

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-273-3-52-57>

УДК 621.893

## МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИТНИХ РЕЧОВИН

Урум Н.С., Рященко О.І., Бабере О.С.

## METHOD OF RESTORATION OF FRICTION DETAILS USING WEAR-RESISTANT COMPOSITE SUBSTANCES

Urum N.S., Ryashchenko O.I., Babere O.S.

Існуючі на даний час технологічні процеси відновлення деталей тертя не забезпечують необхідну довговічність колінчатих валів судових дизелів, оскільки не враховують комплексно технологічні особливості методів нанесення покриттів для зміцнення, їх техніко-економічні показники, а також умови експлуатації деталей. Незабезпечення необхідних показників довговічності відновлених колінчатих валів визначає необхідність удосконалення технологічних процесів відновлення, а також вибору критеріальних параметрів поверхневого шару. Недоліки існуючих технологічних процесів відновлення, стохастичність параметрів матеріалу та факторів технологічного процесу, кількісна та якісна неоднорідність теплового, силового й інших впливів на поверхневий шар деталі тертя як у процесі її відновлення, так і експлуатації визначають актуальність подальшого удосконалення технологічного процесу та відповідного методу поглибленого дослідження експлуатаційних властивостей покриттів, отриманих при використанні мінеральних та органомінеральних матеріалів, а також оцінки довговічності відновлених деталей тертя у залежності від отриманих параметрів матеріалу поверхневого шару. Незабезпечення необхідних показників довговічності відновлених колінчатих валів визначає необхідність удосконалення методів відновлення деталей тертя в тому числі і з застосуванням композиційних матеріалів, що визначає актуальність данної статті. В статті доведено, що у системі формування параметрів матеріалу поверхневого шару шийок колінчатих валів судових дизелів необхідно застосовувати композитні покриття на основі мінеральних і органомінеральних матеріалів. Найбільш ефективними є композиційні покриття: сталь, зміцнена алюмосилікатом, модифікованим метало-сілоксаном або алюмосилікатом, модифікованим полісахаридом та карбонатом магнію. Аналіз результатів дослідів пари тертя “шийка колінчатого вала”–“вкладиш підшипника” за різних умов тертя при різних покриттях дозволив встановити, що модифікування поверхні сталі мінеральними та органомінеральними матеріалами дозволяє у всьому діапазоні температур підігріву змащення підвищити зносостійкість сполучення, знизити величини коефіцієнтів тертя та температури в зоні трибонтактної, відповідно, істотно підвищити надійність

деталей тертя. Причому по мірі збільшення температури підігріву мастила ефект від модифікування стали зростає: зменшуються величини швидкості зношування стали та деталей тертя в цілому. Найбільш ефективними є композиційні покриття: сталь, зміцнена алюмосилікатом, модифікованим метало-сілоксаном або алюмосилікатом, модифікованим полісахаридом та карбонатом магнію.

**Ключові слова:** колінчастий вал, композитні речовини, судовий дизель, деталі тертя.

**Вступ.** Двигуни внутрішнього згоряння, які входять до складу рушійного комплексу судна, є найбільш складним його елементом. Від надійності судових дизелів залежить безпека експлуатації та надійність судна. Ресурс судового дизеля до капітального ремонту залежить в основному від стану кривошипно-шатунного механізму, а колінчастий вал є головним елементом даного вузла. Колінчаті вали двигунів як важливі та вартісні деталі двигуна експлуатуються в умовах змінних навантажень, шийки вала піддаються тертю ковзання при значних швидкостях та високих питомих тисках. Основною причиною відмов колінчатих валів двигунів є знос його шийок.

Передчасний знос робочих поверхонь колінчатих валів вище граничних значень веде, як правило, не тільки до значних витрат на ремонт або заміну колінчатих валів, але й до збитків через простій судна в ремонті, а вихід з ладу головного двигуна при поломці колінчатого вала може призвести до аварії судна. Основним методом відновлення колінчатих валів є їх шліфування. У зв'язку з підвищеною швидкістю зношування робочих поверхонь колінчаті вали часто експлуатуються шліфованими в останній ремонтний розмір, або вибраковуються через знос вище граничних значень, не виробивши при цьому призначеного ресурсу.

