

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-149082
(P2014-149082A)

(43) 公開日 平成26年8月21日(2014.8.21)

(51) Int.Cl. F 1 1 6 J 15/43 (2006.01) テーマコード (参考) 3 J 0 4 2

審査請求 有 請求項の数 7 O L 外国語出願 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2014-28464 (P2014-28464)
 (22) 出願日 平成26年2月18日 (2014. 2. 18)
 (62) 分割の表示 特願2011-521226 (P2011-521226) の分割
 原出願日 平成21年7月28日 (2009. 7. 28)
 (31) 優先権主張番号 61/084, 779
 (32) 優先日 平成20年7月30日 (2008. 7. 30)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 509241889
 リガク イノベイティブ テクノロジーズ
 インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 ミシガン州 48326
 オーバーン ヒルズ テイラー ロード
 1900
 (74) 代理人 100083806
 弁理士 三好 秀和
 (74) 代理人 100095500
 弁理士 伊藤 正和
 (74) 代理人 100111235
 弁理士 原 裕子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分路要素を有する磁性流体封止装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 大幅な圧力差の環境において流体シールが利用されるのにつれて、磁性流体封止装置の耐圧強度を高めること。

【解決手段】 磁性流体封止装置は、シャフト16と、磁極片30と、底面を有しており、前記シャフト又は前記磁極片によって画定される少なくとも一つの環状溝部と、強磁性流体を含んでおり、前記シャフトと前記磁極片との間に位置している複数の封止流体円環と、厚みを有しており、前記溝部の底面に直接隣接して位置している分路壁42と、前記少なくとも一つの溝部内に位置している少なくとも一つの磁石24、26とを備える。前記分路壁42の厚みは、流体が前記封止流体円環の一面から他面へと移動されるときの前記複数の封止流体円環におけるエネルギー差に基づいている。

【選択図】 図2

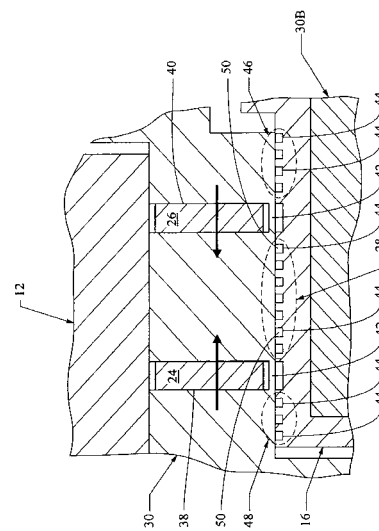


FIG. 2

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

磁性流体封止装置において、
シャフトと、
磁極片と、

底面を有しており、前記シャフト又は前記磁極片によって画定される少なくとも一つの環状溝部と、

強磁性流体を含んでおり、前記シャフトと前記磁極片との間に位置している複数の封止流体円環と、

厚みを有しており、前記溝部の底面に直接隣接して位置している分路壁と、

前記少なくとも一つの溝部内に位置している少なくとも一つの磁石とを備え、

前記分路壁の厚みは、流体が前記封止流体円環の一面から他面へと移動されるときの前記複数の封止流体円環におけるエネルギー差に基づいている、磁性流体封止装置。

【請求項 2】

前記分路壁の厚みは、流体が前記封止流体円環の一面から他面へと移動されるときの前記複数の封止流体円環におけるエネルギー差の最大化に基づいている、請求項 1 記載の磁性流体封止装置。

