УДК 621.891

В.І. КУБІЧ, В.Л. ГРЕШТА

Національний університет «Запорізька політехніка», Україна, Запоріжжя

МЕТОДИКА ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ТЕПЛОМЕХАНІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА МАШИНІ ТЕРТЯ СМЦ-2

Запропоновано додаткове обладнання до машини тертя СМЦ-2, яке забезпечує моделювання контактної взаємодії металевих матеріалів при примусовому їх розігріві, відтворюючи деякі умови експлуатаційної роботи деталей натурних трибоз'єднань. При цьому параметр силової взаємодії забезпечується штатним обладнанням, а модельні зразки виконуються з необхідними конфігураціями форми поверхонь та будови.

Ключові слова: *жарова камера, захисний кожух, цикл випробувань, гребні диска, навантаження, час розігріву*

Вступ. Дослідження процесів контактної взаємодії металевих матеріалів, що працюють в умовах високотемпературного навантаження, яке супроводжується газоерозійним впливом навколишнього середовища на даний час не втрачає актуальності. Це обумовлене, насамперед, розробкою жароміцних матеріалів, з яких виготовляються складові частини таких об'єктів машинобудування як силові турбіни авіаційних двигунів. Невід'ємною складовою таких досліджень представляються експериментальні випробування відповідних зразків з максимально повним і об'єктивним відтворенням умов і режимів їх взаємодії [1]. Для проведення таких робіт необхідне лабораторне обладнання, на якому можливо моделювати такі процеси як з використанням модельних малогабаритних зразків, так і натурних елементів конструкцій. Все залежить від спрямованості досліджень, цілей та завдань. Однією з таких розглядається необхідність встановлення характеру прояву трибологічних аспектів поведінки жароміцних матеріалів в ущільнювальному контурі силового відсіку газотурбінної установки під час першого пуску і періоду припрацювання контактної взаємодії робочих поверхонь деталей експлуатаційного трибоз'єднання «статор з покриттям – ротор з гребенями». За цим напрямком отримані значущі наукові результати [2,3]. Однак при моделюванні процесу силового навантаження малогабаритних зразків на машині тертя СМЦ-2 був відсутній фактор температурного впливу навколишнього середовища, що властиво газовому потоку, який тече та омиває поверхні тертя експлуатаційного трибоз'єднання «статор з покриттям – ротор з гребнями».

Постановка завдання. Виходячи з наведеного необхідно розробити та запропонувати додаткове обладнання до машини тертя СМЦ-2, яке б забезпечило високотемпературний вплив на зразки матеріалів – градієнтне збільшення теплового навантаження у межах технічних можливостей випробувального устаткування.

Об'єкти та методи досліджень. Пропонується додатково використовувати власно виготовлені прилади у складі:

- металева жарова камера з захисним термостійким азбестовим полотном (рис. 1 а поз.2);

- трубчаті кожухи термопар з термоізоляційною азбестовою ниткоподібною оболонкою (рис. 1 в, г поз.2).

Для контролю температури газового потоку перед, за зразком-колодкою та безпосередньо тіла зразка-колодки пропонується використовувати мультиметр DT700C з термопарою TP-01A (рис. 1 а поз.1).