**Метою статті** є розробка методу відновлення деталей тертя за допомогою зносостійких композитних речовин.

Звертаючись до аналізу літературних джерел та досліджень за темою статті, необхідно відмітити, що дана тема знайшла своє відображення в роботах з надійності судових дизелів, трибології, матеріалознавства. Відзначимо внесок таких авторів як Леонтєв Л.Б. [1], Погодаєва Л.І. [2], О.В. Закалов [3], Бабак В.П. [4], В.В. Шевеля [5], І.В. Крагельський [6], В.Ф. Лабунець [7], А. Туагі [8], в яких наводяться варіанти рішення даної проблеми відновлення деталей тертя переважно для авіаційної та автомобільної техніки. При написанні статті використані монографії [9, 10], які мають фундаментальне значення для розкриття результатів дослідження.

**Постановка проблеми.** Існуючі технологічні процеси відновлення деталей тертя не забезпечують необхідну довговічність колінчатих валів, оскільки при їх проектуванні не враховуються комплексно технологічні особливості методів нанесення покриттів та зміцнення, техніко-економічні показники, а також умови експлуатації деталей. Складність вирішення даного завдання обумовлена низькою формалізацією відомостей про відмови колінчатих валів, закономірностях та залежностях їх утворення та розвитку. Знання щодо розвитку деградаційних процесів – причини руйнувань та ушкоджень деталей тертя, охоплюють широке коло галузей знань (металознавство, трибо техніка, механіка руйнування), відомості про ушкодження та аварії носять описовий характер. Незабезпечення необхідних показників довговічності відновлених колінчатих валів визначає необхідність удосконалення методів відновлення деталей тертя в тому числі і з застосуванням композиційних матеріалів, що визначає актуальність статті.

**Результати дослідження.** Підшипник колінчатого вала середньооборотного дизеля складається із шийки (рамової або метеликової) двох тонкостінних вкладишів, корпусу та кришки. Конструкції підшипників різних судових дизелів принципових відмінностей не мають. Вони відрізняються тільки наявністю або відсутністю мастильних канавок та отворів на вкладишах, їх розмірами, кількістю, а також наявністю або відсутністю фіксуючих елементів (виступів, пазів або отворів) у вкладишах.

Колінчаті вали з діаметром шийок більш 200 мм звичайно виготовляють з вуглецевих сталей, які, у порівнянні з легуваними, менш схильні до виникнення різного роду дефектів та не вимагають складної термічної обробки. Якщо необхідні більш високі механічні властивості, застосовують низьколеговану сталь 40Х с підвищеною в'язкістю. Колінчаті вали середньо оборотних двигунів у залежності від ступеня напруженості, можуть виготовлятися зі сталей 45, 40Х, 30ХМА, 40ХМА [11].

Підшипники колінчатих валів судових дизелів відносяться до гідродинамічних нестационарно навантажених радіальних підшипників ковзання з

роз'ємними корпусами та рухливими джерелами змащення. Специфічними особливостями підшипників колінчатих валів є значні деформації корпусів, порівняні з величинами зазорів.

Розвиток дизельних двигунів останніх десятиліть характеризується постійним зростанням циліндрової потужності за рахунок збільшення середнього ефективного тиску  $P_e$ , зростанням питомих навантажень на деталі циліндропоршневої та кривошипно-шатунної груп.

Замінювати нові колінчаті вали замість зношених економічно невигідно через їх високу вартість. Рішення проблеми ресурсозбереження вимагає застосування прогресивних та високотехнологічних методів відновлення та зміцнення зношених поверхонь колінчатих валів. Для відновлення колінчатих валів судових дизелів застосовують три технологічні схеми (рис. 1):

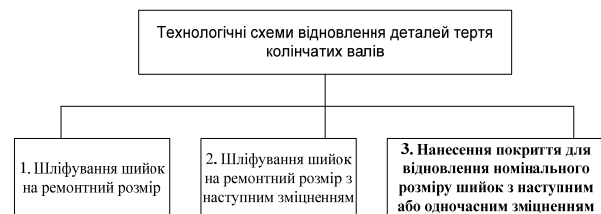


Рис. 1. Технологічні схеми відновлення деталей тертя колінчатих валів

На даний час застосовуються або перебувають у стадії промислового впровадження наступні технології відновлення і зміцнення зношених поверхонь деталей тертя транспортних дизелів[5-11]:

- нанесення гальванічних покриттів: при зносі до 0,5 мм хромуванням, при зносі понад 0,5 мм нікелюванням з наступним хромуванням товщиною 0,2-0,3 мм;
- наплавлення під шаром флюсу з наступним зміцненням для отримання твердості до 62 HRC;
- плазмове наплавлення композиційними матеріалами;
- електронно-променеве наплавлення високолегованих сплавів на основі Ni-Cr-B-Si;
- плазмове напилювання або плазмове напилювання з одночасною ультразвуковою обробкою;
- плазмове напилювання самофлюсуючим порошком ПН73Х16С3РЗ з наступним лазерним опаленням покриття;
- надзвукова електродугова металізація;
- приварка тонкостінних ремонтних півкільць до відновлюваної шийки вала;
- лазерне загартування після шліфування шийок на ремонтний розмір;
- лазерне поверхневе легування порошками ПС-12НВК-01 та Пр-Х23Н23М5С2Р2АФ після шліфування шийок на ремонтний розмір;
- поверхневе фрикційне модифікування шийок мідьмісних металів (бронзою, латунню);
- фінішна обробка матеріалами, які містять комплексні металоорганічні з'єднання на основі со-

лей полівалентних металів (цинк, олово, алюміній, сурма та ін.) та геомодифікатором ТСК (основа - магнезійно-залозисті силікати (олівіні і піроксени)).

Найбільш перспективним напрямком фінішної обробки та зміцнення деталей тертя колінчастих валів є застосування геоматеріалів – шаруватих силікатів, оскільки вони змінюють властивості металу поверхні тертя трибовузла. Шар металокераміки формується з металу самої поверхні, що вступили в реакцію з активними компонентами силікатів. Утворена в такий спосіб модифікована поверхня повторює структуру металу, але кристали залізо-вуглецевого сплаву ростуть в об'ємі за рахунок зміни структури, перебудовуються всередині та формують міжкристалічні зв'язки. Подальший дифузійний процес призводить до відсутності різкого переходу між матричною та зміненою поверхнею. Ніякого впливу на мастильні матеріали не відбувається, крім можливого насичення забруднювачами, вищисленими складом на першому етапі обробки. Отримана в результаті обробки геоматеріалами металокерамічна поверхня є продовженням структури самого металу, одним з ним цілим, і маючи однакове лінійне теплове розширення не відшаровується під дією механічних та теплових навантажень. Застосування фінішної обробки модифікованими матеріалами, дозволяє знизити коефіцієнт тертя на 15-20%, а інтенсивність зношування поверхонь деталей тертя в 1,5- 4,0 рази [11].

Для утворення металокерамічного композиційного покриття необхідно щоб у змащенні з добавкою мінералів твердість часток геоматеріалів не була нижче поверхневої твердості деталі для очищення її поверхні від окислів та забруднень. Це означає, що взаємодія часток геоматеріалів із поверхнями тертя починається із процесів їх шаржування, тобто внесення до них більш твердих часток, які входять до складу геоматеріалів. В основному це олівіні  $(\text{MgFe})_2\text{Si}_4$ , із твердістю за шкалою Мооса 6,5 (67 HRC) й піроксени – частки гірської породи, які складаються з елементів Ca, Na, Mg, Fe, Mn, Ni, Cr, Ti, Al та Si з твердістю 5-6 од. за шкалою Мооса (50 HRC).

Більшість геоматеріалів отримують на основі природного матеріалу серпентиніту, який складається із серпентину  $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ , магнітного та хромистого залізняку, часток олівінів та піроксенів. Серпентин (твердість за Моосом 2,5–3,5  $\approx$  700–1500 МПа) є найбільш м'якою основою серпентиніту й за структурою відповідає гетерогенній структурі антифрикційних сплавів. У м'якій волокнистій основі серпентину присутні тверді кристали у виді тетраєдрів  $\text{SiO}_4$ .

На підставі аналізу експлуатаційних властивостей покриттів, які отримуються при використанні геоматеріалів та застосовуються для зміцнення поверхонь тертя, були обрані наступні мінеральні й органомінеральні матеріали для триботехнічних дослідів й створення на їх основі оптимальної трибо-

технічної композиції для модифікування шийок колінчастих валів, а саме: серпентиніт; алюмосилікат природного походження; алюмосилікат, модифікований полісахаридом й карбонатом магнію; метало-силіоксан [1].

Серпентиніт, що застосовувався для досліджень, мав наступний елементний склад (табл. 1).

