

Віштак І.В., канд. техн. наук, доцент

ORCID 0000-0001-5646-4996

Резидент Б.С.,

ORCID 0009-0009-6578-8576

Вінницький національний технічний університет

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У РОЗВИТКУ ГАЗОВИХ ПІДШИПНИКІВ

Газові (аеростатичні) підшипники є ключовим елементом сучасних мехатронних систем, зокрема координатно-вимірювальних машин, прецизійних шліфувальних верстатів, свердлильних фрезерних головках, метрологічному пристосуванні, забезпечуючи точність замірів поверхні, мікропозиційних платформах, у фармацевтичній галузі, високошвидкісних і точних механізмах.

Основною конструктивною особливістю таких підшипників є застосування газового мастильного середовища, яке створює несучу плівку під дією надлишкового тиску, що замінює традиційні тіла кочення та забезпечує безконтактний режим роботи. Такий тип мащення має як свої переваги, так і недоліки.

До переваг належать: практично повна відсутність вібрацій; відсутність металевого контакту, а це означає довговічність при незмінній якості шліфовки поверхонь; мале тертя, що зумовлено невеликою динамічною густиною газу, що надає підшипнику низьке тепловиділення; мінімальне обслуговування; майже необмежений термін служби; висока точність при роботі; відсутність забруднення навколишнього середовища.

До недоліків слід віднести: малу критичну частоту обертання, порівняно з рідким мащенням; високу точність обробки; подачу газу під великим тиском; через початкову малу густину газу існує певна несуча здатність [1].

З огляду на те, що газодинамічні та газостатичні підшипники набули широкого застосування у високотехнологічних галузях, дослідження спрямовані на удосконалення їх конструкцій та експлуатаційних

характеристик є актуальними та необхідними. Точність та жорсткість газового підшипника визначаються мікрогеометрією рецесу та однорідністю тиску, а інноваційні конструкції дозволяють суттєво розширити робочий діапазон опори.

Основними інноваційними технологіями розвитку газових підшипників на даний момент є конструктивно-геометричні інновації, що полягають у:

1) впровадженні у конструкцію обмежувачів (рестрикторів) (рисунк 1), що забезпечують рівномірний розподіл тиску, вищу навантажувальну здатність;

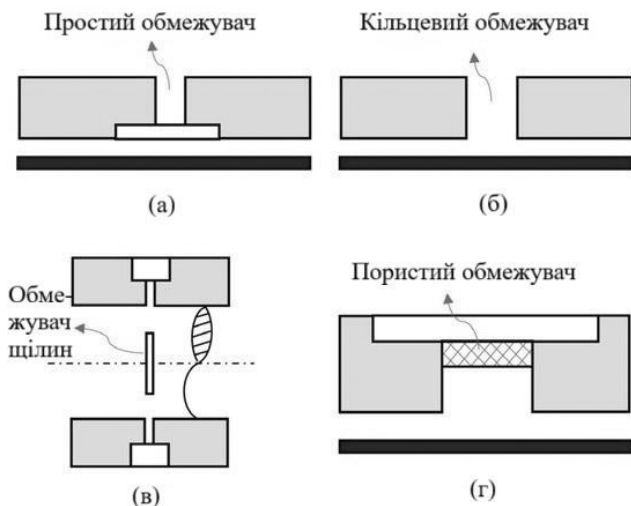


Рисунок 1 – Типи обмежувачів: (а) – простий обмежувач; (б) – кільцевий обмежувач; (в) – обмежувач щілин; (г) – пористий обмежувач [3].

2) мікроотвори для подачі, що характеризується виготовленням отворів подачі (дроселів), через який поступає газ, діаметром менше 1 мм, що збільшує тиск і вантажопідйомність підшипника [2]. У роботі [2] досліджено аеростатичний підшипник із використанням технології мікробробки. Авторами представлено конфігурації кількох різних форм (рисунк 2 а), кількість отворів становить відповідно 25, 100 і 400.

