

Корисна модель відноситься до області машинобудування, а саме до створення засобів ущільнення насосів, компресорів, центрифуг та інших машин. Відомі торцеві ущільнення, утворені двома кільцями, одне з яких обертається разом з валом, а інше встановлене в корпусі з можливістю аксіального переміщення (Лучин Г.А., Пешти Ю.И., Снопов А.И. Газовые опоры. М.: Машиностроение, 1989. 240с.).

Для підвищення розклинюючої сили, яка створює дроселюючу щілину, на одному з кілець наносять відповідний мікрорельєф у вигляді ступенів Релея, кишень, канавок різного профілю, протяжності і глибини.

Головна проблема при створенні таких вузлів полягає в забезпеченні точності виготовлення пар тертя, зокрема, точності виготовлення рельєфу на твердих поверхнях, наприклад, з карбиду вольфраму, карбиду кремнію і т.п. Мікрорельєф з погіршеннями виконання в частки мікронів, низький клас чистоти стінок канавок, кишень та ін. неминує призводить до різної їх напірності при обертанні ротора і перекоосу пари тертя, внаслідок чого виникають передумови для нерівномірного прогрівання ущільнення, що, кінець кінцем, приводить до термічних ударів, "схоплювання", місцевого зносу і виходу вузла з ладу. Складний, наприклад, логарифмічний профіль спіральних канавок ущільнень фірми "John Crane" їх мала глибина (3-8мкм) характеризують процес виготовлення вкрай нетехнологічним і трудомістким а, отже, і не точним, оскільки канавки виконують або хімічним травленням, або електроерозійним способом, або лазерним променем. Важко забезпечити чистоту „донних площин” канавок. Велика шорсткість викликає зайві дискові витрати і нагрівання змащувальних плівок газу до високої температури. Корисно підвищувати класи чистоти обробки, але це зробити дуже проблематично. Спеціалізована складна установка по нанесенню профілю на твердих сплавах ВК, наприклад, в інституті машинознавства РАН (Росія), спроможна обробити лише 4 кільця за 9 годин безперервної роботи, що визначає велику собівартість і низьку технологічність ущільнень.

Найближчим до технічного рішення, що заявляється, по конструктивних ознаках і технічному результаті, що досягається, є реверсивне торцеве ущільнення фірми "Burgmann Industries GmbH&Co.RG" (Burgmann Industries GmbH&Co.RG. Каталог конструкций 15.1. Уплотнения, смазываемые газом. С.55-67), що включає корпус, в якому встановлено два ущільнюючих кільця, обернених одне до одного поверхнями, утворюючими дроселюючий зазор, причому одне з кілець встановлене в корпусі з можливістю аксіального переміщення і обернене до дроселюючого зазору гладкою поверхнею, а інше кільце встановлене з можливістю обертання з ротором і обернене до дроселюючого зазору поверхнею, на якій, окрім замкнутого ущільнюючого гладкого кільцевого пояса, є ділянка регулярного мікрорельєфу, що примикає до порожнини ущільнювального тиску. Дане ущільнення характеризується U-подібними камерами в парі тертя, які сполучаються з порожниною ущільнювального середовища через паз. Профіль кожної камери дифузійний, тобто по ходу витоку глибина камер зростає.

Відомо, що в дифузійних щілинах епюра тиску середовища носить увігнуту форму, а в конфузійних, де глибина каналу зменшується по ходу потоку - опуклу (Марцинковский В.А. Гидродинамика дросселирующих каналов. Изд. СумГУ, 2002. С.91, рис.2.14). Отже, конфузійність - засіб збільшення розклинюючої сили в парі між кільцями ущільнення. Наявність дифузійності в щілині ущільнення, яке взяте за прототип, стимулює втрату динамічної стійкості вузла. Цей відомий факт неодноразово перевірений на практиці не тільки в парах торцевих ущільнень, але і в гідроп'ятах, під'ятниках, щілинних і лабиринтових ущільненнях, золотникових парах в різних середовищах.

