

Л. П. Клименко, В. І. Андрєєв, Л. М. Дихта, О. Ф. Прищепов, О. І. Случак, В. В. Шугай

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ ЧАВУННИХ ПОВЕРХОНЬ ПАР ТЕРТЯ, МОДИФІКОВАНИХ ТИТАНОВОЮ ГУБКОЮ

Наведено ряд аспектів формування поверхонь пар тертя при модифікації чавунної деталі ДВЗ титановою губкою. Наводяться основні результати дослідження можливостей технології, подібної до ФАБО, та запатентованої нами технології «Спосіб відновлення поверхні тертя металічної деталі ДВЗ шляхом нарощування з нанесеним покриттям-модифікатором  $Ti-TiO_2-Si_2$ ». Метод модифікації поверхонь тертя розглядається як елемент комплексу заходів із удосконалення деталей ДВЗ. Пропонується застосовувати комплекс методів зміцнення робочої поверхні, мікро- і макропрофілювання, фінішної обробки, підбору матеріалу контртіла, мастила і режимів експлуатації. Оптимальним визначено метод, що включає термообробку з витримкою деталі протягом 12 годин і більше, що сприяє насиченню поверхні рутиловими (внаслідок окислення титану) включеннями та рекристалізації з подрібненням перлітних та феритних компонентів поверхневого шару.

### Вступ

**Актуальність.** Режим роботи пар тертя великою мірою залежить від властивостей поверхні деталей [1], отриманої в ході їхнього виготовлення, а також від властивостей, яких вони набувають при взаємодії [2,3]. У ході виготовлення та доводки деталей невідворотно відбувається насичення поверхні абразивними частками, що при контакті з мастилами прискорюють зношення деталі. Для вирішення цієї проблеми часто застосовуються різні методи обробки на зразок захисних покриттів, легування та фінішної безабразивної обробки (ФАБО) [6]. У ході цього методу формується поверхня, яка є аналогічною до поверхні деталі з металу, що наноситься в якості покриття (міді або бронзи). Така обробка ефективно зменшує коефіцієнт тертя, але механічні властивості цих металів не сприяють роботі в умовах підвищених термічних навантажень [3]. Використання більш жаростійких металів в покриттях такого типу може надати парі тертя необхідних властивостей.

### Формування завдання

**Мета дослідження:** розробка методу модифікації чавунних поверхонь тертя за допомогою механічного титанування по аналогії з фінішною безабразивною обробкою (ФАБО).

**Предмет дослідження:** процеси у чавунних парах тертя із застосуванням титанової губки.

**Об'єкт дослідження:** чавунні поверхні пар тертя.

### Завдання дослідження:

- визначення фізичних механізмів безабразивної обробки чавунних поверхонь титановою губкою;
- розробка та проведення досліджень для отримання технології модифікації поверхонь тертя з застосуванням титанової губки;
- аналіз перспективності отриманих результатів та розроблених на їхній основі технологій.

### Огляд основних розробок

Можливість використання титану в якості по-

криття чи елементу пари тертя є досить сумнівною [4], оскільки проведення дослідження показали, що при взаємодії пари титан-титан коефіцієнт тертя становить 0,5, що досить багато, а при взаємодії титан-метал

рівної чи більшої твердості початковий коефіцієнт тертя є низьким, але з часом він зростає і вирівнюється з таким для пари титан-титан. За схильністю до налипання на поверхні інших металів титан поступається лише цинку з його коефіцієнтом тертя в парі цинк-цинк рівним 0,7 [5]. Відповідно, використання титану чи титанового покриття без змашувального прошарку призводить до задирів та пришвидшення зношування. Іншою проблемою такого покриття є неможливість утворення на поверхні фізично чи хімічно адсорбованих шарів рідкого мастила, що обмежує застосування пар тертя необхідністю використання твердих мастил.

Методи отримання титанових покриттів у плані взаємодії з поверхнею металу часто включають формування дифузійного шару та, відповідно, легування поверхні за рахунок її насичення легуючим елементом. Дифузійне титанування чавунної поверхні можна поділити на насичення з твердої фази (твердофазний метод) та насичення з парової (парофазний метод). В обох методах насичення потребує високої температури (615 °C), рівної або вище температури евтектики для Fe. За таких умов гранична розчинність титану в Fe складає ~ 3,8 % та значно падає з зниженням температури. Висока температура в сумі з підвищеною хімічною активністю титану в подібних умовах вимагають проведення процесу титанування у вакуумі або нейтральному середовищі.

