

Цей винахід стосується ущільнення валу для обертових валів в турбомашин, зокрема (але не виключно) безконтактних ущільнень валів.

Цей тип ущільнення валу часто використовується в газонасосному обладнанні (для перекачування азоту, аргону, водню, природного газу, повітря та ін.), де необхідно відвернути проникнення газу у напрямі вздовж валу. Зважаючи на те, що обладнання, яке звичайно використовується, є високошвидкісним, обладнанням високого тиску, ущільнення валів можуть бути ущільненнями безконтактного типу, що зменшує теплоутворення в ущільненнях та знос прокладок.

Безконтактне функціонування дозволяє уникнути такого небажаного стикового контакту, коли вал обертається зі швидкістю, що перевищує певну мінімальну швидкість, яку часто називають швидкістю відриву.

Безконтактні ущільнення валів мають ряд переваг порівняно з ущільненнями, де ущільнювальні поверхні торкаються одна одної, зважаючи на зменшення зносу та зниження тепловиділення. У статтях "Fundamentals of Spiral Groove Non-contacting Face Seals" Gabriel, Ralph P. (Journal of American Society of Lubrication Engineers Volume 35, 7, pages 367-375, та "Improved Performance of Film-Riding Gas Seals Through Enhancement of Hydrodynamic Effects" Sedy, Joseph (Transactions of the American Society of Lubrication Engineers, Volume 23, 1 pages 35-44) описується технологія виготовлення та критерії проектування безконтактного ущільнення, і зазначені статті включено сюди посиланням.

Подібно до звичайних механічних ущільнень, безконтактне торцеве ущільнення складається з двох ущільнювальних кілець, кожне з яких має високопрецизійно відшліфовану ущільнювальну поверхню.

Ці поверхні мають конусоподібну форму, перпендикулярні до осі обертання та концентричні з нею. Обидва кільця розташовані суміжно одне до одного, а ущільнювальні поверхні контактують за умов нульової різниці тиску та нульової швидкості обертання. Одне з кілець, як правило, є прикріпленим до обертового валу за допомогою муфти валу, інше розташоване всередині конструкції корпусу ущільнення та може переміщатися в осьовому напрямі. Щоб зробити можливим осьове переміщення ущільнювального кільця, але й запобігти витіканню газу, що його ущільнюють, між кільцем та корпусом розташовують ущільнювальний елемент. Цей ущільнювальний елемент має забезпечувати деяке ковзання, перебуваючи під тиском, тому для цього як правило використовують О-подібне ущільнювальне кільце вищої якості. Це О-подібне ущільнювальне кільце часто називають вторинним ущільненням.

Як вказувалося вище, для досягнення безконтактного функціонування ущільнення, одна з двох ущільнювальних поверхонь, що торкаються одна одної, має неглибокі заглиблення, які створюють поля тиску, що розсовують дві ущільнювальні поверхні. Коли величина сил, що виникають з цих полів тиску, стає достатньо великою, щоб подолати дію сил, які прагнуть утримати ущільнювальні поверхні у зіткненні, ущільнювальні поверхні розходяться, та виникає зазор, що веде до безконтактного функціонування. Як докладно пояснюється у статтях, на які посилалося вище, природа сил, які розділяють, така, що їх величина зменшується із збільшенням віддалення поверхонь. Протидіючі сили або сили, що змикають, з іншого боку, залежать від рівня тиску, що його ущільнюють, та, як такі, не залежать від віддалення поверхонь. Вони виникають з тиску, що його ущільнюють, та сили стиснення пружини, яка діє на тильну поверхню ущільнювального кільця, що може переміщуватись в осьовому напрямі. Оскільки сила, що розділяє або розмикає, залежить від відстані, на яку розходяться ущільнювальні поверхні, при роботі ущільнення або при прикладенні достатньої різниці тисків рівноважне розділення встановиться саме собою. Це відбувається, коли сила, що змикає та розмикає, перебувають у рівновазі та дорівнюють одна одній. Рівноважне розділення постійно змінюється всередині діапазону зазорів. Мета полягає в тому, щоб нижня межа в цьому діапазоні була близько нуля. Інша мета полягає в тому, щоб зробити цей діапазон якомога вузьким, бо на верхній границі розділення поверхонь призведе до підвищеної негерметичності ущільнення. Оскільки безконтактні ущільнення функціонують, за визначенням, із зазором між ущільнювальними поверхнями, їх негерметичність буде більшою порівняно з контактними ущільненнями аналогічної форми. Однак, відсутність контакту означає нульовий знос ущільнювальних поверхонь і, отже, відносно малу кількість тепловиділення між ними. Саме це низьке тепловиділення та відсутність зносу дозволяє застосовувати безконтактні ущільнення у високошвидкісному турбообладнанні, де у ролі середовища, що його ущільнюють, виступає газ. Турбокомпресори використовуються для його стиснення, і оскільки газ має відносно малу масу, це обладнання, як правило, працює на дуже високих швидкостях та з рядом послідовних стадій стиснення.