Розподіл поверхневого тиску підшипника з 25 мікроотворами (рисунк 2 б). Площа поперечного перерізу кожної мікропори становить 30 мкм^2 .

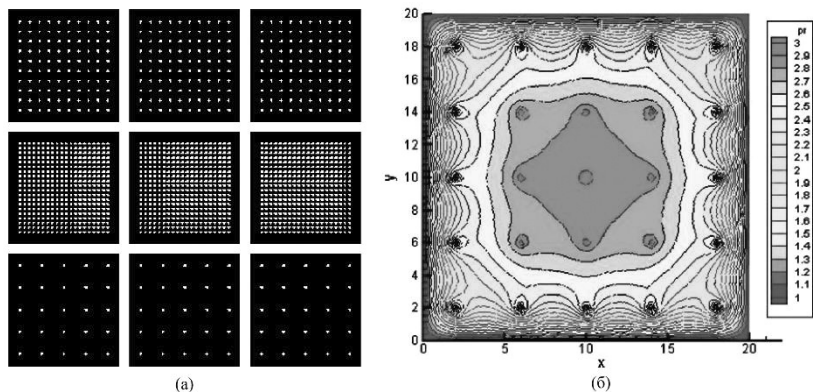


Рисунок 2 – Мікро-отвори: (а) – кількістю 25, 100 та 400 отворів; (б) – результат симуляції тиску на кількість отворів 25.

Результати показали, що вантажопідйомність і жорсткість аеростатичних підшипників можна оптимізувати, змінюючи кількість і діаметр мікроотворів газових підшипників.

Сучасні дослідження авторів [3] описують широкий спектр конструктивних рішень, включаючи підшипники з регульованими секторами колодок, гнучкими втулками та активним подаванням мастильного матеріалу, що забезпечує адаптивне формування гідродинамічної плівки.

Експериментальні та чисельні моделі підтверджують, що інтеграція алгоритмів керування (PID, LQG, Deep Q) підвищує стабільність та динамічні характеристики роторних систем.

Перспективним напрямом розвитку є створення високошвидкісних адаптивних опор із розширеними можливостями самоналаштування та прогнозування стану. Результати показують, що адаптивні системи дозволяють зменшити похибки позиціонування та підвищити стійкість до зовнішніх збурень на 20–40% залежно від конструкції [3].

Однією із інновацій, яка полягає в інтеграції у конструкцію пористого аеростатичного підшипника є встановлення сенсорів для

вимірювання висоти повітряного зазору за допомогою вимірювання мікрозазору безпосередньо в робочій зоні [4].

Інновації у сфері газових підшипників зосереджені на оптимізації геометрії та застосуванні пористих, щільних і гібридних рестрикторів, що дозволяє підвищити несучу здатність і стабільність газового шару. Мультифізичне моделювання (CFD, FEM) забезпечує більш точне прогнозування параметрів роботи підшипників, а впровадження smart-систем із сенсорами та активним керуванням тиском розширює функціональні можливості прецизійних механізмів. У комплексі ці технології формують новий рівень технічної досконалості та надійності газодинамічних опор.

Список використаних джерел

1. Віштак, І. В. Переваги використання підшипників з газовим мащенням. Вісник машинобудування та транспорту, 1, 2015. URL: <https://vmt.vntu.edu.ua/index.php/vmt/article/view/4>.
2. Zhao, Q., Qiang, M., Hou, Y., Chen, S., & Lai, T. Research Developments of Aerostatic Thrust Bearings: A Review. *Applied Sciences*, 12(23), 11887, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122311887>.
3. Vernekar, N. K., Pai, R., Aroor, G., Kumar, N., & Hariharan, G. Advancements in Active Journal Bearings: A Critical Review of Performance, Control, and Emerging Prospects. *Modelling*, 6(3), 97, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/modelling6030097>.
4. Haverinen, P., Miettinen, M., & Viitala, R. Porous aerostatic bearing with integrated air gap height measurement. *Measurement*, 256(B), 118128, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.118128>.