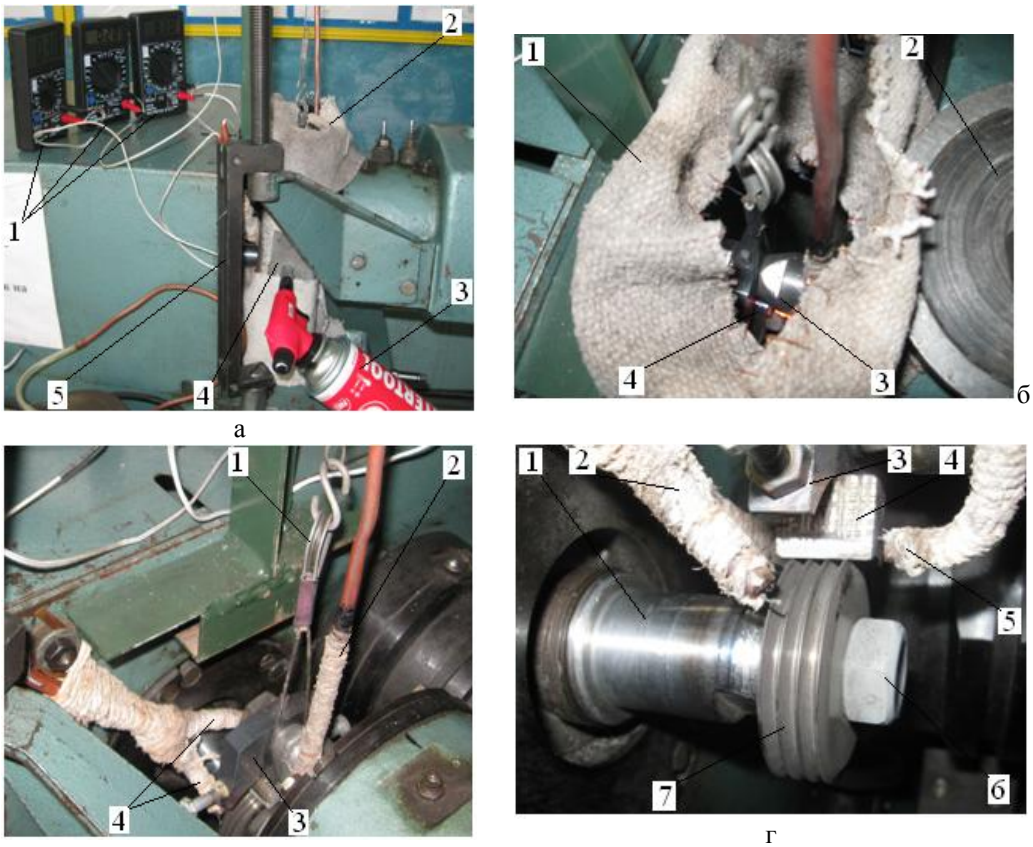

Рис. 1. Обладнання машини тертя СМЦ-2 для триботехнічних випробувань малогабаритних зразків в жаровій камері: а – загальний вид: 1 – мультиметри №1-3; 2 – захисне азбестове полотно; 3 – балон зі зрідженим газом та горілкою; 4 – корпус жарової камери; 5 – скоба гвинта навантажувального пристрою; б – фрагмент корпуса камери, обгорнутий азбестовим полотном: 1 – полотно; 2 – вантаж; 3 – верхній вал машини; 4 – зразок-колодка з покриттям; в – утримувач зразка-колодки з навантажувальним пристроєм: 1 – трос розвантажувального (врівноважуючого пристрою); 2 – захисний кожух термопари зразка-колодки; 3 – утримувач зразка-колодки; 4 – кожухи термопар, які розташовані перед і за зразком-диском; г – контакт зразків диска з колодкою: 1 – нижній вал машини; 2 – кожух термопар; 3 – утримувач; 4 – зразок-колодка з покриттям; 5 – кожух термопар; 6 – гайка фіксації; 7 – зразок-диск с гребнями

Запропоновано цикл, що моделює початковий етап механічної взаємодії натурних поверхонь, які формують ущільнювальний контур, що включає два етапи. При цьому акцент зроблений на відтворення процесу наростання температури середовища взаємодії в кінці етапу закінчення розкручування ротора

в електростартерному режимі пуску і початку етапу підхоплення обертання ротора продуктами горіння робочого тіла в камері(ах) згоряння. Допущенням представляється середня пускова частота обертання експлуатаційного ротора, яка при триботехнічних випробуваннях вибирається мінімальною n = 300 хв$^{-1}$, виходячи з технічних можливостей машини тертя СМЦ-2.

Етап 1. Контактна взаємодія поверхонь малогабаритних зразків без нагріву:

- час t_0 = 3 хв;
- нормальне навантаження N, Н.

Етап 2. Контактна взаємодія поверхонь малогабаритних зразків з підбиттям продуктів горіння скрапленого газу – ізобутан-бутан INTERTOOL GS-0022:

- час t_0 = 25-26 хв;
- нормальне навантаження N, Н.

При випробуваннях проводяться декілька повторів – опитів, кожний з них пропонується виконувати у наступній послідовності.

1. Розміщення термопар в захисному кожусі 4 (рис.1 а).