Як пояснено в названих вище статтях, ефективність ущільнення значною мірою залежить від так званого балансного діаметру ущільнення. Це також стосується і контактних ущільнень.

Коли тиск прикладено з зовнішнього діаметру ущільнення, зменшення балансного діаметру веде до виникнення більшої сили, що притискає дві ущільнювальні поверхні одна до одної та, таким чином, меншого зазору між поверхнями. Отже, менше газу просочується з системи.

Під час звичайного робочого періоду відбувається пуск турбокомпресора, та силова установка забезпечує початок обертання валу. На початковій стадії роботи - стадії прогріву - швидкості обертання валів можуть бути вельми низькими. Як правило, для підтримки валу в його двох радіальних та одному упорному підшипнику використовується масло. Масло нагрівається в масляних насосах, а також поглинає теплоту, що виділяється в підшипниках компресора. Масло разом з турбулентністю та стисненням робочого газу, в свою чергу, нагріває компресор. По досягненні повної робочої швидкості компресор досягає з плином часу певної підвищеної рівноважної температури. При вимиканні обертання валу припиняється, та компресор починає холонути. В цій ситуації різні компоненти компресора охолоджуються з різною швидкістю і, що важливо, вал стискається температурою, що знижується, зі швидкістю, іншою ніж корпус компресора. Попередні здійснення вторинного ущільнення можна знайти, наприклад, в Патентах США №4,768,790; 5,058,905 або 5,071,141. Для позначення цього явища в цій галузі техніки часто використовується термін "зависання ущільнювальної поверхні". При повторному пуску компресора часто спостерігається дуже великий витік робочого газу, та в цій ситуації ущільнення опирається всім спробам знов досягти його герметизації. В цьому випадку ущільнення повинно бути усунене та замінено при значних витратах часу та втратах через припинення виробництва.

В US 5,370,403 та EP-A-0,519,586 описуються методи послаблення зависання ущільнювальної поверхні,

що полягають у спробах запобігти переміщенню вторинного ущільнення.

Найбільш близьким до пропонованого винаходу за технічною суттю є, ущільнювальний вузол, який включає ущільнювальний елемент, обертову ущільнювальну частину, встановлену коаксіально з ущільнювальним елементом і яка утворює з ним ущільнення між протилежними поверхнями ущільнювального елемента і обертової ущільнювальної частини, штовхаючу муфту, яка розташована між корпусом і ущільнювальним елементом і проходить коаксіально і знаходиться у контакті з ущільнювальним елементом, додаткову муфту, що розміщена між штовхаючою муфтою і корпусом і проходить коаксіально з штовхаючою муфтою, пружинний засіб, який забезпечує переміщення ущільнювального елемента аксіально до обертової ущільнювальної частини [Патент 3972536 США від 03.08.1976, МПК2 F16J15/34].

Недолік описаного ущільнювального вузла полягає у його недостатній надійності, зокрема при динамічних перехідних процесах, а також під час підвищення/зменшення тиску та у стані спокою через так зване "зависання ущільнювальної поверхні".

У основу пропонованого винаходу поставлено задачу створення такого ущільнювального вузла, який би дозволив покращити характеристики ущільнення валу при його роботі в режимі динамічних перехідних процесів, а також під час підвищення/зменшення тиску та у стані спокою за рахунок створення умов для зменшення ймовірності "зависання ущільнювальної поверхні".

