



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 87676

(13) C2

(51) МПК (2009)
F16C 32/06МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СТІЧКОВИЙ РАДІАЛЬНИЙ ПІДШИПНИК

1

2

(21) а200609821

(22) 14.02.2005

(24) 10.08.2009

(86) PCT/KR2005/000400, 14.02.2005

(31) 10-2004-0009869

(32) 14.02.2004

(33) KR

(46) 10.08.2009, Бюл.№ 15, 2009 р.

(72) ЛІ ХЕОНСЕОК, KR

(73) КТУРБО, ІНК., KR

(56) US 5988885 A, 23.11.1999

US 5584582 A, 17.12.1996

US 4950089, 21.08.1990

(57) 1. Радіальний стрічковий підшипник, що містить:

а) верхню стрічку 1, що задовольняє умові, пред-
ставленій рівнянням $t \geq 0,1 \cdot D^{0,33}$, де t - товщина
(мм); D - діаметр вала (мм);б) шпонку 2, приварену до обрізаної частини за-
значеної верхньої стрічки 1;с) внутрішню гофровану стрічку 3, розміщену зовні
зазначеної верхньої стрічки, причому зазначенавнутрішня стрічка утворена з ширшого і вищого
гофра та вужчого і нижчого гофра, розташованих
поперемінно;d) зовнішню гофровану стрічку 4, розміщену зовні
центру зазначеного ширшого і вищого гофра за-
значеної внутрішньої гофрованої стрічки 3, причо-
му зазначений зовнішній гофр має висоту, меншу
за висоту зазначеного вужчого і нижчого гофра
зазначеної внутрішньої гофрованої стрічки 3;е) контактний лист 5, призначений для прикріп-
лення зазначених внутрішнього гофра 3 і зовніш-
нього гофра 4; таf) корпус 6 підшипника, що розташований зовні
зазначеного контактного листа 5, і має шпонковий
паз 7.2. Радіальний стрічковий підшипник за п. 1, який
відрізняється тим, що внутрішній діаметр вказа-
ної верхньої стрічки 1 покритий металеву сухою
змащувальною речовиною і потім відшліфований
для використання сухої змащувальної речовини,
що не потребує високої адгезійної здатності.

Підшипники зазвичай поділяють на підшипни-
ки кочення (кулькові або роликові), безмастильні
підшипники (у яких для роботи з тертям викорис-
товується змащувальний матеріал), підшипники
ковзання (із використанням мастила), газові під-
шипники та магнітні підшипники (у яких для безко-
тактної роботи використовується сила магнітного
поля). Підшипники ковзання поділяють на гідроди-
намичні підшипники ковзання та гідростатичні під-
шипники ковзання. Гідродинамічний підшипник
ковзання служить опорою вала, використовуючи
тиск мастила, утворюваний через відносний рух із
ковзанням. Гідростатичний підшипник ковзання
служить опорою вала, використовуючи мастило
під високим тиском, що подають ззовні підшипни-
ка. Газові підшипники діють таким самим чином, як
підшипники ковзання, за винятком того, що замість
мастила використовують газ. До гідростатичного
газового підшипника із зовнішнього джерела по-

дають стиснутий газ, а у гідродинамічному газова-
му підшипнику тиск утворюють через відносний
рух із ковзанням.

Через їх низькі втрати на тертя і відсутність
потреби у рідкій змащувальній речовині, гідроди-
намичні газові підшипники широко використовують
у механізмах з високою частотою обертання. Зок-
рема, їх зазвичай використовують у випадку над-
швидкісних механізмів, у яких використовувати
для опори кулькові підшипники не можна, і у випа-
дку, коли не можна легко використовувати рідку
змащувальну речовину. Гідродинамічні газові під-
шипники поділяють на підшипники з канавкою,
підшипники з шарнірно встановленими сегмент-
ними подушками і стрічкові підшипники. Підшипник
з канавкою має канавку для утворення тиску, і
прикладом такого підшипника служить підшипник
із спіральною канавкою. Робочі параметри гідро-
динамічних підшипників з шарнірно встановлени-

(13) C2

(11) 87676

(19) UA

ми сегментними подушками є дуже обмежені, і, відтак, у разі виходу за границі робочих параметрів підвищується ризик відмови. Наприклад, оскільки при роботі вище або нижче розрахункових параметрів їх жорсткість швидко зменшується, ці підшипники дуже чутливі до динамічного навантаження, перекосів вала й термічної деформації. На відміну від них, стрічкові підшипники, що зветься податливими гідродинамічними підшипниками, забезпечують дуже високі робочі характеристики, і в цьому напрямку протягом останніх 20 років досягнутий значний прогрес. Крім того, їх адекватна довговічність і стійкість підтверджені у пристрої для кондиціювання повітря літаків. Зокрема, їх використовують у машині з високою частотою обертання, наприклад, високошвидкісний криогенний турбокомпресор із частотою обертання 100 000хв⁻¹. Ці підшипники можна використовувати з невеликою домішкою рідини, і їх перевагами є гнучкість і нижча собівартість.