Таблиця 1

Склад серпентиніту

| MgO  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO | K <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O |
|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|--------------------------------|-----|------------------|------------------|
| 33,5 | 32,1             | 23,2                           | 9,7                            | 0,6 | 0,4                            | 0,2 | 0,9              | 11,2             |

Його брутто-формула:  $4.5\text{Mg}\cdot 0.7\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 0.3\text{Ca}\cdot 0.2\text{Mn}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Величина часток серпентиніту (до його обробки в диспергаторі) знаходиться в межах 1-5 мкм.

Склад алюмосилікату природного походження має наступний елементний склад (табл. 2):

Таблиця 2

Склад алюмосилікату

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | MnO | TiO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O |
|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|-------------------|------------------|-----|------------------|------------------|
| 37,2             | 6,2                            | 13,1 | 19,1                           | 15,3 | 0,6               | 0,9              | 0,2 | 0,47             | 0,6              |

Його брутто-формула:  $\text{Mg}\cdot \text{Fe}_{0,8}\cdot \text{Al}_{0,4}\cdot \text{Si}_{2,1}\text{O}_9\cdot \text{H}_2\text{O}\cdot (\text{CaSiO}_3)_{0,9}$ . Величина часток силікату (до його обробки в диспергаторі) знаходиться в межах 1-20 мкм.

Природний полісахарид має молекулярну масу < 200000 Д та наступні характеристики (табл. 3).

Таблиця 3

Склад та властивості полісахариду

| Характеристики | H <sub>2</sub> O, % | $\eta$ 1% розчину ммг/с | Ступінь деацетилювання | C, % | N, % |
|----------------|---------------------|-------------------------|------------------------|------|------|
| полісахарид    | 8,8                 | 88,0                    | 84,0                   | 41,8 | 7,5  |

Модифікування алюмосилікату природного походження полісахаридом проводиться за відомим методом [1, 12]. Для модифікування силікату готують 1% розчин полісахариду, шляхом його розчинення в 2% оцтовій кислоті. Далі розмелений силікат вводять у розчин полісахариду із розрахунку 100 м силікату на 270-330 мол розчину полісахариду. Далі суміш розміщують у ємності та забезпечують перемішування суміші протягом 3 год. Після закінчення процесу перемішування, додають 5% розчин аміаку, до отримання сумішню Рн = 8. Далі силікат відфільтровують та сушать до постійної ваги. Структура модифікованого алюмосилікату відрізняється від вихідної, оскільки полісахарид проникає в міжшаровий простір силікату, змінюючи його.

З метою формування металокерамічних зносостійких плівок на поверхнях деталей тертя на даний час використовуються наступні методи:

- подача мінералів у зону тертя під час штатної експлуатації машини, механізму або обладнання;
- ультразвукова обробка з подачею змащення, яке містить мінерали, у зону змищення;
- фрикційно-механічна.

При використанні композитних матеріалів для відновлення деталей тертя умовно виділяється декілька фаз (рис. 2).



Рис.2. Послідовність створення захисного шару поверхонь деталей тертя

На початковому етапі відбувається очищення та мікрошліфування поверхонь. Виступи мікрорельєфу трибоспрямижень подрібнюють частки композитного матеріалу до розмірів, що порівнянні з геометрією рельєфу. Під дією контактного тиску здрібнені частки проникають в западини рельєфу. Поверхнево-активні речовини сприяють щільному контакту часток складу з поверхнею металу. При терті в процесі руйнування виступів рельєфу відбувається виділення теплової енергії. Завдяки тепловій енергії в присутності каталізаторів, пришвидшуються іонно-обмінні реакції, відбувається заміщення атомів магнію в силікатах на залізо, а атомів заліза в приповерхневих шарах сталевих деталей на атоми магнію. Заключною фазою процесу є спікання часток складу під дією контактного тиску і нагрівання з утворенням суцільного захисного металокерамічного покриття.

Для визначення оптимального складу мінеральних та органомінеральних матеріалів для модифікування шийок колінчатих валів й забезпечення заданої довговічності проведені триботехнічні випробування [14]

Дослідження проводили в декілька етапів. Спочатку досліджувалися речовини, які знайшли застосування для створення зносостійких покриттів або можуть знайти застосування в складі композицій матеріалів (табл. 1-3)

Модифікування поверхні сталевого зразка здійснювали фрикційним методом на режимі: швидкість обертання зразка  $5^{-1}$  з (лінійна швидкість поверхні 0,71 м/с), зусилля послідовно збільшували з 100 Н до 400 Н з інтервалом 100 Н та часом впливу при кожному навантаженні 1 хв. У процесі досліджень фіксували наступні параметри: інтенсивність (вели-

чину) зношування, силу (коефіцієнт) тертя та температуру фрикційного розігріву.