Відповідно до цього винаходу запропоновано ущільнювальний вузол, який, як і відомий, включає ущільнювальний елемент, обертову ущільнювальну частину, встановлену коаксіально з ущільнювальним елементом і яка утворює з ним ущільнення між протилежними поверхнями ущільнювального елемента і обертової ущільнювальної частини, штовхаючу муфту, яка розташована між корпусом і ущільнювальним елементом і проходить коаксіально і знаходиться у контакті з ущільнювальним елементом, додаткову муфту, що розміщена між штовхаючою муфтою і корпусом і проходить коаксіально з штовхаючою муфтою, пружинний засіб, який забезпечує переміщення ущільнювального елемента аксіально до обертової ущільнювальної частини, а, відповідно до винаходу, перший ущільнювальний елемент розташований між штовхаючою муфтою і корпусом для забезпечення ущільнення між ними, і другий ущільнювальний елемент розташований між штовхаючою муфтою і ущільнювальним елементом для забезпечення ущільнення між ними.

Особливістю пропонованого пристрою є і те, що пружинний засіб, який забезпечує переміщення ущільнювального елемента і відповідно штовхаючої муфти до обертової ущільнювальної частини, розташовано між корпусом і штовхаючою муфтою.

Особливістю пропонованого пристрою є і те, що перший ущільнювальний елемент розташований у каналі штовхаючої муфти і входить у зачеплення з відповідною поверхнею корпусу.

Особливістю пропонованого пристрою є і те, що додатково включає опорне кільце, виконане в каналі для забезпечення додаткового ущільнення.

Особливістю пропонованого пристрою є і те, що другий ущільнювальний елемент розташований в каналі штовхаючої муфти і входить у зачеплення з відповідною поверхнею ущільнювального елемента.

Особливістю пропонованого пристрою є і те, що штовхаюча муфта містить циліндричну частину, що аксіально проходить, і кільцевий фланець, що радіально проходить від циліндричної частини.

Особливістю пропонованого пристрою є і те, що перший ущільнювальний елемент проходить між циліндричною частиною штовхаючої муфти і корпусом, і третій ущільнювальний елемент проходить між фланцем і ущільнювальним елементом.

Особливістю пропонованого пристрою є і те, що штовхаюча муфта і, принаймні, частина ущільнювального елемента розташовані в корпусі.

Особливістю пропонованого пристрою є і те, що ущільнювальний елемент, обертова ущільнювальна частина, корпус, штовхаюча муфта і додаткова муфта розташовані навколо обертового валу для забезпечення ущільнення потоку рідини вздовж валу.

Особливістю пропонованого пристрою є і те, що обертова ущільнювальна частина виконана з можливістю обертання відносно валу, ущільнювального елемента, корпусу і штовхаючої втулки.

Наявність другого ущільнювального елемента в частині, радіально віддаленій від джерела високого тиску, забезпечує те, що перший ущільнювальний елемент досить швидко створює ефективний бар'єр. Далі, коли ущільнення розпочинає роботу, проблема зависання ущільнювальної поверхні значною мірою зменшується або навіть повністю усувається. Винахідник вважає, що вдосконалення має місце, коли другий ущільнювальний елемент ковзає в осьовому напрямі під час пуску установки, елемент ущільнення фрикційно взаємодіє з муфтою штовхача та поверхнями корпусу, змінюється балансний діаметр ущільнення валу, залежно від того, де відбувається фрикційна взаємодія. Отже, завдяки тому, що ущільнювальний елемент розміщено на боці низького тиску, балансний діаметр змінюється таким чином, що зникаюча сила в первинному ущільненні зростає. Як правило, тертя між корпусом та муфтою штовхача відрегульовано за рівноважним балансним діаметром ущільнення валу.

Даний винахід є особливо застосовним до безконтактних ущільнень. Більш прийнятне, муфта штовхача являє собою L-подібну деталь, окрему від ущільнювального елемента. Пружина (зміщуючий пристрій) діє між корпусом та одним боком L-подібної муфти, паралельним тильній поверхні ущільнювального елемента. Вторинне ущільнення сформовано між поверхнею корпусу та іншим боком L-подібної муфти. Більш прийнятним є те, щоб інший бік муфти знаходився радіально всередині корпусу.