### Результати досліджень

У ЧНУ ім. Петра Могили було проведено ряд досліджень з використанням титанової губки, що є вихідною сировиною для отримання металічного титану для модифікації поверхонь тертя чавунних

деталей.

Обрано три основних напрямки такої модифікації:

1) Механічне нанесення титанової губки в суміші з порошком мідним універсальним ПМУ та подальше використання отриманого покриття для обмеження об'ємного розширення металу при відновленні зношених поверхонь за рахунок об'ємного розширення чавуну при термоциклуванні [7].

2) Механічне нанесення титанової губки та спікання заготовки у вакуумі для отримання дифузійного покриття Ti-Fe подібного до того, що формується при титануванні твердофазним методом.

3) Механічне нанесення титанової губки та спікання заготовки в муфельній печі для отримання дифузійного покриття TiO<sub>2</sub>-Fe, де TiO<sub>2</sub>, що має властивості ферритизатора, має подрібнювальний ефект при формуванні зерен перліту в чавуні виконує роль як покриття (або підложки для покриття у випадку необхідності його вдосконалення, що може бути одним з результатів експериментальної перевірки технології), так і легуючого і структуроутворювального елемента.

Було проведено ряд досліджень з отримання покриттів всіх трьох типів.

Покриття 1-го типу близькі за своїми властивостями до поверхонь, оброблених за допомогою ФАБО, але їх основна функція контролю геометрії при термоциклуванні потребує подальших досліджень, так як є перспективним методом відновлення у випадку спрацювання при локальному термоциклуванні.

Покриття 2-го та 3-го типів разом з заготовками, натертими титановою губкою, на даний момент проходять апробацію на дослідних зразках для набору статистики.

Машина тертя СМЦ-2 була використана в експерименті з шістьма зразками у вигляді сталевих та чавунних заготовок. Було встановлено такі експериментальні режими для машини тертя СМЦ-2 та заготовок роликів:

Режим № 1: кількість обертів 205 об/хв; навантаження 18 кгс; час випробовування – 3 хвилини.

Режим № 1: кількість обертів 205 об/хв; навантаження 18 кгс; час випробовування – 5 хвилин.

Діаметр ролика металевого (сталь 40 ДСТУ 7806:2015) до обробки 77,215 мм.

Натерто на досліджуване тіло спресовану титанову губку ТГ– 110 ДСТУ 17746-96. Зразки заікали 4 – 6 годин у муфельній печі без вакууму при температурі 300 – 450°C і до повного охолодження,

не виймаючи з печі приблизно 16-24 годин.

Виміряно твердість за Роквеллом:

- Твердість ролика металевого (сталь 40 ДСТУ 7806:2015) –32,5 HR.

- Твердість ролика металевого натертого титановою губкою ТГ– 110 ДСТУ 17746-96 – 38,5HR.

Нанесення покриття включає 4 етапи, аналогічні до процесу механічної трибомодифікації та в частості геотрибомодифікації. На першому етапі контр тіло виконує роль абразиву, здійснюючи поверхневе шліфування та приробку оброблюваної поверхні. На другому етапі за рахунок локального перегріву в зоні тертя компоненти контр тіла здійснює легуючий вплив на поверхню металу, посилений за рахунок каталітичних процесів при високо-температурному розпаді органічних компонентів змазки (гліцерину). На третьому етапі відбувається формування металічного покриття за рахунок пластичної деформації перегрітих компонентів контр тіла та їх зціплення з поверхнею заготовки. На четвертому етапі утворене захисне покриття значно знижує коефіцієнт тертя, що припиняє процес утворення покриття і робить його само регульованим в певному діапазоні.

Отримано дані про зношування зразків по масі та по висоті, прийнято рішення зосередити основну увагу на замірюванні втрати маси та визначенні кількості титану, що піддалось розмазуванню по поверхні, а також властивостям дифузійного шару оксиду титану після спікання в муфельній печі за температури 300°C 6 годин з витримкою в добу. Результати представлено на рис. 1.

