

2. Аппазов Э.С. Применение предпусковой тепловой подготовки для повышения эффективности работы двигателей внутреннего сгорания // Вестник ХНТУ № 1(48), 2014 г. – С 30-33.

3. Аппазов Э.С., Ключев О.И., Русанов С.А., Луняка К.В. Решения по использованию теплоаккумуляторов на основе фазового перехода твердое тело - жидкость для предпусковой подготовки автомобильных двигателей. // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Херсон: ВНЗ «ХДМІ», 2014. – С.52-54.

4. Пыхтя В. А. Экспериментальные исследования системы предпускового разогрева двигателя с тепловым аккумулятором / В.А. Пыхтя // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. - № 6 (148). – С. 246-251.

Кубіч Вадим Іванович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний університет, «Запорізька політехніка», schmirung@gmail.com, 066-5868697
Грешта Віктор Леонідович, к.т.н., професор, професор кафедри фізичного матеріалознавства, Національний університет «Запорізька політехніка», greshtaviktor@gmail.com

МЕТОДИКА ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПОКРИТТІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Процеси контактної взаємодії зовнішніх поверхонь елементів вузлів тертя з робочими відсіками, наприклад, циліндричного перетину, в яких створюються умови для реалізації термодинамічних циклів, безумовно супроводжуються накопиченням деформаційних, ерозійних зон навантаження, які рано чи пізно приводять до допустимих пошкоджень та патологічних руйнувань. Термін прояву руйнування та особливості формування при цьому його топографії визначаються вихідними фізико-механічними характеристиками матеріалів, особливістю протікання послідовних структурно-фазових перетворень, а також характером зміни параметрів термомеханічного, газодинамічного навантаження поверхонь. Такими робочими відсіками можливо розглядати кожен із ступенів компресора і турбіни газотурбінних установок (авіаційні двигуни, роторно-поршневі двигуни, роторно-хвильові двигуни та інші теплові машини), в яких мають місце процеси зношування внутрішньої поверхні корпусу та активних елементів, наприклад, торцевих поверхонь лопаток, ущільнювальних пластин. Так, торцеві поверхні лопаток можуть мати гребінці, які є складовою газодинамічного безконтактного ущільнювального контуру. Також вони є предметом механічного впливу на формування якості контуру у початковий період експлуатації – при припрацюванні та при явному прояві збудження руйнівних наслідків при некерованих зближеннях з корпусом, тобто вибіркою сталих регламентованих зазорів. Для захисту корпусу від руйнувань та формування якісного ущільнювального контуру використовується

широкий спектр жароміцних покриттів, які відрізняються властивостями за умов впливу, у першу чергу, термічного навантаження, та на цей час не відповідають вимогам підвищення температури термодинамічного циклу. Цьому питанню приділяється значна увага дослідників та отримано попередні результати [1-3]. Тому моделювання процесів контактної взаємодії зазначених поверхонь тертя з відтворенням умов і режимів їх навантаження наближених до експлуатаційних при застосуванні малогабаритних зразків в лабораторних умовах за економічною доцільністю є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого дозволяє давати порівняльну оцінку новим складам покриттів, враховуючі тим самим матеріалознавчі аспекти підвищення надійності газотурбінних авіаційних двигунів.

Метою роботи є запропонування способу фізичного моделювання контактної взаємодії поверхонь тертя трибоз'єднання «гребінці лопатки – покриття корпусу турбіни» в лабораторних умовах з відтворенням градієнтного термомеханічного навантаження постійного фрикційного контакту при припрацюванні на режимі першого пуску та наступного термомеханічного навантаження з урахуванням прогнозованих структурно-фазових перетворень, створених цілеспрямованим окремим температурним впливом.

Спрямованість випробувань – визначення лінійного зносу нових покриттів за рахунок використання створених доріжок зношування на внутрішній циліндричній поверхні зразка покриття на кільці, що випробується при механічній взаємодії з модельними гребінцями на вільно розміщених у роторі зразках-пластинах за програмою попередньо визначеного циклу випробувань.

Пропонується до використання принцип роботи об'ємної роторно-лопатної машини з пластинами, що вільно радіально переміщуються у напрямних пазах ротора, визначеної кількості та примусово керованої маси, що створює передумови для розробки алгоритму частоти навантаження зон фрикційної взаємодії з відповідним градієнтним приростом нормальної сили навантаження при керуємі частоті обертання ротору та встановленому часовому прирості об'ємної температури замкнутого середовища взаємодії.