Стрічкові підшипники використовують з 1970 року здебільшого в машині для охолодження повітря, ще є основним компонентом системи контролю клімату повітряного судна, яка призначена для регулювання температури і тиску у кабіні екіпажу та салонах. Це можна вважати найкращим прикладом використання. В цьому застосуванні стрічковий підшипник не забруднює середину кабіни (салону), оскільки він не має будь-якої мастильної системи. Крім того, на відміну від кулькового підшипника, він забезпечує стабільну роботу протягом тривалого часу без регламентного обслуговування. Стрічковий підшипник, використовуваний на "Боїнгу-747", має ресурс 100 000 годин без будь-якого ремонту.

Стрічкові підшипники звичайно поділяють на два типи, а саме: тип з пружними листами і гофрований тип. Як показано на Фіг.1, у стрічковому підшипнику з пружними листами форма опірної поверхні для вала задана кількома пружними листами, що встановлюють у напрямку обертання з частковим перекриттям суміжних листів. Як показано на Фіг.2, стрічковий підшипник гофрованого типу має одну цільну стрічку, опорою для якої служить пружина, встановлена навколо неї. Стрічковий підшипник з пружними листами переважно використовують у випадку, коли навантаження, що сприймається опорою, нижче, зовнішнє динамічне навантаження мале, а пусковий момент переважно великий. На відміну від стрічкового підшипника з пружними листами підшипник гофрованого типу має мале навантаження при пуску і високу довговічність і жорсткість. Однак через те, що він має складну конструкцію і виготовляється за складною технологією і, зокрема, через те, що не можна легко забезпечити його стійкість, цю технологію освоїли лише 2 або 3 компанії у світі. В корпусі підшипника встановлюють гофровану стрічку, приварену до його внутрішнього боку, і ця гофрована стрічка служить як пружина. Зсередини її до корпусу приварюють верхню стрічку, і ця верхня стрічка практично контактує з валом. При обертанні вала із втягуванням повітря верхня та гофрована стрічки деформуються і набувають форму, необхідну для отримання простору для утворення плівки текучо-

го середовища. В цьому стрічковому підшипнику геометрична конструкція для утворення плівки текучого середовища забезпечується пружною деформацією верхньої стрічки. При збільшенні частоти обертання гофрована стрічка видавлюється від центру, і вал зміщується від центру, завдяки чому утворюється простір, що має форму клину (клинчастий зазор). При цьому, використовуючи деформуючу властивість верхньої стрічки, оптимальну конструкцію, здатну створити прийнятний динамічний тиск, можна розробити без необхідності у складному процесі механічної обробки. Крім того, оскільки зазор утворюється у діаметральному напрямку, переважно, він може належним чином реагувати на збільшення малого діаметру через високу швидкість обертання. Ці характеристики базуються на товщині верхньої стрічки і гофрованої конструкції, що служить опорою верхній стрічці. Зокрема, конструкція гофрованої стрічки має визначати, чи можуть забезпечуватися жорсткість й демпфування, необхідні для утримання валу. Отже, конструкція, товщина, висота, крок, номер гофрованої стрічки, тощо, це основні фактори для визначення робочих характеристик стрічкового підшипника гофрованого типу.

Крім того, підшипники військового призначення мають бути здатними витримувати вищу частоту обертання, а також суворі умови роботи і динамічне навантаження. На практиці ці вимоги до безщіткового електричного двигуна постійного струму з високою частотою обертання, високою вихідною потужністю і високим к.к.д. не можна задовольнити, використовуючи звичайні підшипники із змащуванням мастилом. Крім того, вони повинні конструктивно й адекватно витримувати перекоси, нагрівання і вібрацію. Для того щоб одержати максимальну несучу здатність для цих цілей, відомо, що гофровану стрічку доцільно поділити у аксіальному напрямку і напрямку обертання.

Відповідними патентами є патенти США №№ 4 300 806, 5 915 841, 5 988 885, 4 465 384, 5 498 083, 5 584 582, 6 024 491, 6 190 048В1, 4 624 583, 3 893 733, 3 809 443, 4 178 046, 4 654 939, 4 005 914, 5 911 511, 5 534 723, 5 427 455 та 5 866 518.