Таким чином, при створенні прецизійних пар тертя, якими є безконтактні торцеві ущільнення, слід всіляко уникати утворення дифузійності зазору, як місцевої, так і загальної, внаслідок, наприклад, деформації.

U-подібні ущільнення мають низьку напірність канавок і всі заходи по підвищенню їх розклинюючої сили завжди доцільні. Причина низької напірності якраз і криється в "місцевій" дифузійності зазору торцевої пари (Ден Г.Н. Термогазодинамика сухих торцовых газовых уплотнений роторов турбомашин. Владивосток. 2003. С.230, рис.5.2а, с.256).

Крім того, відомо, що U-подібний профіль камер фірми "Burgmann" складний у виготовленні і нетехнологічний. Він наноситься гравіювальним алмазним каменем в декілька прийомів з переналагодженням інструменту, що позначається на точності профілю, а отже, на якості вузла. Технічна задача підвищення технологічності ущільнення може бути вирішена за рахунок створення такої конструкції регулярного профілю, яка могла б бути виконана за умови установки лезового або шліфувального інструменту за один прийом.

Таким чином, технічна задача, на вирішення якої спрямована дана корисна модель, полягає в підвищенні надійності і технологічності виготовлення торцевого ущільнення.

Поставлена технічна задача вирішується за рахунок створення конструкції реверсивного ущільнення, що включає, як і відомі, корпус, в якому розміщено два ущільнюючих кільця, обернених одне до одного поверхнями, утворюючими дроселюючий зазор, причому одне з кілець встановлене в корпусі з можливістю аксіального переміщення і обернене до дроселюючого зазору гладкою поверхнею, а інше кільце встановлено з можливістю обертання з ротором і обернене до дроселюючого зазору поверхнею, на якій, окрім замкнутого ущільнюючого гладкого кільцевого пояса, є ділянка регулярного мікрорельєфу, що примикає до порожнини ущільнювального тиску, але в якому, на відміну від аналогів і прототипу, мікрорельєф виконаний у вигляді рівномірно розподілених по окружній периферії ділянки і рівновіддалених один від одного тригранних клиноподібних скосів змінної глибини, безперервно зменшуваної в межах ділянки по ходу витоку ущільнювального середовища. При цьому контури, утворені сполученнями поверхонь, що формують конфігурацію клиноподібних скосів, або не зв'язані між собою, або зв'язані лише в точках по зовнішньому діаметру кільця, що обертається, а ділянка мікрорельєфу і гладкий ущільнюючий пояс виконані або на одній, або на обох протилежних поверхнях вказаного кільця. Крім того, профіль скосу має форму або усіченого, або не усіченого клина.

Істотними ознаками, що забезпечують досягнення технічного результату, що полягає в підвищенні надійності і технологічності ущільнень, в порівнянні з аналогами і прототипом, є:

- виконання мікрорельєфу у вигляді рівномірно розподілених по окружній периферії ділянки і рівновіддалених один від одного тригранних клиноподібних скосів змінної глибини, безперервно зменшуваної в межах ділянки по ходу витоку ущільнювального середовища, при цьому:

- контури, утворені сполученнями поверхонь, що формують конфігурацію клиноподібних скосів, або не зв'язані між собою, або зв'язані лише в точках по зовнішньому діаметру кільця, що обертається;
- ділянка мікрорельєфу і гладкий ущільнюючий пояс виконані або на одній, або на обох протилежних поверхнях вказаного кільця;
- профіль скосу має форму або усіченого, або не усіченого клина.

Перераховані істотні ознаки є новими, технічно здійсненними і мають винахідницький рівень, тобто виводять пристрій на якісно новий рівень технічного результату, що виражається підвищенням надійності і технологічності ущільнень і тим самим виробу в цілому. Іншими словами, відповідають критеріям патентоспроможності, є необхідними і достатніми для вирішення поставленої технічної задачі.