【請求項 3】

前記封止流体円環は、前記シャフトによって画定されている、請求項 1 に記載の磁性流体封止装置。

【請求項 4】

前記封止流体円環は、前記磁極片によって画定されている、請求項 1 に記載の磁性流体封止装置。

【請求項 5】

前記少なくとも一つの溝部は、前記シャフトによって画定されている、請求項 1 に記載の磁性流体封止装置。

【請求項 6】

前記分路壁の厚みは、前記溝部の底面と前記シャフトの中央線との間の距離として画定されている、請求項 5 記載の磁性流体封止装置。

【請求項 7】

前記少なくとも一つの溝部は、前記磁極片によって画定されている、請求項 1 に記載の磁性流体封止装置。

【請求項 8】

前記分路壁の厚みは、前記溝部の底面と前記磁極片の内径との間の距離として画定されている、請求項 7 に記載の磁性流体封止装置。

【請求項 9】

前記少なくとも一つの磁石は、異極性の少なくとも二個の磁石を備える、請求項 1 に記載の磁性流体封止装置。

【発明の詳細な説明】**【背景技術】****【0001】**

本発明は、磁性流体封止装置に関する。

【0002】

磁性流体封止装置は、一般に、回転シャフトと、円環状磁石及び磁極円環からなる統合サブアセンブリとを含む。寸法は、磁極円環先端とシャフト表面との間に小環状間隙を形成するように制御される。強磁界は、これらの間隙内に存在する。少量の磁性流体が各間隙に添加され、隣接する円環間に閉じ込められたガス充填空間により、間隙内に液体円環として磁界によって保持される。磁石及び環状間隙の数は変化してもよく、磁極円環は、実際に、単一磁極片として形成されてもよい。詳細な設計は何でもよく、そのような全ての装置は、次の段落において説明されるようにそれらの封止機能を果たす。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

圧力が流体円環の両面において同一である場合には、流体は、局所磁界の強度及び配置によって決定される平衡位置であると仮定する。流体円環の一面から他面へのいかなる圧力差も、流体をその平衡位置から軸方向に移動させる傾向がある。その平衡位置からの円環の移動は、移動を生み出す圧力差に対抗する正味の軸力をもたらす。圧力差が十分に大きくなる場合には、液体円環ははじけ開き、ガスが間隙の一面から他面へと流れる。円環がはじける圧力は、円環の「耐圧強度」と称される。多段装置（すなわち、同一シャフトにおいて直列に配置された多数の流体円環）の耐圧強度は、個々の段の耐圧強度の合計である。大幅な圧力差の環境において流体シールが利用されるのにつれて、磁性流体封止装置の耐圧強度を高めることが非常に望ましい。

10

【 発明の概要 】

【 0 0 0 4 】

先行技術の欠点を克服するために、磁性流体封止装置は、シャフトと、磁極片と、シャフトと磁極片との間に位置している複数の封止流体円環とを含む。封止流体円環は、シャフト及び/又は磁極片によって画定されてもよく、強磁性流体を含んでもよい。底面を有する少なくとも一つの溝部は、シャフト又は磁極片のいずれかによって画定される。分路は、溝部の底面に直接隣接して位置している。分路の厚みは、流体が封止流体円環の一面から他面へと移動されるときに複数の封止流体円環におけるエネルギー差に基づく。

【 0 0 0 5 】

本発明のさらなる目的、特徴、及び、利点は、この明細書に添付されてその一部を形成する図面及び特許請求の範囲を参照しながら以下の説明の検討後に当業者にとって容易に明らかになる。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 6 】

【 図 1 】 図 1 は、磁性流体封止装置の S a t 壁 (S a t w a l l) 構造を示している。

【 図 2 】 図 2 は、図 1 の磁性流体封止装置のより詳細な図を示している。

【 図 3 】 図 3 は、磁性流体封止装置のスーパーシール (Superseal) 構造を示している。

【 図 4 A 】 図 4 A は、分路壁を有する磁性流体封止装置の異なる実施形態を示している。

【 図 4 B 】 図 4 B は、分路壁を有する磁性流体封止装置の異なる実施形態を示している。

【 図 4 C 】 図 4 C は、分路壁を有する磁性流体封止装置の異なる実施形態を示している。

30

【 図 4 D 】 図 4 D は、分路壁を有する磁性流体封止装置の異なる実施形態を示している。

【 図 5 】 図 5 は、図 4 D の磁性流体封止装置のより詳細な図を示している。

【 図 6 】 図 6 は、図 4 D の磁性流体封止装置のより詳細な図を示している。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 0 7 】