Основний принцип цього підшипника було запатентовано у 1970-х роках. Для покращення їх робочих характеристик до гофрованої і верхньої стрічок вносилися зміни. У патенті США № 5 866 518 розкрита спроба розробки металевої сухої змащувальної речовини, яку можна застосовувати при високих температурах і яка має придатну адгезійну здатність

Цей винахід відноситься до стрічкового підшипника гофрованого типу, що має покращені робочі характеристики разом з покращеною продуктивністю. В цьому описі термін "робочі характеристики" означає несучу здатність і стійкість. Справді, навіть якщо підшипник має гарну несучу здатність, без відповідної стійкості його не можна широко використовувати. З іншого боку, навіть якщо підшипник забезпечує стійкість, на практиці його не можна використовувати без адекватної несучої здатності. На Фіг.1 і 2 представлений типовий підшипник, що звичайно використовується. Відо-

мо, що підшипник гофрованого типу має несучу здатність, що більш ніж вдвічі перевищує несучу здатність підшипника з пружними листами, але з цим пов'язана проблема забезпечення стійкості, і через це було нелегко розробити підшипник з кращими робочими характеристиками.

Далі, винахід відноситься до стрічкового підшипника гофрованого типу, в якому можна забезпечити високі несучу здатність і стійкість, тим самим створюючи практичний стрічковий підшипник гофрованого типу. Крім того, при збиранні підшипника продуктивність знижується через необхідність забезпечити його точність. Конструктивна проблема полягає у тому, що при підвищеній температурі (нижче 400°C) він має адекватно охолоджуватися, і, відтак, через необхідність його охолодження ефективність системи у цілому знижується. При надвисокій температурі (нижче 800°C) необхідно використовувати металеву змащувальну речовину. Таким чином, необхідно розробити матеріал, що має прийнятну адгезійну здатність для того, щоб його було використовувати на валу. Характеристика змащувальної речовини обмежена, і це спричиняє вищу вартість покриття.

Отже, метою винаходу є покращення несучої здатності з одночасним забезпеченням високої продуктивності, забезпечення широкого стійкого діапазону роботи з високою стійкістю при високій частоті обертання і високій температурі. Ще однією метою винаходу є значне зниження його ціни і покращення робочих характеристик через використання матеріалу покриття, що має низьку адгезійну здатність.

Подальші цілі та переваги цього винаходу стануть більш зрозумілими з наведеного нижче докладного опису з посиланнями на додані креслення, на яких:

Фіг.1 ілюструє звичайний радіальний стрічковий підшипник з пружними листами;

Фіг.2 ілюструє звичайний радіальний стрічковий підшипник гофрованого типу;

Фіг.3 ілюструє радіальний стрічковий підшипник за одним варіантом здійснення винаходу;

Фіг.4 представляє собою частково збільшений вигляд радіального стрічкового підшипника, представленого на Фіг.3.

Нижче з посиланнями на додані креслення докладно описуються переважні варіанти здійснення цього винаходу.

Підшипник гофрованого типу за одним варіантом здійснення винаходу являє собою звичайний тип підшипника, представлений на Фіг.2. Пропонований стрічковий підшипник гофрованого типу містить верхню стрічку 1, шпонку 2, внутрішню гофровану стрічку 3, зовнішню гофровану стрічку 4, контактний лист 5, корпус 6 і шпонковий паз 7.

Між валом і верхньою стрічкою 1 існує малий проміжок. В якості мастила служить навколишнє повітря або газ. Через тиск, що утворюється завдяки потоку повітря в залежності від швидкості обертання вала, верхня стрічка 1 має форму, що відрізняється від кола, завдяки чому її реакція опори підвищується. Отже, важливе значення у визначенні її реакції опори мають жорсткість гофрованих стрічок 3 і 4 і товщина верхньої стрічки 1.

Поведінка гофрованої стрічки, що служить опорою верхній стрічці 1, визначає несучу здатність і стійкість. Крім того, робочі характеристики залежать від характеристик гофрованих стрічок 3 і 4, що служать опорою верхній стрічці 1. Отже, метою винаходу є покращення робочих характеристик й підвищення економічної ефективності через зміну конструкції гофрованих стрічок 3 і 4 і верхньої стрічки 1.