Наявність клиноподібних скосів передбачуваного профілю забезпечує підвищення розклинюючої сили в дроселюючій щілині за рахунок протікання газу (рідини) через конфузорну щілину, де епюра тиску істотно повніша ніж в плоскій щілині (і, тим більш, в дифузорній) і носить опуклу форму. В цьому полягає одна з принципових відмінностей від прототипу. Загальна величина розклинюючої сили $F = F_s + F_g$ має статичну і динамічну компоненти. Клиноподібний (конфузорний) профіль збільшує F_s за рахунок ефекту статичного дроселювання середовища, формуючи відповідний профіль швидкості газу (рідини). Чергування клиноподібних скосів з ділянками гладкої поверхні, що розділяє скоси між собою по окружній периферії ділянки мікрорельєфу, забезпечує підвищення динамічної компоненти F_g при обертанні ротора за рахунок трансформації швидкості окружного протікання середовища.

Конфузорний профіль мікрорельєфу і його розклинююча сила детально описані на прикладі підп'ятника з окружною течією Куєтта без течії Пуазейля і може служити аргументуванням перспективності запропонованого рішення (Константинеску В.Н. Газовая смазка, М.: Машиностроение, 1968. С.370, рис.192).

Наявність строго симетричного мікрорельєфу в пропонованій конструкції ущільнення породжує рівномірне прогрівання і рівномірну мікрохвильову термонапружену деформацію на ділянці, що можна розглядати як додаткове джерело несучої спроможності пари. В конфігураціях сухих ущільнень фірм "John Crane" або "Burgmann" такий ефект відсутній, оскільки канавки мають нерівномірну клиноподібну форму в тангенціальному напрямі і теплові градієнти менш виражені.

Подібний принцип утворення розклинюючої сили широко використовують, наприклад, фірми "Sunstrend", "Rasific" та інші шляхом свердлення симетрично розташованих отворів в тілі кільця, нанесення каліброваних прорізів або канавок. Підвищення несучої спроможності термонапруженим способом, про який мовилося вище, практично нереалізоване в тих випадках, коли йдеться про прецизійну обробку твердих сплавів, з яких виготовляються кільця ущільнень для компресорів.

Признак, що характеризується наявністю, щонайменше, трьох граней клиноподібного скосу має принципове значення.

В межах окремого сектора, між поверхнею одного кільця, утвореною клиноподібним скосом і наступною за ним гладкою ділянкою (незалежно від напрямку обертання), і поверхнею відповідного кільця пари тертя, утворюється зазор ступінчатого профілю, наявність ступеню приводить до генерації додаткової несучої спроможності, обумовленої характерним наповненням епюри тиску по аналогії з рівномірно зменшуваним конфузорним зазором, але більш інтенсивним.

Таким чином, наявність, по меншій мірі, тригранного клина - необхідна умова утворення високої несучої спроможності при реверсійному обертанні, а усіченість клину забезпечує аналогічний ефект.

Наявність сполучених між собою або не сполучених скосів вирішальним чином впливає на напруженість пари. При сполучених між собою скосах напруженість пари - більша, витoki - менші і навпаки, якщо скоси сполучені між собою, то переважна площа поверхні ділянки мікрорельєфу покрита скосами і, як результат, тепловиділення від в'язкого тертя менше, нагрудка пари - нижча, витік - більший, що визначає надійність вузла, запобігаючи „схоплюванню” у парі тертя і тепловим ударами при використанні високов'язкого робочого середовища.

Таким чином, для середовищ з високою в'язкістю віддається перевага конструкції ущільнень зі зв'язаними скосами, в інших випадках - з незв'язаними. Аналогічну доцільність має профіль зазору (усічений або не усічений) по ходу витoku середовища.

Виконання ділянки мікрорельєфу і гладкого ущільнюючого пояса або на одній, або на обох протилежних поверхнях кільця дозволяє подвоїти ресурс роботи ущільнення, оскільки обертання кільця протилежною стороною до дроселюючого зазору ущільнення також забезпечує його працездатність.

Технологічність пропонованої конструкції підтверджена тим, що нанесення профілів проводиться лезовим або шліфувальним інструментом, наприклад, алмазним кругом необхідного діаметра або алмазними фрезами одноразовою їх установкою. Точність обробки забезпечується в межах точності операцій плоского шліфування.