В процесі спікання рутил та титан, що піддається в момент спікання окисленню, впливає на хід рекристалізації чавуну [1], провокуючи подрібнення перлітної структури, а, відповідно, і підвищення міцності поверхневого шару металу в зоні контакту з покриттям. Відповідно, відбувається компенсація укрупнення графітних зерен в поверхневій зоні контакту з нанесеним покриттям на основі титанової губки. Оксид титану – активний ферритизатор, що сприяє подрібненню перлітних зерен та феритних включень за рахунок утворення більшої кількості центрів кристалізації при рекристалізації поверхневого шару металу.

Таким чином вирішується проблема спучування металу в поверхневій зоні та утворення оптимальної структури поверхневого шару, ріст графітних включень в проміжному шарі відбувається «всерединою» основного об'єму.

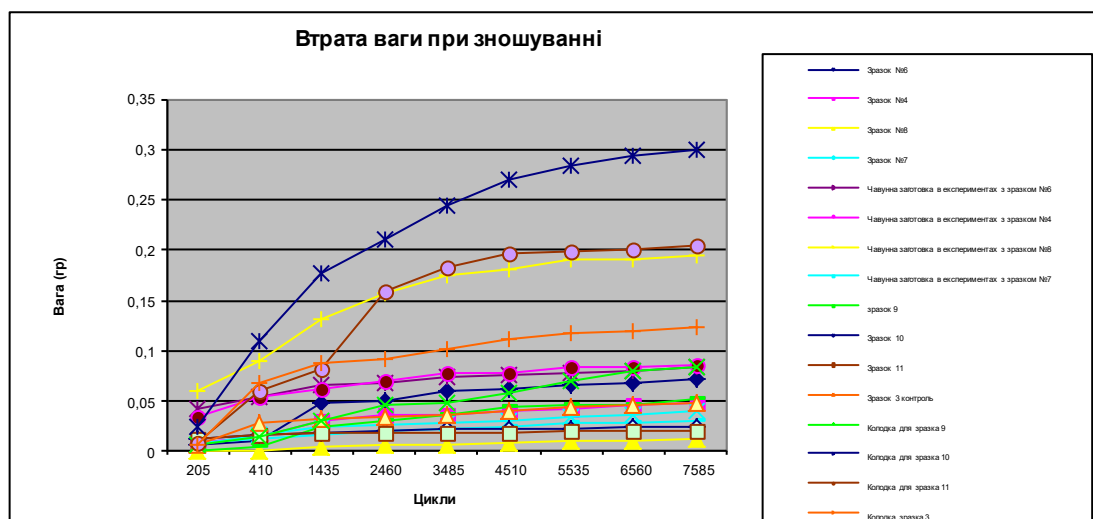


Рис. 1. Втрата ваги при зношуванні для зразка і колодки

### Висновки

Застосування комбінованих порошкових композитів на основі титанової губки в парах тертя, що піддаються підвищеним термічним, хімічним та механічним навантаженням, дозволяє не тільки продовжити їх строк експлуатації, а і надавати відновленню і модифікації вже зношені поверхні протягом багатьох циклів використання.

На основі даного методу було доведено, що утворення композитних покриттів є само регульованим процесом, що припиняється на певному етапі за рахунок зниження температури тертя деталі та контр тіла.

Створені покриття виступають одночасно в ролі захисту, джерела легуючих елементів та перлітизатора або ферритизатора. Подальший набір статистики дозволить вирахувати оптимальні умови модифікації, визначити переваги та недоліки кожного з трьох типів покриттів та розробити і направити на патентування інноваційні технології фінішної обробки поверхонь чавунних деталей.

Впровадження розробленого методу дозволить проводити якісне поверхнєве відновлення трибонавантажених деталей ДВЗ з їх одночасною модифікацією. При цьому суттєвою перевагою є збереження початкових властивостей металу з виключенням явища укрупнення перлітних зерен при рекристалізації за рахунок їх подрібнення під впливом ферритизуючих властивостей матеріалу покриття.

Розроблений метод може бути впроваджений в галузі ремонту та відновлення зношених деталей, а також при виробництві деталей з підвищеною зносостійкістю.

