



УКРАЇНА

(19) UA (11) 16389 (13) U
(51) МПК (2006)
F16J 15/40

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) РЕВЕРСИВНЕ СУХЕ УЩІЛЬНЕННЯ

1

2

(21) u200512642

(22) 27.12.2005

(24) 15.08.2006

(46) 15.08.2006, Бюл. № 8, 2006 р.

(72) Бережний Іван Семенович

(73) ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДА-
ЛЬНІСТЮ "НАУКОВО-ВИРОБНИЧА КОМПАНІЯ
"АСУ ІНЖИНІРІНГ"(57) Реверсивне сухе ущільнення, що має корпус,
в якому встановлено два кільця, створюючі торце-
ву пару з робочою дроселюючою щільною, одне з
яких аксіально рухоме в корпусі і повернуте до
щілини гладкою поверхнею, а інше обертається
разом з ротором і на поверхні, що створює пару
тертя, крім замкненого кільцевого ущільнюваль-
ного пояса, має ділянку регулярного мікрорельєфу з

модулями різної геометрії, наприклад, відкритими
в порожнину ущільнювального середовища, рів-
номірно розміщеними по коловій периферії ділян-
ки і рівновіддаленими один від іншого сегментопо-
дібними заглибленнями чи клиноподібними
скосами сталої або змінної глибини, яке **відрізня-**
ється тим, що аксіально рухоме кільце перфоро-
вано системою вентиляційних каналів, орієтова-
них паралельно поздовжній центральній осі
симетрії кільця чи під кутом до неї, розміщених на
радіусах, більших за зовнішній радіус ущільнюва-
льного пояса, а число модулів мікрорельєфу та
кількість вентиляційних каналів кратні між собою,
при цьому вентиляційні канали розміщені еквідис-
тантно по коловій периферії аксіально рухомого
кільця.

Корисна модель стосується машинобудуван-
ня, зокрема створення надійних ущільнень для
газоперекачувальних агрегатів, задіяних на транс-
портуванні газу по магістральних газопроводах та
поповнення підземних сховищ вуглеводнів.

Відомі торцеві ущільнення, які створені двома
плоскими кільцями. одне з яких встановлено в
корпусі аксіально рухомим, а інше обертається з
ротором. На останньому, як правило, наносять
спеціальний мікрорельєф для створення розкли-
нювальної сили між кільцями і створення робочої
дроселюючої щілини, газопровідність якої визна-
чає ефект ущільнення. [Dry Gas Seals, Burgmann
Dichtingswerke, проспект, с.4-5].

Особливої ваги набувають реверсивні ущіль-
нення, які здатні до герметизації при обох нап-
рямах обертання ротора. Комерційна таємниця
фірм-виготовлювачів навколо таких ущільнень
ставить вітчизняне компресоробудування в умови
закупівлі запасних частин і пар тертя по імпорту з
великими втратами і стримує рівень компресорної
техніки.

Вважається, що рівень виробника газоперека-
чувального обладнання визначається здатністю
виготовлення надійних сухих реверсивних ущіль-
нень роторів компресорів. Для підземних сховищ
застосування агрегатів з такими ущільненнями є

безальтернативним з погляду на неможливість
попадання мастил в сховища з газом.

Для виготовлення реверсивних сухих ущіль-
нень аналогічних зарубіжним крім подолання їх
патентозахищеності існують інші труднощі, зокре-
ма відсутність та висока вартість лазерної техніки
для виготовлення мікрорельєфу, машин для прис-
кореного притирання плоских поверхонь, тощо.
Деякі вдалі спроби створення таких вузлів в Росії
та Україні орієнтовані на технологію електроеро-
зійного травлення, яка не забезпечує чистоту по-
верхні тертя, а значить має місце інтенсивне на-
грівання кілець, що приводить до зниження
надійності ущільнення.

Реверсивність ущільнення потребує специфі-
чного мікрорельєфу. Характерні Т-подібні канавки,
U-подібні скоси, дубльовані спіральні канавки ло-
гарифмічного профілю крім не технологічності
схильні до закоксовування домішками в газі, що
приводить до дебалансу пари і перекошування з
втратою ресурсу.