Далі наведено приклад здійснення корисної моделі з посиланнями на малюнки, де:

На фіг.1 дане схематичне зображення ущільнення відповідно до корисної моделі.

На фіг.2 представлений клиноподібний не усічений скіс і його розташування на ділянці мікрорельєфу для вузла з течією від периферії до центру.

На фіг.3 представлений клиноподібний усічений скіс і його розташування на ділянці мікрорельєфу для вузла з течією від периферії до центру.

На фіг.4 представлені незв'язані клиноподібні скоси.

На фіг.5 представлені зв'язані клиноподібні усічені скоси.

На фіг.6 представлено аксонометричне зображення мікрорельєфу на обох протилежних поверхнях кільця.

На фіг.7. представлено аксонометричне зображення мікрорельєфу на одній з поверхонь кільця.

На фіг.8 представлено графік залежності витрат від ущільнювального тиску.

На фіг.9 представлено графік залежності температури від ущільнювального тиску.

Реверсивне торцеве ущільнення, фіг.1, включає корпус, в якому встановлено два ущільнюючих кільця 1, 2, обернених одне до одного поверхнями, утворюючими дроселюючий зазор, кільце 1 встановлене в корпусі з можливістю аксіального переміщення і обернене до дроселюючого зазору гладкою поверхнею, кільце 2 встановлене з можливістю обертання з ротором і обернено до дроселюючого зазору поверхнею, на якій, є замкнутий ущільнювальний гладкий кільцевий пояс і ділянка регулярного мікрорельєфу, примикаючий до порожнини ущільнювального тиску. Мікрорельєф, фіг.2, 3, 4, 5, виконаний у вигляді рівномірно розподілених по окружній периферії ділянки і рівновіддалених один від одного щонайменше тригранних клиноподібних скосів змінної глибини, безперервно зменшуваної в межах ділянки по ходу витoku ущільнювального середовища. Контури, утворені сполученнями поверхонь, що формують конфігурацію клиноподібних скосів, або не зв'язані між собою, фіг.4, або зв'язані, фіг.5, лише в точках по зовнішньому діаметру кільця, що обертається, а ділянка мікрорельєфу і гладкий ущільнюючий пояс виконані або на одній, фіг.7, або на обох, фіг.6, протилежних поверхнях вказаного кільця. Профіль скосу може мати форму або усіченого, фіг.3, або не усіченого, фіг.2, клина

по ходу виток середовища.

Ущільнення працює таким чином.

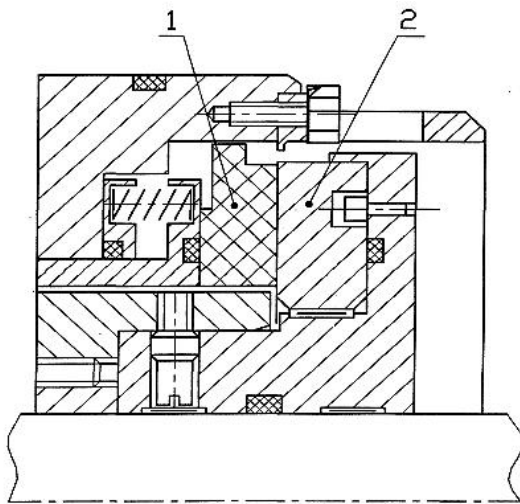
В початковому стані кільця 1 і 2, фіг.1, пари притиснуті одне до одного. Із зростанням ущільнювального перепаду тиску за рахунок "продавлювання" середовища в радіальному напрямі через конфузорну щілину між кільцями питомий тиск в контактній парі на гладкому кільцевому пояску поступово знижується до нуля. Аксіально-рухоме кільце врівноважується до необхідного рівня під дією сили F_s . Контакт між кільцями зникає. Утворюється мінімальний зазор в парі. Стендові випробування конкретного вузла показали, що цей механізм стійко реалізується при тиску 2,3-2,4 МПа.