2. Встановлення і фіксація зразка-диска 7 на нижній вал 1 машини тертя, рис.1. Позиціонування на гребенях диска 7 зразка-колодки 4 (рис.1 г) з подальшим його фіксуванням в тримачі 3, розміщеному на верхньому нерухомому валу 3 (рис.1 б) машини тертя. Притискання поверхонь зразків за допомогою установки скоби 5 (рис.1 а) навантажувального пристрою в робоче положення.

3. Розвантаження контакту поверхонь зразків з використанням троса 1 врівноважує пристрої до мінімального зазору між гребенями і циліндричною поверхнею покриття. При цьому використовується ефект вільного протягання паперового щупа - смуга шириною 25 мм.

4. Установка жарової камери 4 (рис.1 а) між передньою стінкою нижнього валу машини і корпусом рухомої каретки так, щоб усередині її був розміщений контакт зразків. При цьому також розміщується і фіксується пайка термопари проводів, що виходять з її захисного кожуха 5 (рис.1 г) в глухому каналі тіла колодки 4 (рис.1 б, г).

Ізоляція корпусу жарової камери теплоізоляційним полотном 1 (рис.1 б).

5. Пуск машини, прописування самописцем лінії нульового навантаження – 2-3 хв.

6. Не зупиняючи обертання нижнього валу, потрібно провести статичне навантаження контакту масами вантажів 2 (рис.1 б), що розміщуються на корпусі каретки. Цей час приймається за початок першої стадії випробування.

7. Розпал полум'я газової суміші, виведення його на режим нижче середньої інтенсивності регулятором, установка розпилювача балона 3 (рис.1 а) в отвір газової камери.

8. Контроль набору температури середовища взаємодії за показаннями трьох мультиметрів.

9. Через встановлений час вилучення та гасіння полум'я паяльника, розвантаження контакту і прописування лінії нульового навантаження.

10. Зупинка машини тертя.

Результати досліджень. За наведеною методикою випробувано по п’ять зразків жароміцних матеріалів, нанесених на зразки-колодки у вигляді покриттів циліндричної форми.

Середньостатистичний час розігріву зразка-колодки до підтримуваного діапазону теплового навантаження склало t_p = 6,5 хв. Причому, кожен з дослідів вказав на непропорційне зростання температури від часу випробування. Обробка даних контролю за набором температури дозволила отримати графічну залежність швидкості розігріву зразка-колодки і визначити швидкості зміни температурного навантаження, рис.2. При цьому середньостатистичний діапазон температур триботехнічних випробувань для сталого режиму для матеріалів склав: №1 T=615-640 ºC; №2 T=649-671 ºC; № 3 T=620-636 ºC; №4 T=620-638 ºC; №5 T=649-671 ºC.

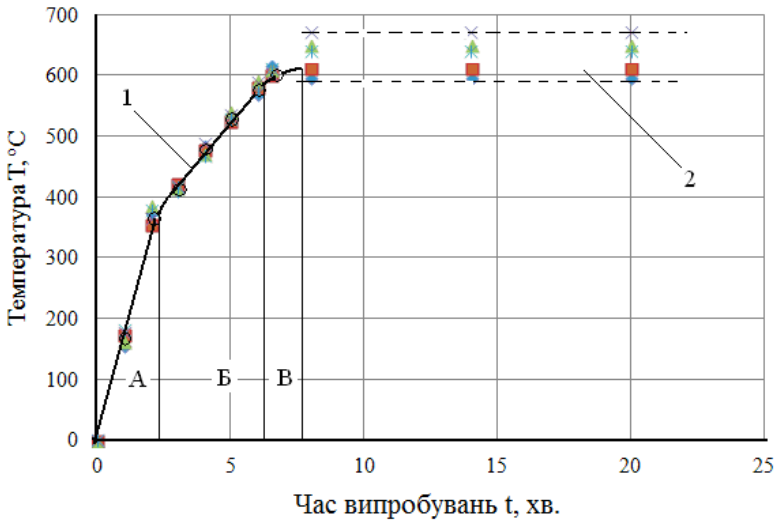

Рис.2. Температурна характеристика зразка-колодки: 1 – середньостатистичний ріст температури при розігріві; 2 – границі діапазону температур, при виході на сталий температурний режим для кожного зразків (T_{min}=596 ºC, T_{max}=671 ºC; А – швидкість збільшення температури υ_{T1}=3,1 град·с$^{-1}$; Б – швидкість збільшення температури υ_{T2}=0,86 град·с$^{-1}$; В - швидкість збільшення температури υ_{T3}=0,63 град·с$^{-1}$

Висновки. Запропоноване додаткове обладнання показало свою практичну функціональність. За умовами його застосування визначені параметри теплового навантаження, у відповідності з якими в лабораторних умовах можливо проводити моделювання процесу силового навантаження малогабаритних зразків з врахуванням фактору температурного впливу навколишнього середовища.