図 1 を参照すると、「 S a t 壁 (S a t w a l l) 」構造における本発明の第 1 の実施形態が示されている。ここで、この実施形態にかかる磁性流体封止装置 1 0 は、一般にアルミニウム筐体本体 1 2 と、アルミニウム端部キャップ 3 4 とから構成される円筒状筐体内に収納されている。回転シャフト 1 6 は、端部キャップ 3 4 の中央開口を介して挿入されている。シャフト 1 6 の左端部は、フランジ 2 0 における開口を挿通して延在し、該フランジ 2 0 は、高温真空雰囲気において磁性流体封止装置 1 0 に装着するように構成されている。その右端部は、図 1 に示すように、室温の通常雰囲気下で配設されるように構成されている。ここで留意すべきは、装置が径方向に対称であることから、上半分部分のみが図 1 において詳細に示されているということである。アルミニウムベアリングナット 3 6 によって固定されている一個のクロスローラベアリング (cross-roller bearing) 3 2 は、シャフト 1 6 を回転可能に支持し、回転シャフト 1 6 を傾斜させる傾向がある力モーメントに対する大きな抵抗をもたらす。

40

【 0 0 0 8 】

筐体内には、環状の磁極片 3 0 によって離隔された少なくとも一対の永久磁石 2 4 , 2 6 が軸方向に沿って直列に交互に配設されている。

50

【0009】

磁極片30は、磁性ステンレス鋼材から形成されている。その外径において、磁極片は、二つの溝部38, 40を含み、これら溝部は、磁石24, 26を完全に収容するのに十分な深さを有し、これらの磁石からの磁束を効率的に捕捉する。溝部38, 40内に挿入されてセグメントに分割された又はボタン形状とされた磁石24, 26を有する単一の磁極片は、好ましい構造であるが、組み立て構造の磁極片(それに摺接する外方リングを有する中央管状部)と完全な円環状磁石とを使用することも可能である。(a)一つの機械加工片しか要求されず、(2)多くの異なる磁石組立部品において一つの標準磁石部品(ボタンもしくはセグメント)が使用可能であるため、製造コストがより低減することから、単一構造は好適である。

10

【0010】

磁極片30は、回転シャフト16の外径よりも若干程度大きい直径をもつ第一の円筒形空洞部30A(「封止空洞部」と、第二の空洞部(「ベアリング設置空洞部」)30Bとを含む。これらの空洞部は、同軸状に配置されており、それにより、回転シャフト16、ベアリング領域30B及び封止領域30Aを全体に一直線上に位置整合させている。

【0011】

磁石24, 26は、磁極片30の他端側での磁石の極性が該磁極片について対称配置であるように、すなわち、二つの隣接した磁石の対向面上の極性が互いに同一であるように配置されている。

【0012】

図2において、磁極片の分路壁部42が示されている。単一磁極片構造が使用される場合、これらの部分は、磁極片の一体化構成要素として形成される。磁石支持用溝部又は間隙38, 40は、以下の段落において後述される深さに加工される。

20

【0013】

これらの分路壁42は、装置を横断する圧力差、すなわち、外気雰囲気と真空と間での圧力差を支持するのに十分に強固でありながら、二つの円環状磁石24, 26によって磁氣的に飽和されるようになるのに十分に薄い。壁42の極めて高い飽和が得られれば、残存磁気エネルギーは、封止間隙50に対して十分に高いレベルの磁束を生成するのに十分である。

【0014】

封止間隙内の強磁界をさらにもたらしながら分路壁に使用可能である設計パラメータの組み合わせを見出すために磁気システムのコンピュータシミュレーションが使用された。設計パラメータの範囲は、必要とされる程度の機械的強度及び真空保全性をもたらしのに十分な大きさの分路壁厚をさらに保持しながら、封止間隙内において十分に強い磁界を実現可能であることが見出された。より具体的には、以下のパラメータ及び範囲が使用されればよい。すなわち、

30

a) 使用される磁石24, 26は、18 MGOeもしくはそれ以上のエネルギー積を有し、9.0 mm径×2.0 mm厚のボタン形状に成型された希土類磁石(例えば、SmCoやNdBF等)である。

【0015】

b) 推奨される磁極片30の材料は、例えば、17-4PHもしくは任意の400シリーズステンレス鋼等の磁性ステンレス鋼材である。

40

【0016】

c) シャフト溝44の形成数は、四個を最小とし、好ましくは8個ないし15個とすべきである。溝深さを0.5 mm、溝幅を0.5 mmとし、各溝間隔を0.5 mmとするのが好ましい。この溝深さは、シャフトと磁極片との間の径方向の間隙の少なくとも四倍とすべきである。

