

## ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ПІДШИПНИКІВ З ГАЗОВИМ МАЩЕННЯМ

Вінницький національний технічний університет

*В статті викладено коротку історію розвитку теорії та практики підшипників з газовим мащенням. Проаналізовано переваги та недоліки газових опор.*

### ВСТУП

Перше припущення про можливість використання повітря для змащування підшипників було зроблене А. Хірсом у 1854 році [1]. Результати перших експериментальних випробувань та теоретичних досліджень опубліковані наприкінці 80-х років минулого століття. Теорія та практика використання газового мащення довгий час не могла знайти ефективного застосування у виробництві. В середині 90-х років минулого століття у зв'язку з розвитком ядерної енергетики, обчислювальної техніки, точного приладобудування, де використовується високошвидкісне обладнання, дослідження набули масової реалізації.

На основі робіт С. А. Шейнберга у 1949 році були сконструйовані та дослідженні зразки декількох підшипників, що змащувались повітрям та могли технічно використовуватись [2]. На той час такі підшипники не знаходили широкого застосування через велику кількість проблем технічного характеру. Однак в період, коли стрімко почала розвиватися ядерна енергетика, виявилися суттєві переваги підшипників з газовим мащенням в машинах, що застосовувалися в ядерних енергетичних установках. Ці підшипники виявилися також вельми перспективними і в інших сферах машино- та приладобудування [3].

У зв'язку з цим інтерес до опор з газовим мащенням стрімко піднявся та в 1959 році у Вашингтоні був скликаний перший симпозіум з проблем газового мащення. Після цієї події, з періодичністю в декілька років, почали проводитися наукові семінари.

На цих семінарах доповідалися результати теоретичних та експериментальних робіт, що виконувалися дослідниками з різних організацій, це допомагало об'єднувати зусилля та координувати роботу, яка проводилася до цього окремими дослідниками [4].

Наприкінці 90-х років було проведено друге координаційне зібрання з питань розвитку газового мащення. На цьому зібранні було показано, що масштаби розвитку досліджень та використання підшипників з газовим мащенням в різних сферах машинобудування та приладобудування значно збільшилися.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Переваги газового мащення випливають з двох основних відмінностей газів та рідин:

- газу хімічно стабільніші в значно більшому інтервалі температур, ніж рідини;
- газу менш в'язкі, ніж рідини.

Більш детально розглянемо переваги газових підшипників у порівнянні з іншими видами опор та області їх застосування.

#### 1. Працездатність при високих та низьких температурах.

Підшипники ковзання та кочення з рідинним мащенням можуть працювати при відносно низьких температурах. Зі збільшенням температури якість рідинного мащення погіршується через зниження в'язкості мастил, а несуча спроможність опор з газовим мащенням дещо підвищується за рахунок збільшення в'язкості газів [5,6].

#### 2. Якісні показники опор з газовим мащенням.

Підшипники ковзання та кочення з рідинним мащенням малоприсадибні для роботи у високошвидкісних машинах та вузлах. Для газових підшипників висока швидкість вигідна, тому що приводить до збільшення несучої здатності. При цьому втрати потужності в них на 2–3 порядки нижчі, ніж у підшипників з рідинним мащенням.

Газові опори успішно використовуються в шпindelних вузлах верстатів різного призначення, вимірювальних приладах, турбошліфувальних машинах, турбодетандерах, турбокомпресорах тощо [7].

Найширше використання газові опори знайшли в машинобудуванні в шліфувальних шпинделях та свердлильних головках.

Сучасні високошвидкісні та високоточні шліфувальні, розточувальні та інші верстати повинні забезпечувати точність форми робочих поверхонь порядку десятих часток мікрметра при шорсткості поверхні  $R_a \leq 0,08$  мкм. Отримання таких параметрів корелює з експлуатаційними якістьми шпиндельних вузлів металорізальних верстатів, що застосовуються для виготовлення деталей.

Досягнення точності обертання шпинделя в межах 0,3...0,5 мкм, встановленого на опорах кочення, вже пов'язано зі значними технологічними труднощами.