Що корисно, додаткове ущільнення забезпечується O-подібним ущільнювальним кільцем між муфтою штовхача та ущільнювальним елементом, де таке O-подібне кільце додаткового ущільнення розміщено в каналі "напівластівчин хвіст". Як правило, додаткове O-подібне ущільнювальне кільце знаходиться між муфтою штовхача та ущільнювальним елементом у вирізі квадратної форми або каналі "ластівчин хвіст" в муфті. Канал "ластівчин хвіст" часто використовується так, що O-подібне ущільнювальне кільце надійно встановлюється в ущільнення. Однак, під час зупинки (припинення роботи) ущільнення, часто ущільнення виштовхується з каналу через зростання тиску в каналі "ластівчин хвіст", який іншим чином не може бути

продукто. Більш прийнятна форма "напівластівчин хвіст" дозволяє О-подібному ущільнювальному кільцю здійснювати обмежене переміщення, в результаті чого тиск знаходить вихід з каналу. Зважаючи на дуже високу величину вартості, пов'язану з демонтажем ущільнення, це конструктивне рішення є особливо вигідним.

Тепер будуть описані більш прийнятні втілення цього винаходу з посиланням на такі креслення:

Фіг.1 поперечний переріз верхньої половини безконтактного ущільнення відповідно до цього винаходу;

Фіг.2 схематичне подання первинного ущільнення за цим винаходом із накладеним профілем тиску;

Фіг.3 зображує перший з альтернативних варіантів конструкції вторинного ущільнення;

Фіг.4 зображує другий з альтернативних варіантів конструкції вторинного ущільнення.

Винаходом передбачене ущільнення валу 1 навколо валу 2. Часто два ущільнення валу (не показано) розташовують послідовно разом з другим (нижче) ущільненням, що формує резервування першого ущільнення валу компресора, турбіни або іншого обладнання, що перебуває під тиском.

Ущільнення 1 включає обертове ущільнювальне кільце 10, встановлене навколо валу 2 радіально назовні від внутрішньої муфти 11, що розташовується навколо валу 2.

Внутрішня муфта 11 з'єднана для обертання та осьової фіксації з валом 2, а ущільнювальне кільце 10 з'єднане для обертання з внутрішньою муфтою 11 за допомогою штирів 13, які проходять зовнішнім радіальним краєм ущільнювального кільця 10.

Внутрішня муфта 11 має радіальний виступ, який перешкоджає осьовому переміщенню ущільнювального кільця 10 в одному напрямі. Штирі 13 підігнано до корпусної (оточуючої) частини, що простягається вздовж осі, внутрішньої муфти 11, виступаючи з радіального зовнішнього краю радіального навісу. Можна використовувати й інші звичайні конструкції, такі як стержні, що проходять у тильну поверхню ущільнювального кільця 10. Додаткова муфта 12 призначена для запобігання осьовому переміщенню ущільнювального кільця 10 в іншому осьовому напрямі.

Обертально-нерухомий ущільнювальний елемент 14 встановлено безпосередньо на ущільнювальне кільце 10. Первинне ущільнення формується між ущільнювальними поверхнями, що простягаються радіально, ущільнювального кільця 10 та ущільнювального елемента 14, які знаходяться одна проти одної. Ущільнювальна поверхня ущільнювального елемента 14, яка має неглибокі заглиблення, взаємодіє з іншою поверхнею, в результаті чого досягається необхідне розділення ущільнювальних поверхонь. Звичайно ж, заглиблення можуть бути зроблені (в альтернативному варіанті) на ущільнювальному обертовому кільці 10.

Більш прийнятні варіанти заглиблень більш докладно наведені в нашій заявці, що також розглядається патентним відомством РСТ/ІВ94/00379, поданій 16 листопада 1994, та більш прийнятні варіанти виконання заглиблення включають сюди посиланням. Ущільнювальний елемент 14 часто роблять з графіту або іншого підходячого матеріалу.

Ущільнювальний елемент 14 зміщений вздовж осі до ущільнювального кільця 10 за допомогою пружинного пристрою 15 (який зображено частково пунктирними лініями). Ущільнювальний елемент 14 може обмежено переміщатися вздовж осі. Пружинний пристрій 15 як правило складається з декількох (наприклад, шести) пружин, розташованих навколо валу 2. Пружини 15 діють з силою, відносно невеликою порівняно з розділяючими силами, які діють в працюючому ущільненні, однак вона є достатньою для того, щоб за умов відсутності тиску привести ущільнювальні поверхні у контакт. Пружина 15 діє через L-подібну муфту штовхача 17 так, що тильна поверхня ущільнювального елемента 14 прямує вздовж осі у напрямі до ущільнювального кільця 10.