【0017】

装置が組み立てられて端部キャップ34がエポキシ樹脂もしくは他の接着剤によって筐体本体12に結合されると、(限られた数の封止間隙50を充填するのに十分な)予め定

50

められた量の強磁性流体が「二次封止領域」46においてシャフト上に配設され、シャフト16が磁極片30の内部に挿入される。流体で覆われた部分が磁極片に入ると、該流体は、間隙群を満たしてシャフトの封止間隙群もしくは溝部50にトラップされた空気の隔離されたポケット(isolated pockets of trapped air)を形成するように、シャフト16の周囲に均等に拡散する。圧力差が組立体(フランジ端での真空ポンプ部)を横切って加えられ、流体の一部は、さらに「一次封止領域」28の内部にも引き込まれる。「一次封止領域」内に十分に高い強度の磁界が与えられたとすると、全圧力差(1気圧)を支持するのに数段(例えば四段)のみが必要とされるように決定される。「二次封止領域」内の封止間隙群44はまた、これらの間隙内の磁界強度がより小さいことから、これらの段が「一次封止領域」におけるものよりは弱いものの、ある程度の封止効果を奏する。

10

【0018】

図面の図3を参照すると、それらに関連して、長手方向半分部分が示された磁性流体封止装置110の第2の実施形態が表されている。当然のことながら、同等の参照符号が、これらの参照符号に数字「1」が前に置かれるのを除いて、同等の構成要素を表すのに利用される。さらに当然のことながら、装置は対称であり、したがって、上半分部分のみが示される必要がある。この種の構造は、一般に、「Sat壁(Sat wall)」構造と称される。

【0019】

一般に円筒状筐体本体112は、バリア壁129を介して延在して取り付けられている。筐体本体112は、軸方向において筐体本体の中央部分を介して挿入された回転シャフト116を取り囲んでいる。

20

【0020】

シャフト116の中央部分117は、磁石124, 126をそれぞれ含むために二つの溝部138, 140によって形成されている。中央部分117はまた、それに対してベアリング132が装着される磁極円環129及び肩部1232を画定する5つのシャフト溝144を含む。好ましくは、ベアリング132は、肩部123間において軸方向に延在している封止領域をまたぐように配設されている。基本的に、磁極片130は、シャフト116によって画定されている。

【0021】

好ましくは、シャフト116は、シャフトの一端が外気雰囲気に触れ且つ他端がバリア129を介して真空環境に延在する目的の処理(真空)環境での使用に適している強磁性材料から形成されている。

30

【0022】

溝の機能は、軸方向に互いに離隔された、いくつかの異なる磁極間隙127(この場合は8個)を画定することである。磁石124, 126は、シャフト116の溝部138, 140の内部に挿入される。磁石124, 126は、円環磁石の半分区域であってもよく、又は、小円筒であるか、いかなるいくつかの区域形状からなってもよい。単一の溝部内の全ての磁石は、同一方向を向いたそれらの磁極を有する。好ましくは、第2の溝部内の磁石は、第1の溝部内の磁石とは対極の磁極を有して向けられる。この対極状態は、以下に説明されるように、封止間隙内での改善された磁束を有する完成組立体及び最小の外部磁界をもたらす。

40

【0023】

磁石124, 126は、相互の磁石の斥力又は遠心力の結果としてそれらが滑り出るのを防止するために、溝部内に確実に保持される必要がある。保持手段は、ここでは示されていない。典型的な保持方法は、(1)溝部内に磁石を固定するためのエポキシ樹脂、(2)磁石の周囲に輪状に設置された細線もしくは細紐、又は、(3)磁石溝部上で巻かれた端部である。いずれの場合でも、保持手段は、溝境界を越えて径方向に延在してはならず、又は、回転中に筐体内面に接触する。

【0024】

50

さらに本発明の他の実施形態を図示するために、図4A～図4Dが与えられる。図4A～図4Dは、異なる変形例に対する注意を喚起するように磁性流体封止装置の簡略化した実施形態を示している。当然のことながら、同等の参照符号が、これらの参照符号に数字「2」が前に置かれ且つ後に文字「A～D」が続くのを除いて、同等の構成要素を表すのに利用される。文字「A～D」は、それぞれ、図4A～図4Dにおいて示される構成要素に関連している。他の図と同様に、さらに当然のことながら、装置は対称であり、したがって、上半分部分のみが示される必要がある。