У результаті порівняльних досліджень пари тертя “вал”- “вкладиш” при різних покриттях та твердості вала 212 НВ встановлено, що модифікування сталі дозволяє знизити коефіцієнт тертя після прироблення сполучених поверхонь (приблизно через 45 хвилин після початку випробувань) та істотно зменшити знос модифікованої сталі та антифрикційного шару вкладишів підшипників, при цьому величини зносу залежать від складу модифікатора.

Модифікування серпентинітом дозволяє отримати покриття, коефіцієнт тертя якого після прироблення зі збільшенням навантаження плавно знижується і досягає мінімуму при 400 Н. Швидкість зношування сталевго зразка зменшується більш ніж у 2 рази при різних металокерамічних покриттях. Причому швидкість зношування сталевго немодифікованого зразка монотонно зростає по мірі збільшення навантаження. Модифікування алюмосилікатом дозволяє одержати покриття, швидкість зношування якого практично не залежить від навантаження. Швидкості зношування трибоспрямижень “вал” – “вкладиш” при граничному змащенні істотно залежать від матеріалу, використаного для отримання покриття. Модифікування стали алюмосилікатом приводить до збільшення швидкості зношування трибоспрямижень у порівнянні із звичайною сталлю за рахунок більш інтенсивного зношування вкладиша підшипника, тому алюмосилікат доцільно використовувати тільки в складі композицій. Модифікування сталі серпентинітом дозволяє знизити швидкість зношування при граничному змащенні трибоспрямижень “вал - вкладиш” при граничному змащенні ефективно тільки при малих навантаженнях.

З підвищенням навантаження швидкість зношування трибоспрямижень зростає за рахунок зростання швидкості зношування вкладиша підшипника, але сумарна швидкість залишається менше швидкості зношування контрольної пари в 2 рази.

Модифікування стали серпентинітом, алюмосилікатом та металосилоксаном дозволяє істотно знизити температуру в зоні трибоспрямижень при великих навантаженнях (понад 200 Н).

**Висновки.** В статті розроблено метод відновлення деталей тертя за допомогою зносостійких композитних речовин. Аналіз результатів дослідів пари тертя “шийка колінчатого вала”–“вкладиш підшипника” за різних умов тертя при різних покриттях дозволив встановити:

- при температурі циркуляційного мастила понад 40°C у трибоспрямиженні незміщеною сталлю в умовах тертя при граничному змащенні різко зростають: коефіцієнт тертя, температура в зоні трибоспрямижень та швидкість зношування антифрикційного шару вкладиша, що створює передумови для пошкодження і, відповідно, створенню аварійної ситуації на дизелі;

- модифікування поверхні сталі мінеральними та органомінеральними матеріалами дозволяє у

всьому діапазоні температур підігріву змащення підвищити зносостійкість сполучення, знизити величини коефіцієнтів тертя та температури в зоні трибоконтакту й, відповідно, істотно підвищити надійність деталей тертя. Причому по мірі збільшення температури підігріву мастила ефект від модифікування стали зростає: зменшуються величини швидкості зношування стали та деталей тертя в цілому;

– найбільш ефективними є композиційні покриття: сталь, зміцнена алюмосилікатом, модифікованим металосилоксаном або алюмосилікатом, модифікованим полісахаридом та карбонатом магнію.