Досвід експлуатації шпиндельних вузлів шліфувальних верстатів з опорами різних типів показав, що в низці випадків використання газостатичних опор більш доцільне та раціональне, оскільки такі опори здатні, за рахунок осереднювального ефекту газового шару, забезпечити точність обертання шпинделя до 0,02...0,04 мкм [7].

Крім того, шпиндельні вузли з газовими опорами мають такі переваги в порівнянні з шпиндельними вузлами на опорах кочення:

- відсутність металевих контактів, а отже, довговічність при незмінній якості шліфування;
- мале тертя, зумовлене малою динамічною в'язкістю газу, а отже, і мале нагрівання вузла. Це дозволяє збільшити потужність різання, виключити час для розігрівання шпинделя, підвищити продуктивність праці;
- рівень вібрації звести до мінімуму;
- можливість балансування шліфувального круга безпосередньо на шпинделі. Також слід врахувати, що велика товщина повітряного шару (в порівнянні з висотою мікронерівностей поверхні шийки вала) сприяє тому, що неточності виготовлення шийки вала практично не впливають на обертання шпинделя. В межах останніх досліджень виявлено, що геометричні параметри вала, а саме – канавки, які можуть бути на ньому нанесені, можуть покращити працездатність газових опор [8].

Шпинделі на газостатичних опорах можна вважати абсолютно жорсткими в порівнянні з жорсткістю газового шару, тобто вони практично не мають деформацій у повітряному шарі.

Маючи високу жорсткість та великі швидкості обертання, шпинделі на газових опорах забезпечують високу якість оброблюваних поверхонь, сприяють підвищенню продуктивності праці [9]. Але кількість розроблених конструкцій не дуже велика та виробництво їх надто обмежене, тому актуальним є питання заміни підшипників кочення на опори з газовим мащенням, для забезпечення високої точності виробів, що виготовляються. В багатьох конструкціях використовувалися в якості газостатичних опор підшипники, які можна поділити на два класи. До першого відносяться підшипники з зовнішньою компенсацією в вигляді отворів малого діаметра, діафрагм, щілин та пористих вставок [10]. Другий клас складають підшипники з внутрішньою компенсацією за рахунок східчастої форми робочого зазору або глухих поздовжніх канавок [10, 11].

З метою підвищення частоти обертання та статичних характеристик шпиндельного вузла, була запропонована конструкція шпиндельного вузла на газостатичних опорах з канавками змінної глибини на валу опори [3]. Це дозволило створити в підшипниках більш стійкий несучий шар газу, внаслідок збільшення корисної площі подачі газу. Комплекс використаних досліджень дозволив створити математичну модель такого вузла на газостатичних опорах.

Відзначимо, що опори з газовим мащенням також успішно використовуються в якості направляючих металообробних верстатів [12].

### 3. Довговічність та надійність.

У підшипників з газовим мащенням на робочих режимах практично відсутній знос. Підшипник не зношується, якщо газ не має великих твердих частинок і якщо вони, за своєю природою, не викликають корозії [12]. За результатами експлуатаційних досліджень термін служби опор внутрішньошліфувальних шпинделів на газовому мащенні складає 15–20 тисяч годин, що перевищує термін служби шпинделів на опорах кочення в 3–5 разів. Тому для більшості практичних завдань газові опори можна вважати достатньо довговічними.

### 4. Стійкість проти радіаційного опромінення.

В газоохолоджувальних редукторах циркуляцію робочого тіла в першому контурі створюють компресори та вентилятори, які працюють при високому рівні радіації. В таких випадках більшість звичайних мастил руйнується, в той час коли більшість газів стійкі проти радіації.

### 5. Відсутність забруднення.

Газове мащення запобігає забрудненню навколишнього середовища, що особливо важливо в ядерних силових установках. Прикладом є турбомашини з газовими підшипниками, в якій вимагається «нульове» забруднення робочого тіла; може слугувати неоновий компресор для

реактора. Установка є високотемпературним газоохолоджуванним реактором, в якому забруднення теплоносія неможливе тому, що може погіршити теплопередачу в реакторі та зменшити термін його служби [8].