Список літератури

1. *Красников А. О.* Проверка износостойких и прирабатываемых покрытий. / А. О. Красников, Ю. И. Торба, А. Е. Занин, Р. Р. Климик // Вестник двигателестроения. Запоріжжя : АО Мотор Січ, 2018. № 2. С. 179-185.

2. *Богуслаев В. А.* Оценка триботехнических характеристик уплотнительных теплозащитных покрытий в условиях действиях критических загрузок. / В. А. Богуслаев, В. Л. Грешта, Д. В. Ткач, В. И Кубич, Е. Г. Сотников, З. В Леховицер, А. В. Климов // Трение и износ. ИММС НАН Беларуси. Гомель : Том 40. №1. 2019. С. 103-111.

3. *Сотніков Е. Г.* Усовершенствование состава газотермических уплотнительных покрытий деталей турбины для повышения эффективности газотурбинных двигателей. http: //eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/3943.

Стаття надійшла до редакції 00.00.0000

V. I. KUBICH, V. L. GRESHTA

METHODOLOGY OF TRIBOTECHNICAL TESTING OF METAL MATERIALS IN TERMS OF THERMOMECHANICAL LOADING ON SMC-2 MACHINE

The additional equipment of the SMC-2 friction machine is considered, which provides simulation of the contact interaction of metallic materials during their forced heating, reproducing where the operating conditions of the details of natural tribounits are. In this case, the parameter of force interaction is provided by standard equipment, and model samples are executed with the necessary configurations of the shape of the surfaces and structure. It is proposed to additionally use self-made devices: metal heat chamber with a protective heat-resistant asbestos cloth; tubular housings of thermocouples with thermal insulation asbestos filamentous shell. A cycle is proposed that simulates the initial stage of mechanical interaction of natural surfaces that form a sealing contour, which includes two stages. The emphasis is on the reproduction of the process of increasing the temperature of the interaction medium at the end of the end stage of spinning the rotor in the starter start mode and the beginning of the step of picking up the rotation of the rotor products of combustion of the working fluid in the combustion chamber (ax). The assumption is the average starting speed of the operating rotor, which in tribotechnical tests is selected minimum n = 300 min-1, based on the technical capabilities of the machine friction SMC-2. The processing of temperature control data allowed to obtain a graphical dependence of the heating rate of the sample pads, and to determine the rate of change of temperature load.

Key words: heat chamber, casing, test cycle, disc rowing, loading, warm-up time

Кубіч Вадим Іванович – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Автомобілі» Національного університету «Запорізька політехніка», schmirung@gmail.com

Грешта Виктор Леонидович – к.т.н., професор, професор кафедри фізичного матеріалознавства Національного університету «Запорізька політехніка», greshtaviktor@gmail.com

References

1. Krasnikov A. O. Proverka iznosostojkih i prirabatyvaemyh pokrytij. / A. O. Krasnikov, Ju. I. Torba, A. E. Zanin, R. R. Klimik // Vestnik dvigatelestroenija. Zaporizhzhja : AO Motor Sich, 2018. № 2. S. 179-185.

2. Boguslaev V. A. Ocenka tribotehnicheskih harakteristik uplotnitel'nyh teplozashhitnyh pokrytij v uslovijah dejstvijah kriticheskih zagruzok. / V. A. Boguslaev, V. L. Greshta, D. V. Tkach, V. I Kubich, E. G. Sotnikov, Z. V Lehovicer, A. V. Klimov // Trenie i iznos. IMMS NAN Belarusi. Gomel' : Tom 40. №1. 2019. S. 103-111.

3. Sotnikov E. G. Usovershenstvovanie sostava gazotermicheskih uplotnitel'nyh pokrytij detalej turbiny dlja povyshenija jeffektivnosti gazoturbinnyh dvigatelej. http: //eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/3943.