Авторами запропоновані оригінальні профілі
мікрорельєфу з очевидними перевагами над зару-
біжними. Зокрема, "Безконтактне торцеве ревер-
сивне ущільнення", позитивне рішення №11870/1
від 30.08.05 по заявці №u200505011, де надійно
забезпечується розклинювальна сила і самоочи-

(13) U

(11) 16389

(19) UA

шування модулів мікрорельєфу відкритих у порожнину ущільнюваного середовища, а наноситься він на кільце серійним обладнанням.

В подальшому вказане ущільнення використано як прототип. Практичні дослідження прототипу вказали на недосконалість, пов'язану з накопиченням теплової напруженості кілець пари при тандемному встановленні двох аналогічних ступенів підряд, як прийнято в газоперекачувальних агрегатах. На компресорах для надійного резерву встановлюють запобіжну другу ступінь на випадок аварійної відмови першої, щоб уникнути прориву газу в контейнер агрегату і масляні порожнини опор. При цьому, запобіжна ступінь працює без перепаду тиску, бо після першої (основної, робочої на весь перепад тиску) витік спалюють в атмосферу, так, що на вході слідуючої ступені тиск газу атмосферний, або трохи більший. Газостатична складова розклинюючої сили в таких умовах падає до нуля, пара погано розкривається.

Внаслідок цього, вказана ступінь нагрівається і накопичує термонапруженість, яка на значному часовому інтервалі стає недопустимою. Ця проблема характерна і для зарубіжних конструкцій, бо зумовлена недосконалим схемним рішенням всього вузла. Англійська фірма "Джон Крейн", зокрема, завідома збільшує витік через першу ступінь для конвективного охолодження другої ступені, однак такі втрати газу, з точки зору авторів, невиправдані. Німецька фірма "Бургманн" замінила другу ступінь плаваючими кільцями з самогенеруючим механізмом безконтактної роботи по аналогії з підшипником.

Але консерватизм замовників компресорного обладнання, обмежений досвід експлуатації сухих ущільнень та потреба в реконструюванні діючих агрегатів змушують шукати прогресивні рішення в межах прийнятих конструктивних схем.

Крім того існує проблема сухого пуску, коли пара розкривається, наприклад, при 2,0МПа, а запуск ротора здійснюють при значно меншому тискові. Аналогічно при зупинці компресора, коли вибіг триває близько 80...90сек., а падіння тиску живильного газу здійснюється швидше. Це може привести до термоудару в парах тертя з причин відсутності газового мащення і охолодження витоком.

Очевидна нагальна потреба в додатковому "прокачуванні" - вентиляції газом пари тертя як при пускові, так і при номінальній роботі ущільнення.

З цією метою, переслідуючи ціль підвищення надійності сухого ущільнення, пропонується реверсивне сухе ущільнення, що має корпус, в якому встановлено два кільця створюючі щілину, одне з яких аксіальне рухоме і повернуте до щілини гладкою поверхнею, а інше обертається разом з ротором і на поверхні, що створює пару тертя крім замкнутого кільцевого ущільнювального пояса має участок регулярного мікрорельєфу створений модулями різної геометрії, наприклад, відкритими в порожнину ущільнювального середовища, рівномірно розміщеними по коловій периферії участка і рівновіддаленими один від одного сегментоподібними заглибленнями чи клиновими скосами сталої

або змінної глибини, яке відрізняється тим, що аксіальне рухоме кільце перфоровано системою вентиляційних каналів, орієнтованих паралельно поздовжній осі симетрії кільця чи під кутом до неї, розміщених на радіусах більших за зовнішній радіус ущільнювального пояса, а число модулів мікрорельєфу та кількість вентиляційних каналів кратні між собою, при цьому, вентиляційні канали розташовані еквідистантно по коловій периферії аксіального рухомого кільця.