#### 6. Спрощення конструкції.

В порівнянні з підшипниками з рідинним мащенням газові підшипники не вимагають складних агрегатів мащення, системи повернення мастила, системи охолодження мастила. Крім того, звичайні ущільнення тут виявляються непридатними, громіздкими та малоефективними.

Газові опори широко використовуються в техніці. В приладобудуванні ці підшипники знайшли своє використання в гіроскопічних пристроях, для опор маховиків [8, 3].

Підшипники з газовим мащенням успішно використовуються в малих вентиляторах для охолодження електронного обладнання. Газові сферичні підвіси використовуються в імітаторах космічних умов – для імітації стикування, маневрування та перевірки системи орієнтації [12, 13].

В харчовій, хімічній та фармацевтичній промисловостях, а також в побутовій техніці газові підшипники знайшли своє застосування в приладах, де є потреба запобігти забрудненню продукту або навколишніх приладів, знизити шум, забезпечити компактність та зручність експлуатації. Значного поширення газові опори отримали в різних конструкціях бормашин.

#### 7. Низький рівень шуму та вібрації.

Одною з важливих вимог, що ставлять до використання обладнання, є захист працівників від акустичних та вібраційних впливів.

Але не слід також уявляти, що газові підшипники універсальні, їх слід застосовувати лише там, де вони дійсно необхідні, адже крім переваг є деякі недоліки, а саме:

- підшипники такого типу потребують високої точності обробки;
- для роботи газостатичних підшипників потрібен газ підвищеного тиску;
- в зв'язку з невеликою величиною в'язкості газу ці підшипники мають невелику навантажувальну здатність.

### ВИСНОВКИ

Досвід експлуатації та сучасний стан наукових досліджень свідчать про великі перспективи використання підшипників з газовим мащенням. Подальших досліджень та вдосконалення конструкції вимагає проблема їх обмеженої навантажувальної здатності та підвищення зносостійкості в аварійних режимах (втрата тиску, перегрівання, режим пуск–зупинка без тиску газу).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хирс Г. Г. Конструирование опорных подшипников с продольными канавками и внешним нагнетанием смазки / Г. Г. Хирс (G. G. Hirs) // Проблемы трения и смазки. – 1968. – № 4. – С. 324–331.
2. Шейнберг С. А. Опоры скольжения с газовой смазкой / С. А. Шейнберг, В. П. Жедь, М. Д. Шишеев. – М. : Машиностроение, 1969. – 331 с.
3. Пинегин С. В. Прецизионные опоры качения и опоры с газовой смазкой : Справочник / С. В. Пинегин, А. В. Орлов, Ю. Б. Табачников. – М. : Машиностроение, 1984. – 216 с.
4. Добровольский Г. Г. Применение опор с газовой смазкой в шпинделях и поворотных столах для станков сверхвысокой точности / Г. Г. Добровольский, В. С. Крячек // Исследование и применение опор скольжения с газовой смазкой : Всесоюзное координационное совещание, 12–14 мая 1983 г. : тезисы докл. – Винница, 1983. – С. 57.
5. Константиnescу В. Н. Газовая смазка / В. Н. Константиnescу ; пер. с рум. под ред. Коровчинского М. В. – М. : Машиноведение, 1968. – 718 с.
6. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1973. – 848 с.
7. Карпов В. С. Динамические характеристики вертикальных газовых подшипников с профилированной поверхностью вала / В. С. Карпов, О. Н. Тихоненкова // Исследование и применение опор скольжения с газовой смазкой : Всесоюзное координационное совещание, 12–14 мая 1983 г. : тезисы докл. – Винница, 1983. – С. 46–47.
8. Жедь В. П. Применение в промышленности опор с газовой смазкой / В. П. Жедь, С. В. Пинегин, Ю. Б. Табачников // Станки и инструменты. – 1977. – № 12. – С. 1–3.
9. Табачников Ю. Б. Исследование и оптимизация радиальных газостатических подшипников с продольными канавками с учетом угловой жесткости. / Ю. Б. Табачников, А. В. Шевченко, В. И. Степанчук // Машиноведение. – 1981. – № 2. – С. 100–107.