Товщина верхньої стрічки виконана відповідно більшою, ніж у звичайному випадку ($0,1t$ у разі підшипника діаметром 60мм), що уможливорює механічну обробку на токарному станку і шліфування внутрішнього діаметру. Отже, продуктивність і точність можна підвищити, і форму підшипника при нижчій частоті обертання можна підтримувати таким чином, щоб можна було зменшити фрикційне навантаження й у такий спосіб знизити його знос. Крім того, можна зменшити деформацію через високу температуру і таким чином зменшити ступінь охолодження. Тобто, товщина верхньої стрічки 1 виконана більшою, відповідно до рівняння,

$$t \geq 0,1 \cdot D^{0,33},$$

де t - товщина, мм; D - діаметр вала, мм, завдяки чому робочі характеристики і продуктивність підвищуються. Крім того, уможливорюється шліфування внутрішнього діаметру верхньої стрічки. Отже, у випадку використання сухої металевої змащувальної речовини цю змащувальну речовину напильють на внутрішній діаметр верхньої стрічки, використовуючи процес плазмового напильнення розплаву або схожий процес, і потім шліфують, вирішуючи при цьому проблему забезпечення високої адгезійної здатності сухої змащувальної речовини, і напильють на зовнішній діаметр вала, і потім шліфують. При цьому, щоб досягти високих робочих характеристик через виконання верхньої стрічки 1 з більшою товщиною, необхідно одночасно використовувати гофровану стрічку, що має високі характеристики у широкому діапазоні навантаження.

Гофровані стрічки 3, 4, що повинні використовуватися разом із верхньою стрічкою 1 більшої товщини, можуть рівномірно передавати навантаження на верхню стрічку 1 навіть у випадку, якщо її номер є низьким (її крок великий). Отже, високу внутрішню гофровану стрічку і низьку внутрішню гофровану стрічку поперемінно встановлюють таким чином, щоб зовнішня гофрована стрічка 4 розміщувалася лише під високою внутрішньою гофрованою стрічкою 3. Отже, він може мати ефект триступеневої зміни жорсткості, хоча використовується двошарова конструкція. При стисканні гофрованої стрічки жорсткість не змінюється лінійно. Тобто, її конструкція виконана такою, що жорсткість може змінюватися за рівнянням другої або третьої степені, завдяки чому забезпечується стійкість у широкому діапазоні частоти обертання.

Внутрішня гофрована стрічка 3 виконана поперемінно з вищої і нижчої стрічок. Отже, при стисканні верхньої стрічки жорсткість підвищується у дві ступені. При подальшому стисканні верхньої стрічки 1 стискається також і зовнішня гофрована стрічка 4, тобто жорсткість може підвищуватися у

триступеневому режимі. Висота зовнішньої гофрованої стрічки 4 подібна висоті нижчої стрічки внутрішньої гофрованої стрічки 4, і, відтак, для того щоб підвищити її жорсткість, товщину можна збільшити.

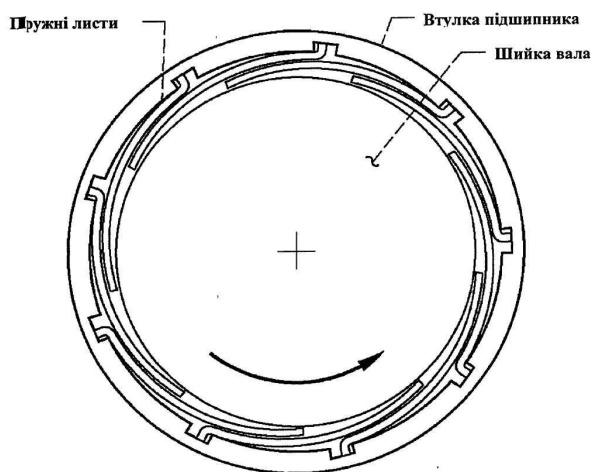
Як описано вище, жорсткість гофрованих стрічок 3 і 4 змінюється у три ступені з таким розрахунком, щоб можна було сприймати високе й низьке навантаження. Завдяки ефекту демпфування, викликуваного жорсткістю й триступеневою нелінійністю жорсткості, можна забезпечити стійкість і тим самим уможливити роботу при підкритичній частоті обертання. Зовнішня гофрована стрічка 4 розміщена у більшому кроці внутрішньої гофрованої стрічки 3, завдяки чому точність складання можна знизити, а кількість операцій для складання у зовнішній діаметр корпуса 6 можна зменшити, тим самим підвищуючи продуктивність. Оскільки верхня стрічка має велику товщину, її можна використовувати впритул до критичної температури, тим самим підвищуючи її ефективність. Оскільки жорсткість самої товстої стрічки виключає деформацію через високу температуру, охолодження не потрібне або потрібне в меншій мірі. Як наслідок, цей винахід усуває недоліки відомих технічних рішень, а саме те, що звичайний стрічковий підшипник є дорогий, його не можна масово виробляти і не можна легко застосовувати при високих температурах. З іншого боку, пропонований стрічковий підшипник можна широко використовувати у

машинах промислового та споживчого призначення.