### Список літератури:

1. Клименко Л. П. Управление процессами формирования пористых поверхностных структур на стадии отримання

заготовок / Л. П. Клименко, О. Ф. Прищепов, В. И. Андреев, О. И. Случак, В. В. Шугай. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ імені Петра Могили, 2017. – 145 с. 2. Шевеля В. В. Изменение триболого-реологических свойств стали при повторно-циклическом трении с учетом эффекта баушингера / В. В. Шевеля, Б. Купец, Г. С. Калда, Ю. С. Соколан // Проблемы трибологии. – 2017. – № 2. – С. 6–15. – Режим доступа : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl\\_2017\\_2\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl_2017_2_3). 3. Шевеля В. В. Склерометрические показатели и акустико-эмиссионная активность термически упроченной стали / В. В. Шевеля, Б. Купец, Ю. С. Соколан, Г. С. Калда // Проблемы трибологии. – 2016. – № 1. – С. 6–5. 4. Микосянчик О. А. Оценка энергетических, реологических и противозносных характеристик контакта в условиях качения с переменным скольжением / О. А. Микосянчик, Р. Г. Мнацаканов, В. И. Калинин, А. В. Куцев // Проблемы трибологии. – 2016. – № 3. – С. 6–14. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl\\_2016\\_3\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl_2016_3_3). 5. Мнацаканов Р. Г. Моделирование интенсивности зношування / О. О. Микосянчик, Р. Г. Мнацаканов; М. С. Хімко // Problems of Friction & Wear. – 2015, Vol. 1. Issue 66. – P. 140–145. – Режим доступа: <http://web.a.ebscohost.com>. 6. Клименко Л. П. Ресурс двигателей внутреннего сгорания и пути его повышения / Л. П. Клименко, О. Ф. Прищепов, В. И. Андреев. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2015. – 196 с. 7. Заявка на винахід a201709365 Україна. Спосіб відновлення поверхні тертя металічної деталі ДВЗ шляхом нарощування з нанесеним покриттям-модифікатором Ti-TiO<sub>2</sub>-Cu<sub>2</sub>O [Текст] / Клименко Л. П., Прищепов О. Ф., Андреев В. И., Случак О. И., Шугай В. В.; заявник Чорноморський національний університет імені Петра Могили. – заявл. 25.09.2017.

### Bibliography (transliterated):

1. Klymenko, L. P., Pryshepov, O. F., Andriev, V. I., Sluchak, O. I., Shuhai, V. V. (2017), Management of the processes of formation of porous surface structures at the stage of obtaining billets [Upravlinnia protsesami formuvannia porystykh poverkhnevyykh struktur na stadii otrymannia zagotovok], Publication of the Petro Mohyla BDU, Mykolaiv, 145 p. 2. Shevelia, V. V., Kupets, B., Kalda, G. S., Sokolan, Yu. S. (2017), "Changes in the tribological-rheological properties of steel under repeated-cyclic trienium, taking into account the Bauschinger effect" ["Izmenenietribologo-reologicheskikh

svoistv stali pri povtorno-tryklicheskom trenii s uchetom efekta baushingera”], *Problems of tribology*, No 2, pp. 6–15, available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl\\_2017\\_2\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl_2017_2_3). 3. Shevelia, V. V., Kupets, B., Sokolan, Yu. S., Kalda, G. S. (2016), “Scrollometric indices and acoustic-emission activity of thermally reinforced steel” [“Sklerometricheskie pokazateli I akustiko-emassionnaya aktivnost termicheskogo uprochnennoy stali”], *Problems of tribology*, No 1, pp. 6–15. 4. Mikosiyanchik, O. A., Mnatsakanov, R. G., Kalinichenko, V. I., Kushchev, A. V. (2016), “Estimation of energy, rheological and anti-wear characteristics of the contact in conditions of spreading with variable slip” [“Otsenka energeticheskikh, reologicheskikh i protivoznosnykh harakteristik kontakta v usloviakh kachenia s peremennym skolzheniem”], *Problems of tribology*, No. 3, pp. 6–14, available