З початком обертання починає рости додаткова складова F_g , причому чергування схосу з гладкою поверхнею утворює ступінь в окружному напрямі, тим самим різко підвищуючи силу F_g . При деякій (розрахунковій) частоті обертання кільце 1 відходить від кільця 2 і ущільнення працює в безконтактному режимі. З пониження частоти обертання - механізм зворотний. Сила F_g знижується, кільце 1 наближається до кільця 2, виток зменшується. Проектується ущільнення так, щоб контактний режим припинявся при низькій частоті обертання, або заданому статичному тиску. Кращі зарубіжні зразки таких вузлів стають безконтактними при окружній швидкості $V=0,6...0,8$ м/с.

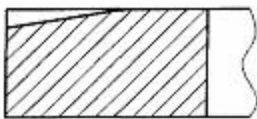
Ущільнення, в якому забезпечений безконтактний режим при пуску, в 99,9% випадків надійно експлуатується тривалий час (більше 5 років), оскільки запобігає "дитячій смертності" пари, тобто відмові пари в перехідному режимі (Саксена М.Н. Сухие газовые уплотнения и поддерживающие системы // Нефтегазовые технологии. 2004. №3. С.55-59).

На фіг.8 і 9 представлено графіки залежності витрат і температури від ущільнювального тиску. На графіках заповненими маркерами позначені результати випробувань штатного ущільнення "John Crane", а незаповненими маркерами позначено результати випробувань пропонованого реверсивного ущільнення.

Як видно з графіків зміни температури і витрат, вузол ущільнення працездатний при різних тисках і частотах обертання ротору.



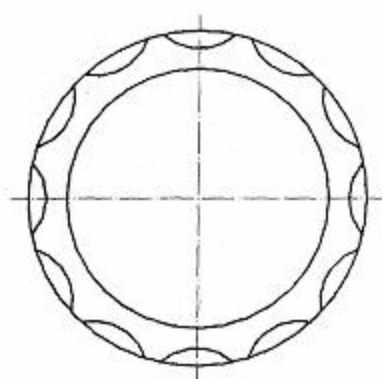
Фіг. 1



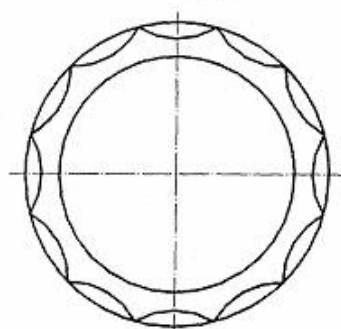
Фіг. 2



Фіг. 3



Φir. 4



Φir. 5

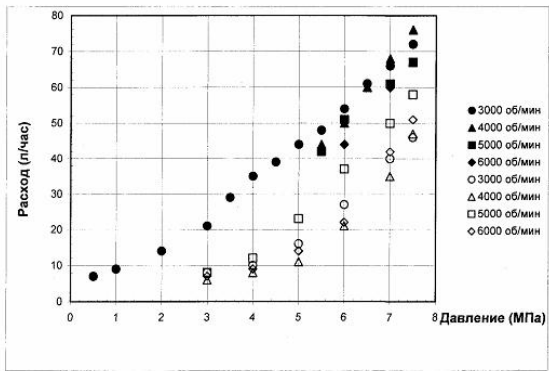


Φir. 6



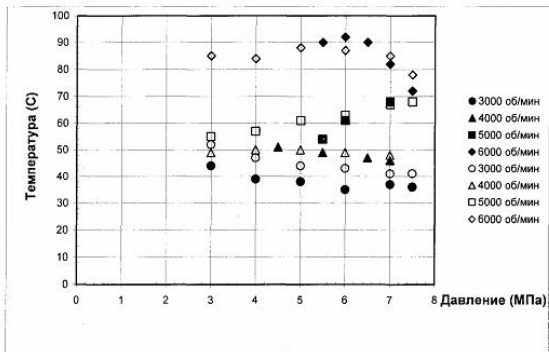
Φir. 7

Графік залежності витрат від ущільнювального тиску



Фиг. 8

Графік залежності температури від ущільнювального тиску



Фиг. 9