Суттєвими ознаками, що забезпечують досягнення технічного результату - підвищення надійності у порівнянні з аналогом і прототипом є:

- наявність системи вентиляційних каналів орієнтованих паралельно поздовжній осі симетрії кільця, чи під кутом до неї, розташованих еквідистантно по коловій його периферії;
- розміщення вентиляційних каналів на радіусах більших за зовнішній радіус ущільнювального пояса;
- кратність числа модулів мікрорельєфу та вентиляційних каналів.

Зазначені ознаки є новими, технічно здійснюваними і мають винахідницький рівень, тобто забезпечують ущільненню якісно новий рівень - підвищення надійності, іншими словами, відповідають критеріям патентоздатності, являються необхідними та достатніми для вирішення завдання, назначеного формулою.

Наявність вентиляційних каналів на аксіальне рухоме кільце забезпечує охолодження пари тертя. Навіть без перепаду тиску модулі мікрорельєфу, проходячи проти каналів, відкриваючи та закриваючи їх послідовно підсмоктують газ через тіло аксіального кільця, здійснюючи відповідну циркуляцію, що зумовлює стабілізацію теплового стану пари.

З ростом перепаду тиску ефект підсилюється. Регулярне розташування вентиляційних каналів по коловій периферії визначає рівномірний тепловий стан ущільнення.

Радіальне положення вентиляційних каналів має визначальне значення. Вони повинні періодично впорскувати газ в модулі мікрорельєфу при обертанні ротора, тобто радіуси, на яких розміщені канали повинні перевищувати зовнішній радіус пояса. Існує оптимальне значення радіусів (точки впорскування в модулі мікрорельєфу). З різних причин в сухі ущільнення може потрапляти масло з контейнера підшипників, або конденсат з технічного неочищеного газу. Це спостерігається за наявністю крапель в ротаметрах, що вимірюють витік. Впорскування газу через вентиляційні канали примусово очищають мікрорельєф від масла, що підвищує надійність пари, запобігаючи насиченню ним графітових поверхонь аксіального рухомого кільця.

Таке імпульсне живлення пари крім ефективного промивання мікрорельєфу газом додатково підсилює складову розклинювальної сили, одночасно слугуючи і джерелом сталого живлення газодинамічного клину в парі, запобігаючи сухому тертю.

Кратність каналів та модулів запобігає перекошуванню пари, бо модулі або живляться через

канал, або вони закриті. В динаміці розклинаюча сила стає "вібраційною". Відомо, що при накладанні на пару тертя вібраційного збудження різко падає коефіцієнт тертя, так що дисипативні втрати зменшуються, а це сприяє підвищенню надійності.

При запуску агрегату в ущільнення гарантовано подається газове мащення, внаслідок чого сухий пуск стає неможливим.

Таким чином, завдяки наявності вентиляційних каналів забезпечується підвищення надійності шляхом оптимізації і теплової напруженості пари тертя і імпульсивного живлення елементів мікрорельєфу.

Характерно, що при випробуваннях повністю зібране ущільнення забезпечує легке обертання ротора "від руки", що в інших конструкціях не спостерігалось.

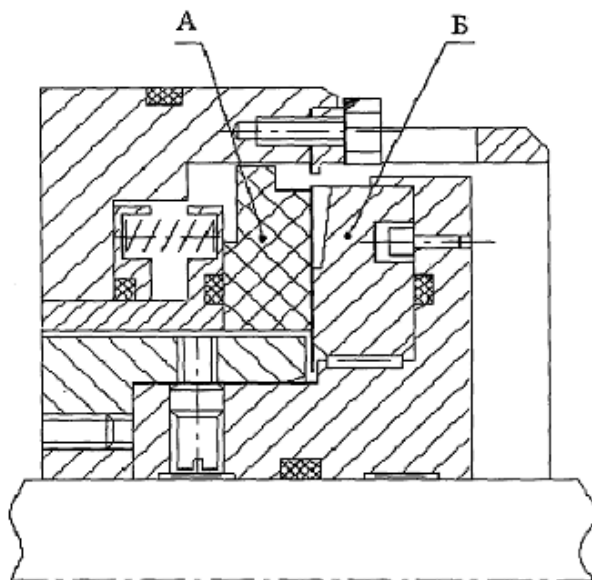
Ясно, що наявність вентиляційних каналів де-що збільшує витік газу, але корисно навести такі дані: в установленому режимі пропонуване ущільнення дає витік 20-40 нл/хв., а імпортоване реверсивне ущільнення фірми "Джон Крейн" близько 120 нл/хв. Такою "підвищеною втратою" компенсують збиткове нагрівання другої ступені. При вартості газу 150\$ за 1000 м³ ми забезпечуємо значну економію.