10. Федотов В. А. Экспериментальное исследование радиального газового подшипника с двойным дросселированием потока газовой смазки / В. А. Федотов, Г. В. Киселев // НИИНАВТОПРОМ, серия XII, Подшипниковая промышленность. – 1979. – № 8. – С. 11–13.
11. Федотов В. О. Вплив нахилу поздовжніх канавок на характеристики радіальних підвісок / В. О. Федотов, В. В. Савуляк // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2003. – № 1. – С. 54–56.
12. Пинегин С. В. Статические и динамические характеристики газостатических опор. / С. В. Пинегин, Ю. Б. Табачников, И. Е. Синенков. – М. : Наука, 1982. – 265 с.
13. Сергеев С. И. Динамика криогенных турбомашин с подшипниками скольжения / С. И. Сергеев. – М. : Машиностроение, 1973. – 304 с.

#### REFERENCES

1. Hirs. Konstruivovanie opornyh podshypnikov s prodolnymi kanavkami I vneshnim hagnetaniem smazki / Hirs (G. G. Hirs) // Problemy treniya i smazki. – 1968/ - №4/ - S. 324-331/
2. Sheinberg S.A. Opory skolgeniya s gazovoy smazkoy / S.A. Sheinberg, V.P. Ged, M.D. Shisheev. – М.: Mashinostroenie, 1969. – 331 s.
3. Pinegin S.V. Precizionnye opory kacheniy s gazovoy smazkoy. Spravochnik / S.V. Pinegin, A.V. Orlov, Y.B. Tabachnikov. – М.: Mashinostroenie, 1984. – 216 s. – (Osnovy proektirovaniy mashin).
4. Dobrovolskiy G.G. Primenenie opor s gazovoy smazkoy v shpindelnykh i povorotnykh stolakh dly stankov sverhvysokey tochnosti / G.G. Dobrovolskiy, V.S. Krychek // Issledovanie i primeneniye opor skolgeniy s gazovoy smazkoy: Vsesoyuznor koordinatsionnoye sovechaniye, 12 – 14 maya 1983 g.: tezis dokl. – Vinnitsa, 1983. – s. 57.
5. Konstanchinesku V.N. Gazovaya smazka / V.N. Konstanchinesku; per. S rum. Pod red. Korovchinskogo M.V. – М.: Mashinostroenie, 1968. – 718 s.
6. Loicyanskiy L.G. Mehanika gidkosti i gaza / L.G. Loicyanskiy. – М.: Nauka, 1973. – 848 s.
7. Karpov V.S. Dinamicheskie harakteristiki vertikalnykh gazovykh podshpnikov s profilirovannoy poverhnostiy vala / V.S. Karpov, O.N. Tihinenkova // Issledovanie i primeneniye opor skolgeniy s gazovoy smazkoy: Vsesoyuznor koordinatsionnoye sovechaniye: tezis dokl. – Vinnitsa, 1983. – s. 46 – 47.
8. Ged V.P. Primeneniye v promyshlennosti opor s gazovoy smazkoy / V.P. Ged, S.V. Pinegin, Y.B. Tabachnikov // Stanki i instrument. – 1977. – № 12. – S. 1 – 3.
9. Tabachnikov Y.B. Issledovanie i optimizatsiya radialnykh gazostaticheskikh podshpnikov s prodolnymi kanavkami s uchetom uglovykh gestkosti. / Tabachnikov Y.B., Shevchenko A.V., Stepanchuk V.I. // Mashinovedeniye. – 1981. – №2. – S.100-107.
10. Fedotov V.A. Eksperimentalnoye issledovanie radialnogo gazovogo podshpnika s dvoynym drosselirovaniem potoka gazovoy smazki / V.A. Fedotov, G.V. Kiselev // NIINAVTOPROM, seriy XII, Podshpnikovay promyshlennost. – 1979. – № 8. – S. 11 – 13.
11. Fedotov V.O. Vplyv nahylyu pozdovgnih kanavok na harakterystyky radialnykh pidvisok / V.O. Fedotov, V.V. Savulyak // Problemy trybologii (Problems of Tribology). – 2003. – № 1. – S. 54 – 56.
12. Pinegin S.V. Statcheskie I dinamicheskie harakteristiki gazostaticheskikh opor. / S.V. Pinegin, Y.B. Tabachnikov, I.E. Sinenkov. – М. Nauka, 1982. – 265 s.
13. Sergeev S.I. Dinamika kriogennykh turbomashin s podshpnikami skolgeniya / S.I. Sergeev. – М.: Mashinostroenie, 1973. – 304 s.