【0025】

磁性流体封止装置210A～210Dは、それぞれ、シャフト216A～216Dと、磁極片230A～230Dとを含む。しかしながら、図4A及び図4Bにおいて、溝部238A, 238B, 240A, 240Bは、シャフト216A, 216Bの内部に形成されている。これとは逆に、図4C及び図4Dにおいて、溝部238C, 238C, 240D, 240Dは、磁極片230C, 230Dの内部に形成されている。

10

【0026】

また、図4A及び図4Cは、それぞれ、シャフト216A, 216Cによって形成されて画定される溝244A, 244Cを含む。これとは逆に、図4B及び図4Dは、それぞれ、磁極片230B, 230Dによって形成されて画定される溝244B, 244Dを含む。したがって、図4A～図4Dの描写から、溝及び/又は溝部が磁極片又はシャフトのいずれかに形成可能であることは明らかにはずである。

【0027】

さらに図4A～図4Dを参照すると、分路壁242A～242Dがシャフト216A, 216B又は磁極片230C, 230Dのいずれかに形成されている。より具体的には、溝部238A～238D及び240A～240Dは、それぞれ、底面248A～248D及び上面249A～249Dを有する。上述したように、溝部238A～238D及び240A～240Dは、シャフト216A, 216B又は磁極片230C, 230Dのいずれかによって画定されている。

20

【0028】

分路壁242A～242Dは、それぞれ、厚みを有する。分路壁242A, 242Bがシャフト216A, 216Bによって画定されている場合には、分路壁242A, 242Bの厚みは、それぞれ、溝部224A, 226A, 224B, 226Bの底面248A, 248Bと、線252A, 252Bによって表されるシャフト216A, 216Bの中央線(軸)との間の距離によって画定される。分路壁242C, 242Dが磁極片230C, 230Dによって画定されている場合には、分路壁242C, 242Dの厚みは、それぞれ、溝部224C, 226C, 224D, 226Dの底面248C, 248Dと、磁極片230C, 230Dの内径227C, 227Dとの間の距離によって画定される。

30

【0029】

磁性流体封止装置の耐圧強度は、分路壁242A～242Dの厚みを調整することによって高められることができる。この設計手法のいくつかの利益及び効果は、以下のとおりである。すなわち、(1)磁石及び分路要素についての最良の寸法を選択することにより、耐圧強度がSat壁及びスーパーシール(Superseal)装置の双方について最大化可能であること、(2)磁性流体円環における粘性抵抗に打ち勝つのに必要とされる力が低減されること、(3)分路壁が可能な限り薄くすべきである旨を述べる従来の設計基準と比較して、Sat壁磁極片についての壁厚及び製造公差が非常に緩和されること、(4)分路壁に機械的負荷(ねじりや曲げ)を与えるSat壁装置において、強度が極めて非常に薄壁装置にわたって増加すること、(5)スーパーシール装置において、より小さい磁石が使用可能であり、それにより、封止流体円環の径が低減されること。

40

【0030】

これは、装置をより小型化し、シャフトが回転するときの摩擦及び自己発熱を低減する。(6)同軸装置(共通軸上の二つ以上の同心シャフト)において、項目3, 4に記載された利益は、双方とも効力があり、非常に高いシャフト強度を有する非常に小型の装置を

50

もたらず。

【0031】

この創作の開発の過程での大きな問題の克服は、非常に簡便な構造以外における磁界及び力の計算の複雑性に関係がある。簡便な設計方法は、実システムの複雑性を扱うのに妥当ではない。有限要素解析（「FEA」）は、磁性流体封止装置にわたって磁界を求めるのを可能とする。この創作を見出して実証するのに使用されるFEAモデリング及び解析手順は、（1）周知のモデリングアイデア、（2）市販ソフトウェア、及び、（3）市販ツールの権利実施、の組み合わせである。FEAの解からのデータの後処理は、同様に非常に重要であり、独自方法によって行われる。