### Література

1. Леонтьев Л.Б., Леонтьев А.Л. Системное проектирование технологического процесса формирования износостойких покрытий. *Металлообработка*. 2012. № 1. С. 48 – 52.
2. Погодаев Л.И., Кузьмин А.А. Структурно-энергетические модели надежности материалов и технических средств. СПб.: СПГУВК, 2010. 123 с.
3. Закалов О.В., Закалов І.О. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник. Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 322 с.
4. Babak V.P., Nedayborshch S.D. Wear resistance under vacuum of nanocomposite coatings with dry lubricant. *Scientific bulletin*. 2016. № 1. P. 47 – 52.
5. Шевеля В.В., Олександренко В.П. Трибохимия и реология износостойкости. Хмельницкий: ХНУ, 2006. 278 с.
6. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин. М.: Машиностроение. 1984. 279с.
7. Лабунец В.Ф., Присяжнюк В.В. Електроіскрове легування конструкційної легованої сталі для деталей вузлів тертя, *Вісник ВПІ*, вип. 5 (34), 2019. С. 81–84.
8. Tyagi A., Banerjee S. Material sunderex tremeconditions recent rends and future prospects edited. BARC.: Mumbai, India. 2017. 841 p.
9. Доценко А.И., Буяновский И.А. Основы триботехники. М.: ИНФРА-М. 2014. 336 с.
10. Малышкин Н.К., Питроковцев М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. М.: Физматлит. 2007. 368 с.
11. Хмелевская В.Б., Леонтьев Л.Б., Лавров Ю.Г. Технологии восстановления и упрочнения деталей судовых механизмов и триботехнические характеристики покрытий. СПб.: СПГУВК, 2002. 309 с.
12. Исследование влияния технологических параметров формирования металлокерамических покрытий на поверхностях трения на триботехнические свойства сопряжения / Л.Б. Леонтьев, Н.П. Шапкин, А.Л. Леонтьев, А.Г. Токликишвили. *Металлообработка*. 2012. №2. С. 28–30.
13. Теоретичні аспекти структурно-реологічного стану граничних змащувальних шарів в парах тертя / О.О. Мікосянчик, Р.Г. Мнацаканов, А.М. Хімко та ін. К.: Проблеми трибології. 2018. Т. 89. С. 132-134.
14. Анализ функционирования трибосистемы «шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника – смазка» судовых среднеоборотных дизелей / Л.Б. Леонтьев, А.В. Надежкин, В.Н. Макаров, А.Г. Токликишвили. *Двигателестроение*. 2013. №2 (252). С. 41–47.

### References

1. Leontev, L.B., Leontev, A.L. (2012). Sistemnoe proektirovanie tekhnologicheskogo prottsessa formirovaniia iznosostoikikh pokrytii [System design of the technological process for the formation of wear-resistant coatings]. *Metallrobrabotka*. № 1. pp. 48–52. [in Russian]
2. Pogodaev, L.I., Kuzmin, A.A. (2010). Strukturno-energeticheskie modeli nadezhnosti materialov i tekhnicheskikh sredstv [Structural and energy models of reliability of materials and technical means]. SPb.: SPGUVK. [in Russian]
3. Zakalov, O.V., Zakalov I.O. (2011). Osnovi tertia i znoshuvannia v mashinakh: Navchalnii posibnik [Basics of rubbing and rubbing in machines]. Ternopil: Vidavnistvo TNTU im. I. Puliuia. [in Ukrainian]
4. Babak, V.P., Nedayborshch S.D. (2016). Wear resistance under vacuum of nanocomposite coatings with dry lubricant. *Scientific bulletin*. № 1. pp. 47–52.
5. Shevelia, V.V., Oleksandrenko, V.P. (2006). Tribokhimiia i reologiiia iznosostoikosti [Tribochemistry and rheology of wear resistance]. Khmelnitkii: KhNU. [in Russian]
6. Kragelskii, I.V., Mikhin, N.M. (1984). Uzly treniia mashin [Friction units of machines]. M.: Mashinostroenie. [in Russian]
7. Labunec, V.F., Prisiazhniuk, V.V. (2019). Elektroiskrove leguvannia konstruktciinoi legovanoi stali dlia detalei vuzliv tertia [Electro-screen leguvannia of structural steel for parts of universities]. *Visnik VPI*, vip. 5 (34). pp. 81–84. [in Ukrainian]
8. Tyagi, A. Banerjee, S. (2017). Materials under extreme conditions recent trends and future prospects edited. BARC.:Mumbai, India.
9. Dotcenko, A.I., Buianovskii, I.A. (2014). Osnovy tribotekhniki [Basics of tribotechnics]. M.: INFRA-M. [in Russian]
10. Malyskhin, N.K., Pitrokovtcev, M.I. (2007). Trenie, smazka, iznos. Fizicheskie osnovy i tekhnicheskie prilozheniia tribologii [Friction, lubrication, wear. Physical foundations and technical applications of tribology]. M.: Fizmatlit. [in Russian]
11. Khmelevskaia, V.B., Leontev, L.B., Lavrov, Yu.G. (2002). Tekhnologii vosstanovleniia i uprochneniia detalei sudovykh mekhanizmov i tribotekhnicheskie kharakteristiki pokrytii [Technologies for restoration and hardening of parts of ship mechanisms and tribotechnical characteristics of coatings]. SPb.: SPGUVK. [in Russian]
12. Issledovanie vliianiia tekhnologicheskikh parametrov formirovaniia metallokeramicheskikh pokrytii na pov-erkhnostiakh treniia na tribotekhnicheskie svoistva sopriazheniia (2012) [Investigation of the influence of technological parameters of the formation of cermet coatings on friction surfaces on the tribotechnical properties of the interface] / L.B. Leontev, N.P. Shapkin, A.L. Leontev, A.G. Toklikishvili. *Metallrobrabotka*. № 2. pp. 28–30. [in Russian]
13. Teoretichni aspekti strukturno-reologichnogo stanu granichnikh zماشchuválnikh shariv v parakh tertia (2018) [Theoretical aspects of the structural-rheological mill of the boundary mechanical spheres in rubbing pairs] / O.O. Mikosianchik, R.G. Mnatcakanov, A.M. Khimko ta in. K.: Problemi tribologii. Vol. 89. pp. 132-134. [in Ukrainian]
14. Analiz funkcionirovaniia tribosistemy «sheika kolenchatogo vala – vkladish podshipnika – smazka» sudovykh sredneoborotnykh dizeliv (2013) [Analysis of the functioning of the tribosystem "crankshaft journal – bearing insert – lubrication" of marine medium-speed diesel