**І. В. Віштак**

### **ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ПІДШИПНИКІВ З ГАЗОВИМ МАЩЕННЯМ**

Вінницький національний технічний університет

В статті викладено коротку історію розвитку теорії та практики підшипників з газовим мащенням. Проаналізовано переваги та недоліки газових опор.

Об'єкт дослідження – шпindelні вузли на газових підшипниках та газові опори.

Мета роботи – вдосконалення конструкцій газових опор для покращення експлуатаційних характеристик шпинделя.

Підвищення частоти обертання та статичних характеристик шпindelного вузла, можливе шляхом зміни конструктивних параметрів газових опор. Таке технологічне рішення дозволяє створити в опорах більш стійкий несучий шар газу, внаслідок збільшення корисної площі подачі газу.

Подальші дослідження та розробки дозволять покращити експлуатаційні характеристики та довговічність газових опор, тим самим збільшити обсяги їх використання у виробництві

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ГАЗОВІ ОПОРИ, ГАЗОВЕ МАЩЕННЯ, ШПИНДЕЛЬНИЙ ВУЗОЛ, ОПОРИ КОЧЕННЯ.

Виштак Інна Вікторівна, Вінницький національний технічний університет, інженер кафедри безпеки життєдіяльності ВНТУ, e-mail: inna.vishtak@rambler.ru, тел. +380978966113, Україна, 21021, м. Вінниця, вул. В. Порика 27, кв. 13.

**I. V. Vishtak**

## **ADVANTAGES OF USING GAS LUBRICATED BEARINGS**

Vinnitsia National Technical University

A brief history of development the theory and practice of gas-lubricated bearings is offered in the article. The advantages and disadvantages of gas bearings are analyzed.

A research object is spindle units on gas bearings and gas-bearing.

A purpose of work is improving of the design of gas bearings to improve the performance of spindle.

It is possible to increase rotational speed and static characteristics of the spindle unit, by changing the design parameters of the gas bearings. This technology solution provides a more stable carrier gas layer, by increasing the usable area of gas supply.

Further research and development will improve the performance and durability of gas bearings, thus increase their use in the production

**KEYWORDS:** GAS-BEARINGS, GAS LUBRICATION, SPINDLE UNIT, ROLLING-BEARINGS.

Vishtak Inna V., Vinnitsia National Technical University, Engineer of the Chair of Life Safety of VNTU, e-mail: inna.vishtak@rambler.ru, tel. +380978966113, Ukraine, 21021, Vinnitsya, V. Porika str., 27,13.

**И. В. Виштак**

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ НА ГАЗОВОЙ СМАЗКЕ**

Винницкий национальный технический университет

В статье изложена краткая история развития и практики подшипников на газовой смазке. Проанализированы преимущества и недостатки газовых опор.

Объект исследования – шпиндельные узлы на газовых подшипниках и газовые опоры.

Цель работы – усовершенствование конструкций газовых опор для улучшения эксплуатационных характеристик шпинделя.

Повышение частоты оборотов и статических характеристик шпиндельного узла возможно путем изменения конструктивных параметров газовой опоры. Такое технологическое решение позволяет создать в опорах более стойкий несущий слой газа, вследствие увеличения полезной площади подачи газа.

Дальнейшие исследования и разработки позволят улучшить эксплуатационные характеристики и долговечность газовых опор, тем самым увеличить объемы их использования в производстве.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ГАЗОВЫЕ ОПОРЫ, ГАЗОВАЯ СМАЗКА, ШПИНДЕЛЬНЫЙ УЗЕЛ, ОПОРЫ КАЧЕНИЯ.

Виштак Инна Викторовна, Винницкий национальный технический университет, инженер кафедры безопасности жизнедеятельности ВНТУ, e-mail: inna.vishtak@rambler.ru, тел. +380978966113, Украина, 21021, м. Вінниця, ул. В. Порика 27, кв. 13.