【0032】

図5を参照すると、図4Dに示された実施形態のより詳細な図が示されている。図5は、任意の封止段階にわたって圧力差がないときの流体円環の近似位置を示している。各円環の各側面における自由表面の正確な形状が、この領域における磁界の形状に依存するものの、流体は、磁極先端の各側面においておおよそ等しく分布する。

【0033】

封止段階にわたって圧力差があるとき、分布は、おおよそ図6に示されるようになり、高圧側は右に向かっている。流体の一部は、各流体円環の高圧側から低圧側に向かって移動する。

【0034】

流体領域内の磁界は、もはや対称ではなく、各流体円環の両面において平衡を保っていない。間隙に最も近い位置は、間隙からより離れている位置よりも大きい磁界の大きさ及び勾配を有している。これは、間隙に向かって流体円環の左側を引き戻す傾向がある正味の力をもたらす。この力は、第1の場所において流体を移動させる圧力差に対抗する方向である。この復元力は、封止段階にわたって一部の圧力差を支持するものである。

【0035】

初級物理学から、任意の物体が対抗力に対して移動されるときはいつでも、物理学上の仕事（仕事＝力×距離）で行われることは公知である。したがって、一部の仕事がここで図示される流体移動を生じさせるように行われる必要がある。仕事－エネルギー等価の法則によれば、この仕事は、流体円環についての変化したエネルギー状態をもたらす。移動前後における流体領域にわたる磁界が知られている場合、移動前後におけるエネルギーを計算するために周知の手順を適用することができる。いったんエネルギー変化（ E ）及び移動の双方が知られると、エネルギー変化を生み出すのに必要とされるべき力を計算することができる。流体の形状を考慮に入れると、この力に対応する圧力を計算することができる。完全な移動の状態について、この力は「耐圧強度」である。

【0036】

ここで留意すべきは、エネルギーの変化 E が重要であり、エネルギー自身 E は、（1）磁界の強度、及び、（2）磁界の勾配（どの程度急激に変化するか）の双方に依存しないということである。強磁性の物体は、完全に一様（勾配ゼロ）である強磁界内で動き回るとき、ゼロ力を受ける。物体における磁気エネルギーは大きいにもかかわらず、位置の変化に起因するエネルギーの変化はない。したがって、力は存在しない。位置の変化によるいくらかの磁界強度の変化（すなわち、磁界の勾配）は、エネルギーの変化を有するために存在する必要がある。

【0037】

これは、耐圧強度を最大化する方法が、流体円環の移動の範囲にわたって流体円環内の E を最大化する磁界構造を形成することである旨を暗示している。強磁界が望ましいながらも、同様に強勾配を形成することも望ましい。エネルギーの一部を流体領域から離れて迂回させる磁性分路領域により、非常に強い磁性材料を使用することが可能であり、流体領域における E を最大化するために磁界の形状及び強度並びに勾配を変えることが可能である。磁界強度は低減されるが、分路の寸法が増加するのにもないある程度までのみであるが勾配は増加する。過剰なエネルギーが分路を介して迂回される場合には、（流

10

20

30

40

50

体内の磁界が小さすぎることから) Eは下降し、耐圧強度は減少する。したがって、分路領域についてのいくつかの最適な一連の寸法が存在する。この最適条件において、Eは最大化され、したがって、耐圧強度も最大化される。

【0038】

当業者が容易に理解するように、上記の説明は本発明の原理を実現する例としての意味である。この説明は、以下の請求項に記載の本発明の精神から逸脱することなく、本発明が修正、変異及び変更に影響されやすい点で、本発明の範囲又は用途を制限することを目的としていない。