Лабораторне обладнання запропоноване у складі наступних складових:

- стенд для випробування генераторних установок HIRADASTECHNIKI GERPGYARA U-808 серія №326 автомобільних двигунів кафедри автомобілів Національного університету «Запорізька політехніка» з двома режимами керованої зміни частоти обертання привідного валу: 300-2500 хв⁻¹; 2500-5000 хв⁻¹. При цьому за рахунок наявності перемикачів частотних режимів є можливість миттєво збільшувати частоту обертання у два рази, тобто, наприклад, з 500 хв⁻¹ до 1000 хв⁻¹, з 800 хв⁻¹ до 1600 хв⁻¹ і т.д. Це створює передумови для розробки алгоритму моделювання стрімкого приросту нормального навантаження, тобто процесу миттєвого вривання зубців в матеріал покриття, наприклад, при фіксованих температурах середовища взаємодії;

- випробувальна камера (рис.1), у складі: нерухомого корпусу 3, в якому розміщується кільце 7 з матеріалом покриття 8 та виконано отвір для відведення нагрітих газів (не наведено); ротору 4 з радіальними пазами та вільно розміщеними пластинами 5 відповідних розмірів та маси, на зовнішніх поверхнях яких виконані

модельні гребінці; кришки 9 корпусу з отвором для підведення розігрітих газів (не наведено), з отворами для встановлення термопар контролю температури, з отвором для розміщення манометра (не наведено) аварійного підвищення тиску у порожнині корпусу та з отвором для розміщення підшипників вала ротора;

– джерело розігрітих газів: балон із зрідженим газом ізобутан-бутан, що моделює сухе середовище температурної взаємодії; стандартна паяльна лампа, що заправляється авіаційним керосином, для моделювання агресивного «жирного» температурного середовища;

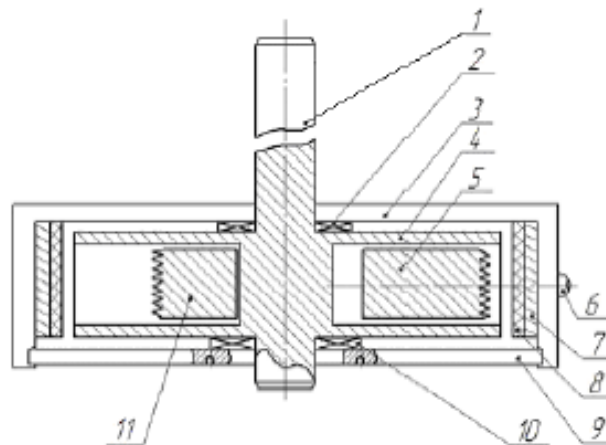
– термоізоляція випробувальної камери;

– система відведення використаного газового середовища у вигляді металевих гофр та труб;

– мультиметри контролю температури.

Пропонується до застосування цикл випробувань, який складається з двох етапів.

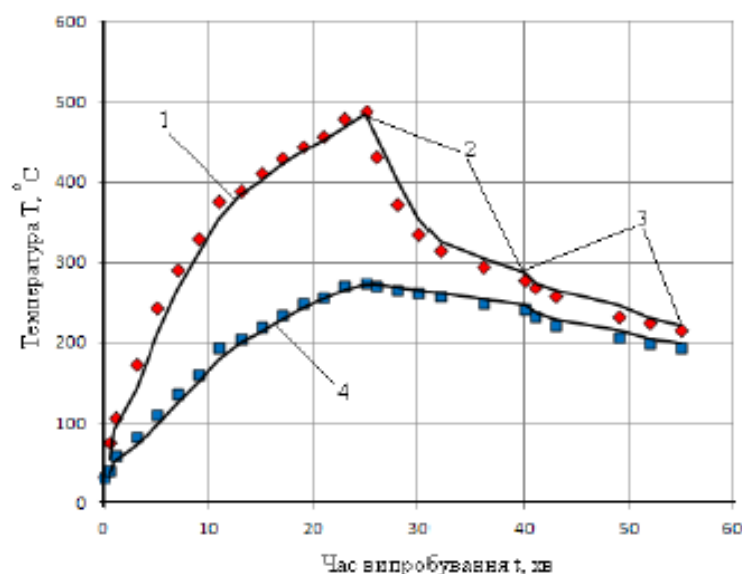
Перший етап полягає у наступному. Випробування покриттів, наприклад при моделюванні першого пуску двигуна, під час якого фіксується середня частота обертання і імітується приріст температури середовища взаємодії, наприклад, від 25 °С до 550 °С. Для цього виконуються відповідні дії з джерелом розігрітих газів.