engines] / L.B. Leontev, A.V. Nadezhkin, V.N. Makarov, A.G. Toklikishvili. *Dvigatelistroenie*. №2 (252). pp. 41 – 47.[in Russian]

**Urum N.S., Ryashchenko O.I., Babere O.S. Method of restoration of friction details using wear-resistant composite substances**

*Existing technological processes of restoration of friction parts do not provide the necessary durability of crankshafts of marine diesels, as they do not take into account the complex technological features of coating methods for hardening, their technical and economic performance and operating conditions of parts. Failure to provide the necessary indicators of durability of the restored crankshafts determines the need to improve the technological processes of restoration, as well as the choice of criteria for the surface layer. The shortcomings of existing recovery processes, stochasticity of material parameters and process factors, quantitative and qualitative heterogeneity of thermal, force and other effects on the surface layer of the friction part in the process of its restoration and operation determine the relevance of further improvement of the technological process. properties of coatings obtained using mineral and organomineral materials, as well as assessment of the durability of the restored friction parts depending on the obtained parameters of the surface layer material. Failure to provide the necessary indicators of durability of restored crankshafts determines the need to improve methods of restoration of friction parts, including the use of composite materials, which determines the relevance of this article. The article proves that composite coatings based on mineral and organomineral materials must be used in the system of forming the material parameters of the surface layer of the crankshaft necks of marine diesel engines. Analysis of ex-*

*perimental results revealed that modification of steel surface with mineral and organomineral materials allows to increase the wear resistance of the joint in the whole range of heating grease temperatures, reduce friction coefficients and temperature in the tribocontact zone, respectively, significantly increase the reliability of friction parts. Moreover, as the heating temperature of the oil increases, the effect of steel modification increases: the values of the wear rate of steel and friction parts in general decrease. The most effective are composite coatings: steel reinforced with aluminosilicate, modified metallosiloxane or aluminosilicate, modified polysaccharide and magnesium carbonate.*

**Keywords:** crankshaft, composite substances, marine diesel, friction details.

**Урум Наталія Степанівна** – к.п.н, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін, Дунайський інститут водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій (м. Ізмаїл), [urum\\_n@mail.ru](mailto:urum_n@mail.ru)

**Рященко Оксана Іванівна** – старший викладач кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін, Дунайський інститут водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій (м. Ізмаїл), [oksanaivanovna561@gmail.com](mailto:oksanaivanovna561@gmail.com)

**Бабере Оксана Сергіївна** – асистент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін, Дунайський інститут водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій (м. Ізмаїл), [ksuchaburlak@gmail.com](mailto:ksuchaburlak@gmail.com)

Стаття подана 27.01.2022 р.