Пружина 15 діє на направлений радіально всередину виступ корпуса 19 ущільнення 1.

Газ під високим тиском подається від корпуса 19 до радіально зовнішнього краю ущільнювального кільця 10 та ущільнювального елемента 14. Цей газ як правило є чистим (нешкідливим) і тому придатним для викидання в атмосферу, у той час як робочий газ в обладнанні таким не є, і його витік трубою спрямовується для спалювання (у факелі).

Високий тиск розповсюджується через ущільнювальну поверхню ущільнювального елемента 14 та навколо його тильної поверхні. Вторинне ущільнення призначене для відвертання проникнення високого тиску навколо ущільнювального елемента 14.

Перше вторинне ущільнення сформовано О-подібним ущільнювальним кільцем 20 між муфтою штовхача 17 та направленим радіально всередину виступом корпуса 19. На Фіг.3 та 4 зображено альтернативні варіанти конструкції першого вторинного ущільнення. На Фіг.3 показано перший варіант, де перше вторинне ущільнення сформовано О-подібним ущільнювальним кільцем 201 та опорним кільцем 202. Опорне кільце 202 може вироблятися, наприклад, з Тефлону, воно знаходиться на боці низького тиску каналу 21. На Фіг.4 показано другий альтернативний варіант, коли перше вторинне ущільнення сформовано пружним полімерним ущільненням 20.

О-подібне ущільнювальне кільце 20 знаходиться в каналі 21, зробленому у краї L-подібної муфти штовхача 17, що простягається вздовж осі. О-подібне ущільнювальне кільце здійснює ущільнення проти поверхні радіального виступу корпуса 19, що простягається вздовж осі. Суміжні поверхні муфти штовхача 17 та радіального виступу корпуса 19 істотно простягаються вздовж лінії у рівноважного балансного діаметру ущільнення, працюючого в режимі рівноваги. Оскільки бік муфти штовхача розміщено радіально всередину від радіального виступу корпуса 19, фрикційне зчеплення О-подібного ущільнювального кільця веде лише до зменшення балансного діаметру, оскільки зазначене фрикційне зчеплення має місце або на рівні, або всередині рівноважного балансного діаметру. Зменшення діючого балансного діаметру збільшує змикаючу силу в первинному ущільненні.

Приклад. Ущільнення валу, що забезпечує ущільнення 115мм валу під тиском 100бар. Рівноважний балансний діаметр встановлено дорівнюючим 150,8 мм, при цьому змикаюча сила, що виникає в первинному ущільненні, сягає від 400 до 500 Н. О-подібне ущільнювальне кільце першого вторинного ущільнення (20) має радіальний розмір близько 3,5мм (нове). Якщо фрикційне зчеплення з О-подібним ущільнювальним кільцем (20) веде до збільшення діючого балансного діаметру під час ковзання з О-подібним ущільнювальним кільцем

(20), тобто ситуація, що відповідає попередній технології, балансний діаметр міг б бути збільшеним максимум до 157,8 мм. При цьому балансовому діаметрі результуюча розмикаюча сила в первинному ущільненні сягає приблизно 12000 Н. У цьому прикладі припускається той випадок, коли О-подібне ущільнювальне кільце не переміщується в каналі 21. Як правило, О-подібне ущільнювальне кільце 20 перемістилося б при більш низькому тиску, однак знову результуюча розмикаюча сила була б більшою від сили, що змикає, з якої діють пружини (вона як правило дорівнює величині близько 50 Н). Це проілюстровано на Фіг.2, де схематичний профіль тиску зображено поверх первинного ущільнення валу 1. Відстань між ущільнювальним кільцем 10 та ущільнювальним елементом 14 збільшена задля ілюстративних цілей. Стрілка 30 вказує джерело високого тиску на зовнішньому діаметрі ущільнення.

Лінія а вказує профіль тиску, що його створює ущільнення 1, яке працює в усталеному режимі. Найвищий тиск створюється на радіальному внутрішньому краю заглиблень (зображених для цього випадку на ущільнювальному кільці 10), його ілюструє лінія d. Як можна бачити, цей тиск перевищує високий тиск, вказаний у точці f, в усталеному режимі - лінія а. Для усталеного режиму балансний діаметр вказано лінією е - рівноважний балансний діаметр.