- 1 – вал ротора; 2,10 – підшипники вала-ротора; 3 – корпус; 4 – ротор з пазами; 5 – рухома пластина більшої маси; 6 – стопорний гвинт; 7 – кільце;
8 – покриття; 9 – кришка корпусу; 11 – рухома пластина меншої маси

Рисунок 1 - Схема випробувальної камери

Сила радіального навантаження та її частота дії визначиться кількістю і масою зразків – пластин. При цьому, силу радіального навантаження можливо поступово збільшувати за рахунок збільшення частоти обертання ротора. Наприклад, це можуть бути дві пластини масою 46 г, які при частоті обертання ротора 500 хв^{-1} створюють розрахункову притискну силу у 12 Н. Згідно з попередніми дослідями розгінної характеристики температури камери час випробувань може складати від 20 до 25 хв. (рис.2).



1 – зона на вході газів; 2 – охолодження з термоізоляцією; 3 – охолодження без термоізоляції; 4 – зона на виході газів

Рисунок 2 - Залежність приросту температури у зонах камери при випробуванні із застосуванням ізобутан - бутану

Режими дослідів можливо скорегувати у відповідності з відтворенням процесу, який моделюється, наприклад пуск двигуна, робота на перехідних режимах тощо. Більш коректним та об'єктивним буде відтворення, наприклад етапів пуску розгорнутих окремо по кожній його складовій, наприклад, по часу набору швидкості обертання при фіксованих температурах, але з приростом радіального навантаження на покриття. Безумовно наведене потребує уточнення. По завершенні кожного з дослідів пропонується проведення мікровимірювання доріжок тертя для визначення інтенсивності зношування матеріалу та топографії створеного контуру для оцінки щільності створеної поверхневої.

Другий етап полягає у наступному. Проводяться складові випробування за етапом №1. Проте використовуються попередньо демонтовані кільця з матеріалами покриттів, які були окремо витримані при температурах, що створюють передумови для прогнозованих структурно-фазових перетворень. Ця операцію запропоновано здійснювати відокремлено, оскільки, наприклад, досягнути температуру у камері 800 °C та більше за вимогами безпеки при проведенні робіт у навчальній аудиторії (лабораторії) є неможливим.

Таким чином пропонується вважати, що складові запропонованого методичного забезпечення для моделювання процесів термомеханічного навантаження пар тертя у робочому відсіку теплової машини в лабораторних умовах є придатними до використання.

Література

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 действия критических нагрузок. / 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. Сотников Е. Г. Усовершенствование состава газотермических уплотнительных покрытий деталей турбины для повышения эффективности газотурбинных двигателей. <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/3943>.

Лавриненко Александр Тимофеевич, канд. техн. наук, наук, доцент,
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Пожидаев Сергей Петрович, канд. техн. наук, spozhy2@ukr.net
Шкаровский Григорий Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Национальный
университет биоресурсов и природопользования Украины

О НЕКОТОРЫХ РАЗМЕРНОСТНЫХ ПРОБЛЕМАХ МЕХАНИКИ

В работе [1] показано, что в теории качения эластичного колеса должен применяться радиус качения колеса без скольжения, единицей которого является м/рад. Но это приводит к размерностному парадоксу: полная окружная сила колеса $P_{\text{ко}}$ получает единицу измерения не ньютон (Н), а Н·рад:

$$[P_{\text{ко}}] = [M] : [r_k] = (\text{Н} \cdot \text{м}) : \left(\frac{\text{м}}{\text{рад}} \right) = \text{Н} \cdot \text{рад}, \quad (1)$$

где M – крутящий момент колеса, Н·м; r_k – радиус качения, м/рад.

Подобные казусы, противоречащие принципу однородности размерностей, встречались в механике и ранее. Чтобы они не вызывали вопросов, метрологи разрешили не упоминать единицу «радиан» в производных единицах (п. 5.2.3 стандарта [2]). Механики не возразили против этого, так как полагают, что «радиан» – всего лишь условное обозначение единицы безразмерной величины «угол», которое якобы можно заменять числом «1».

Но Природа непротиворечива, противоречивыми могут быть только знания о ней. Поэтому такие действия – подтасовка, научная фальсификация. Ни одну из единиц величин, входящих в ту или иную производную единицу, нельзя исключать на основании субъективных соображений. Это уничтожает научную строгость системы единиц, переводит её в разряд схоластики.

На этом основании нами была выдвинута гипотеза, что принцип однородности размерностей должен действовать всегда и везде, во всех случаях применения всех без исключения размерностей и единиц величин. А если оказывается, что он не действует в каком-то случае, то это является сигналом, что в наших знаниях о Природе имеется ошибка. Её надо искать и исправлять, а не оправдывать. Попытаемся сделать это.

В соотношении (1) входит крутящий момент (момент силы) M . Это понятие, не претерпев абсолютно никаких изменений, пришло к нам ещё с