 2022. С.29 – 31

Bibliography (transliterated):

1. Kostetskiy B.Y. Nosovskiy Y.H. Karaulov A.K. Poverkhnostnaia prochnost materyalov pry trenyy / Pod obshch.red. Kostetskoho B.Y. – Kyuev: Tekhnika, 1976. –296 s.
2. Vynohradova Y.E. Protivoiznosnie prysadky k maslam. – M.: Khymyia, 1972.– S. 272.
3. Kindrachuk M. V., Labunets V. F., Pashchenko M. I., Korbut Ye. V. Trybolohiia. K. : Vyd-vo NAU, 2009. 392 s
4. Ovcharov V.P. Vliyanye oksynykh plenok, poluchennykh obrabotkoi v atmosfere para na trenye i poverkhnostnoe uprochnenye chuhuna // Fyzyko-khymycheskaia mekhanyka metalla. 1973. № 2. S. 18 -21
5. Medvedovski E., Dudziak T. Protective coatings for high-temperature steam oxidation in coal-fired power plants. *Surface and Coatings Technology*, 2019. Vol. 369. P. 127-141.
6. Shewmon P. Diffusion in solids. Springer, 2016. 245 p
7. Tymofeieva L.A., Tymofeiev S.S., Fedchenko L.L., Demin A.Iu. Povyshenye zynosostoikosty vosstanovlennykh detalei transportnykh dvyhatelei // Trenye y zynos. Sbornyk nauchnykh trudov. Tom 37. №6. Homel: YMMS NAN Belarusy. 2016. S. 699-704.
8. Tymofeieva L.A., Hevorkian E.S. Povysheniya kachestva podgotovky poverkhnosti yzdeleyi transportnoho naznacheniya pry ykh vosstanovlenyy // Vestnyk sertyfykatsyy zheleznodorozhnogo transporta, 2013. - №3/1. – S.68-69.
9. Voloshyna L.V. Funktsionalni pokryttia dlia pidvyshchennia znosostiikosti detalei maslianoho shesterennoho nasosu. //Materialy II-oi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Інтелектуальні транспортні технології», Kharkiv, 27-29 kvitnia 2021 r.: Tezy dopovidei. Kharkiv: UkrDUZT, 2021. S. 167 – 169.
10. Tymofeieva L.A., Ustenko O.V., Tsap O.I., Voloshyna L.V. Pidvyshchennia ekspluatatsiynykh pokaznykiv fryktsiynykh klyniv shliakhom formuvannia pokryttiv zi spetsialnymy vlastyvostiamy // Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT, Kharkiv : UkrDUZT. 2019. Vypusk 185. S.88 – 95. (NBD Index Copernicus)
11. Ananth S., Udaya Prakash J., Moorthy T. V., Hariharan P. Optimization of Wear Parameters for Grey Cast Iron under Different Conditions using Grey Relational Analysis. *Materials Today: Proceedings*, 2018. Vol. 5, Iss. 2, Part 2. P. 7346-7354.

12. Tymofeieva L.A., Voloshyna L.V. Kompleksni doslidzhennia pry rozrobtsi tekhnolohichnoho protsesu pidvyshchennia ekspluatatsiinykh vlastyvostei detalei maslianooho shesterennooho nasosu/„Intelektualni transportni tekhnolohii” Materialy 1-yi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 24-30 sichnia 2020r. Truskavets-Kharkiv: UkrDUZT.2020. S.116-117.
13. Voloshyna L.V., Tsap O.I. Doslidzhennia vplyvu zakhysnykh pokryttiv na ekspluatatsiini pokaznyky fryktsiinykh klyniv hasnykiv kolyvan vizkiv vantazhnykh vahoniv// Kachestvo, standartyzatsiia, kontrol: teoriia y praktyka: Materialy 20-yi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 07–11 veresnia 2020 r., m. Odesa. – Kyiv: ATM Ukrainy, 2020. S.28-30.
14. Komarova H.L., Voloshyna L.V., Tsap O.I. Pidvyshchennia trybolohichnykh vlastyvostei chavunu kompleksnoi obrobkoiu. Suchasni pytannia vyrobnytstva ta remontu v promyslovosti i na transporti: Materialy Mizhnarodnoho naukovo-tekhnichnoho seminaru, 15–19 bereznia 2021 r., m. Lviv. – Kyiv: ATM Ukrainy, 2021. S.44-45.
15. Voloshyna L.V. Pidvyshchennia znosostiikosti maslianykh shesterennykh nasosiv traktornykh dyzelynykh dvyhuniv. Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia kand. tekhn.-kh n-k za spets. 05.02.01 «Materialoznavstvo»(132 Materialoznavstvo). Ukrainskyi derzhavnyi universytet zaliznychnoho transportu, Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Kharkiv, 2021. 195s.
16. Tymofeieva L. A., Tymofeiev S. S., Voloshyna L. V., Kolesnyk M. A. Pidvyshchennia trybolohichnykh vlastyvostei poverkhnevooho sharu chavunu za dopomohoiu obroblennia v seredovyskhi perehritoi pary vodianoho rozchynu solei. Visnyk KhNADU, vyp. 94, 2021. S.123-127. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.123
17. Voloshyna L.V., Voloshyn D.I., Karpenko Ye.R. Doslidzhennia ekspluatatsiinykh pokaznykiv maslianykh shesterennykh nasosiv DVZ. Inzheneriia poverkhi ta renovatsiia vyrobiv: Materialy 22-yi Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 15–16 chervnia 2022 r. – Kyiv: ATM Ukrainy, 2022. S.29 – 31

Поступила (received) 17.06.2022

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Тимофеева Лариса Андріївна (Тимофеева Лариса Андреевна, Timofeieva Larisa Andreevna) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри "Інженерія вагонів та якість продукції" Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків; тел.: +38 (057) 730-10-49; e-mail: mtv@kart.edu.ua ORCID: 0000-0001-7210-3760

Волошина Людмила Володимирівна (Волошина Людмила Владимировна, Voloshyna Liudmyla Volodymyrivna) – кандидат технічних наук, асистент кафедри "Інженерія вагонів та якість продукції" Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків; тел.: +38 (057) 730-10-50; e-mail: ludmivol@gmail.com ORCID: 0000-0003-2039-111X

Тимофеев Сергій Сергійович (Тимофеев Сергей Сергеевич, Timofeev Sergey Sergeevich) – доктор технічних наук, професор кафедри "Інженерія вагонів та якість продукції" Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків; тел.: +38 (057) 730-10-49; e-mail: mtv@kart.edu.ua ORCID: 0000-0001-7630-5467

Волошин Дмитро Ігорович (Волошин Дмитрий Игоревич, Voloshyn Dmytro Igorovych) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри "Інженерія вагонів та якість продукції" Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків; тел.: +38 (057) 730-10-35; e-mail: dmivol777@gmail.com ORCID: 0000-0003-4735-5207

Колесник Максим Анатолійович (Колесник Максим Анатолиевич, Kolesnyk Maksym Anatoliiovych) – аспірант кафедри "Інженерія вагонів та якість продукції" Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків; тел.: +38 (057) 730-10-50; e-mail: mtv@kart.edu.ua ORCID: 0000-0003-7745-4357