at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl\\_2016\\_3\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl_2016_3_3). 5. Mikosiyanchik, O. O., Mnatsakanov, R. G., Khimko, M. S. (2015), “Modeling of wear intensity” [“Modeluvannia intensyvnosti znoshuvannia”], *Problems of friction and wearing*, T. 1, Issue 66, pp.140–145, available at: <http://web.a.ebscohost.com>. 6. Klimenko, L. P., Pryschev, O. F., Andriev, V. I., (2015), *Resource of internal combustion engines and ways of its increase [resurs dvigateley vnutrennego sgorania I puti ego povyshenia]*, Publication of the Petro Mohyla BDU, Mykolaiv, 196 p. 7. Klymenko, L. P., Pryschev, O. F., Andriev, V. I., Sluchak, O. I., Shuhai, V. V. 2017. *Method of restoration of the friction surface of the metal parts of the ICE by means of an extension of the coated Ti-TiO<sub>2</sub>-Cu<sub>2</sub>O modifier. Ukraine. Application for invention a201709365*, 25.09.2017.

Надійшла до редакції 03.07.2018 р.

**Клименко Леонід Павлович** – докт. техн. наук, професор, ректор Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: [rector@chdu.edu.ua](mailto:rector@chdu.edu.ua).

**Андрєєв Вячеслав Іванович** – канд. техн. наук, доцент кафедри екології та природокористування Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: [avi@chdu.edu.ua](mailto:avi@chdu.edu.ua)

**Дихта Леонід Михайлович** – докт. техн. наук, професор кафедри прикладної та вищої математики Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: [leonid.dykhta@gmail.com](mailto:leonid.dykhta@gmail.com).

**Прищепов Олег Федорович** – канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп’ютерно-інтегрованих технологій Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: [priof@mail.ru](mailto:priof@mail.ru).

**Случак Олександр Ігорович** – аспірант Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: [slu4ok@gmail.com](mailto:slu4ok@gmail.com).

**Шугай Віктор Васильович** – аспірант Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: [drhouse36@mail.ru](mailto:drhouse36@mail.ru).

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ЧУГУННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПАР ТРЕНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТИТАНОВОЙ ГУБКОЙ

*Л.П. Клименко, В.И. Андреев, Л.М. Дыхта, О.Ф. Прищепов, А.И. Случак, В.В. Шугай*

В статье приведен ряд аспектов формирования поверхностей пар трения при модификации чугуновой детали ДВС титановой губкой. Приводятся основные результаты исследования возможностей технологии подобной ФАБО и запатентованной нами технологии «Способ восстановления поверхности трения металлической детали ДВС путем наращивания с нанесенным покрытием-модификатором Ti-TiO<sub>2</sub>-Cu<sub>2</sub>». Метод модификации поверхностей трения рассматривается как элемент комплекса мер по совершенствованию деталей ДВС. Предлагается применять комплекс методов укрепления рабочей поверхности, микро- и макропрофилирования, финишной обработки, подбора материала контртела, оптимального уровня смазки и режимов эксплуатации. Оптимальным определен метод, включающий термообработку с выдержкой детали в течение 12 часов, что более, способствует насыщению поверхности рутиловыми (вследствие окисления титана) включениями и рекристаллизации с измельчением перлитных и ферритных компонентов поверхностного слоя.

#### INVESTIGATION OF THE SILICON SURFACES CUTTING FOR THE THERMAL SURFACES MODIFIED BY TITANIUM SPONGE

*L.P. Klymenko, V.I. Andriev, L.M. Dykhta, O.F. Prishchepov, O.I. Sluchak, V.V. Shuhai*

In the article a reviews main aspects of the formation for friction pairs surfaces during modification to the iron part of the DIC with a titanium sponge. The main results of the study are the possibilities of a technology similar to the FABO and the technology patented by us is the way of restoring the surface of the air to the metal parts of the DIC by increasing the coating with the Ti-TiO<sub>2</sub>-Cu<sub>2</sub> modifier coating. The method of modification for friction surfaces is considered as an element in the complex of measures for the improvement parts of the ICE. It is proposed to apply a set of methods for strengthening the working surface, micro- and macroprofilming, finishing, selection of counterpart material, optimal lubrication and operating modes. An optimal method is defined which involves heat treatment with the endurance to the component for 12 hours or more, which contributes to the surface saturation with rutile (as a result of oxidation of titanium) inclusions and recrystallization with the grinding of perlite and ferrite components of the surface layer.