Лінія b ілюструє цей винахід, вказуючи профіль тиску під час пуску установки. Оскільки балансний діаметр зменшено, змикаюча сила, зображена лінією b, більша за тиск в усталеному режимі (лінія а), тому що відстань між ущільнювальним кільцем 10 та ущільнювальним елементом 14 менша. Таким чином, ущільнення переходить до усталеного режиму роботи, незалежно від фрикційного зчеплення О-подібного ущільнювального кільця 20.

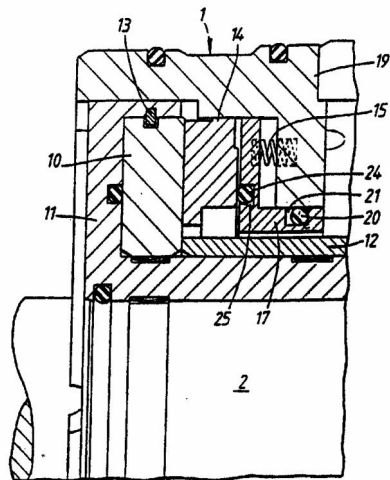
Лінія с ілюструє попередню технологію, коли О-подібне ущільнювальне кільце залипає та збільшує балансний діаметр, що створюється при пуску. Оскільки змикаюча сила ніколи не перевищує розмикаючу силу (Н.Р.), ущільнення розкривається, та як видно, для формування первинного ущільнення не створюється достатньої сили.

У варіантах втілення винаходу (не показано), коли високий тиск спостерігається радіально всередині рівноважного балансного діаметру, еквівалентне О-подібне ущільнювальне кільце першого вторинного ущільнення може розташовуватися в каналі в частині, що знаходиться радіально зовні рівноважного балансного діаметру. В цьому випадку фрикційне зчеплення О-подібного ущільнювального кільця буде намагатися збільшити діючий балансний діаметр, що знову породить тенденцію до збільшення змикаючої сили, що виникає в первинному ущільненні.

Додаткове вторинне ущільнення також формується між тильною поверхнею ущільнювального елемента 14 та боком муфти штовхача 15, що простягається радіально. О-подібне ущільнювальне кільце 24 розташовується в каналі 25, зробленому в муфті штовхача 15 (або ж цей канал може бути зроблено на тильній поверхні ущільнювального елемента 14). Канал 25 є каналом "напівластівчин хвіст". Така форма каналу 25 запобігає зростанню тиску в каналі 25, яке, в протилежному випадку, призвело б до виштовхування О-подібного ущільнювального кільця 24 з каналу 25 при швидкому падінні тиску в установці або у перебігу інших перехідних процесів. Така форма каналу 25 може вигідно використовуватися в усіх корпусах ущільнень валів, які використовують аналогічно розташоване вторинне ущільнення.

Звичайно ж додаткове вторинне ущільнення може мати стандартну конструкцію каналу (не показано), але це не є більш прийнятним.

Альтернативний ущільнювальний пристрій, зображений на Фіг.3 та 4, також може використовуватися в інших частинах, де застосовуються О-подібні ущільнювальні кільця, як у проілюстрованих варіантах втілення винаходу. Пружне тефлонове U-подібне ущільнення, зображене на Фіг.4, часто використовується завдяки його гарним характеристикам в режимі зменшення тиску. Як зазначалось вище, вздовж валу 2 можуть використовуватися послідовні ущільнення 1, причому друге ущільнення 1 є опорним для першого. При необхідності може використовуватися одне чи декілька додаткових ущільнень вздовж валу.



Фіг. 1

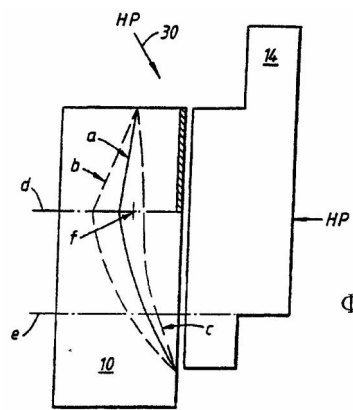


Fig. 2

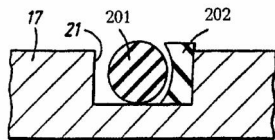


Fig. 3

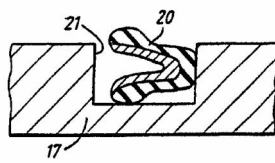


Fig. 4