На фіг.1 показана схема ущільнення (вентиляційні канали не показані). На фіг.2 і фіг.3 показані

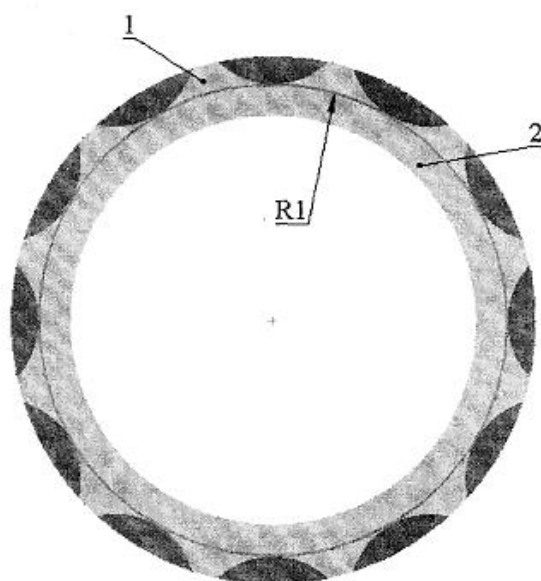
кільце, що обертається з мікрорельєфом на ділянці 1 та ущільнювальним пояском 2 і аксіально-рухоме кільце з системою вентиляційних каналів 3.

Ущільнення працює так. В стані монтажу кільця А та Б (фіг.1) притиснуті одне до іншого. Якщо канали перекриваються гладкою поверхнею участка мікрорельєфу - пара герметична. Якщо канали встановлені напроти модулів - іде малий витік газу. Як тільки починає обертатись ротор, здійснюється імпульсне перекачування газу через тіло кільця, що охолоджує його, очищає мікрорельєф і заодно живить пару газовим змащенням. Пара починає розкриватись і виходить на стаціонарний режим роботи. З ростом частоти обертання на аксіальне рухоме кільце "накладається вібрація", що зменшує коефіцієнт тертя і дисипативні втрати у парі. Встановлюється стаціонарне теплове поле пари і стабільний витік газу. Такий механізм роботи ущільнення реалізується за умови $R_2 > R_1$, причому R_2 , як і діаметри вентиляційних каналів, мають оптимальні значення для конкретних конструкцій.

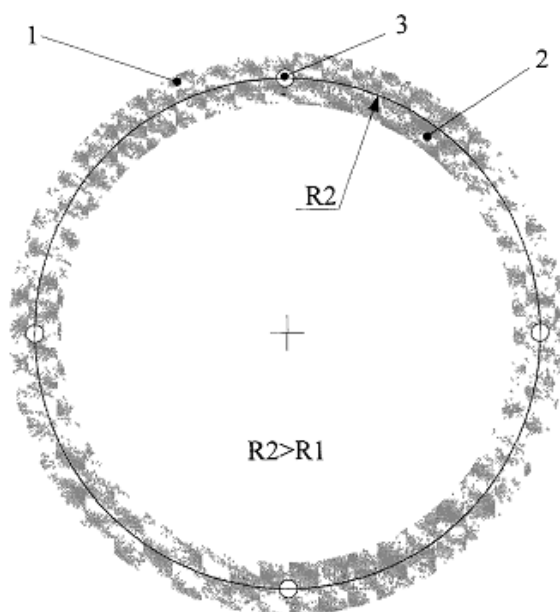
При вибігові ротора на зупинку живлення не припиняється, що запобігає термоударам від можливого сухого тертя.



Фіг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3