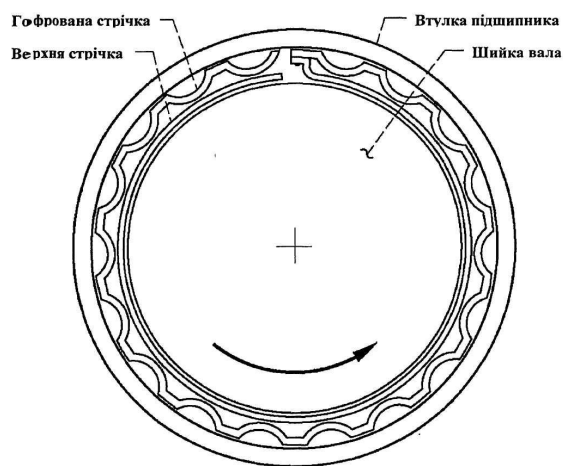
Ще одна перевага верхньої стрічки більшої товщини полягає у тому, що верхня стрічка сама може підтримувати свою форму, і, відтак, верхню стрічку й гофровану стрічку не потрібно приварювати безпосередньо до корпуса, що забезпечує спрощену конструкцію. Внутрішню гофровану стрічку 3 й зовнішню гофровану стрічку 4 просто точковим зварюванням приварюють до контактного листа 5, який потім потрібно лише вставити в корпус 6 разом із верхньою стрічкою 1. До верхньої стрічки 1 просто приварюють і кріплять шпонку 2, а корпус 6 має шпонковий паз 7, що запобігає обертанню. Отже, проблема, пов'язана із звичайним підшипником, а саме те, що всі його компоненти повинні приварюватися до внутрішнього діаметру корпуса 6, усунена, завдяки чому підвищується продуктивність.

Перевагою верхньої стрічки більшої товщини є те, що прикладається малий пусковий момент. Оскільки форма підшипника підтримується від пуску, через низьке тертя навантаження при пуску є малим, що продовжує термін служби підшипника.

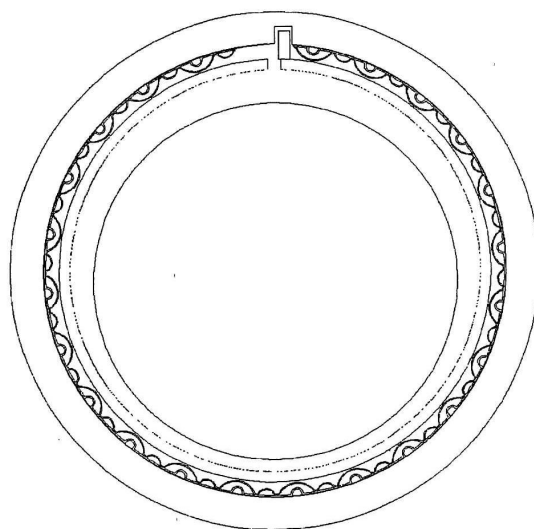
Хоча цей винахід був описаний з посиланням на конкретні ілюстративні варіанти здійснення, він не обмежується цими варіантами. Його обсяг визначено формулою винаходу. Ясно, що фахівці можуть внести зміни або модифікації у границях сутності і об'єму даного винаходу.



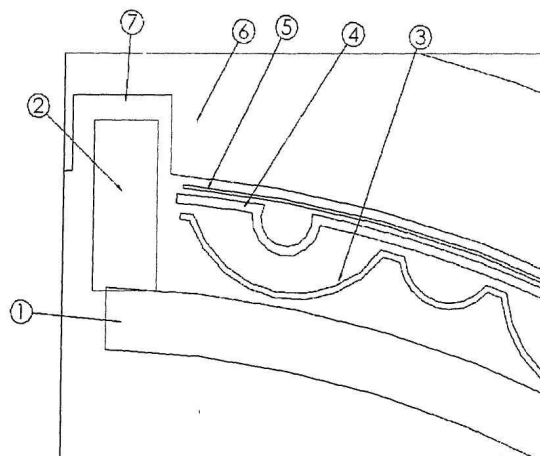
ФІГ. 1



ФІГ. 2



ФІГ. 3



ФІГ. 4