【図1】

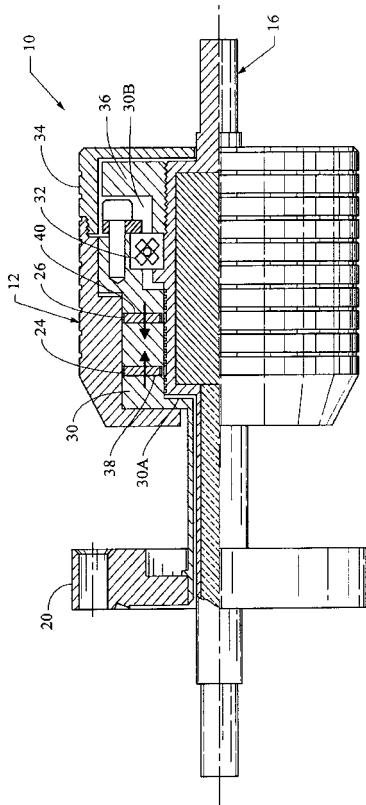


FIG. 1

【図2】

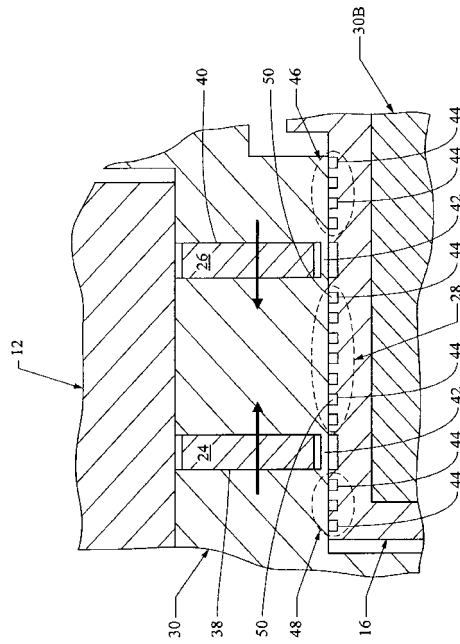


FIG. 2

【 図 3 】

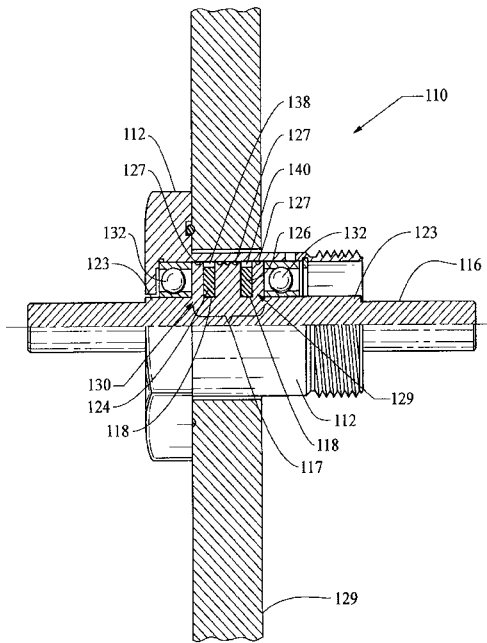


FIG. 3

【 図 4 A 】

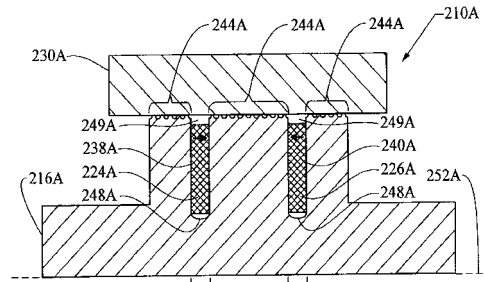


FIG. 4A

【 図 4 B 】

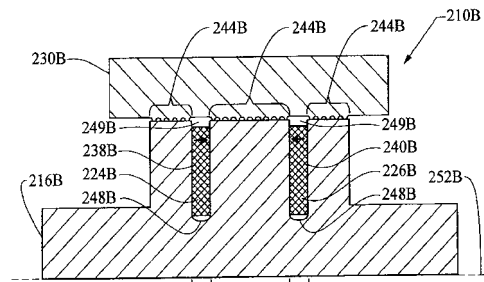


FIG. 4B

【 図 4 C 】

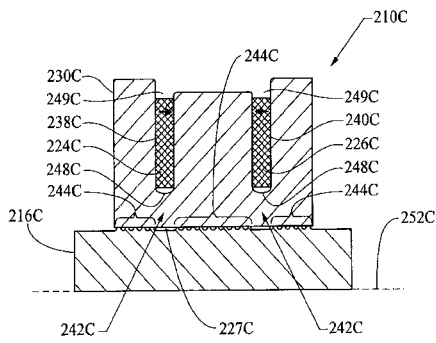


FIG. 4C

【 図 5 】

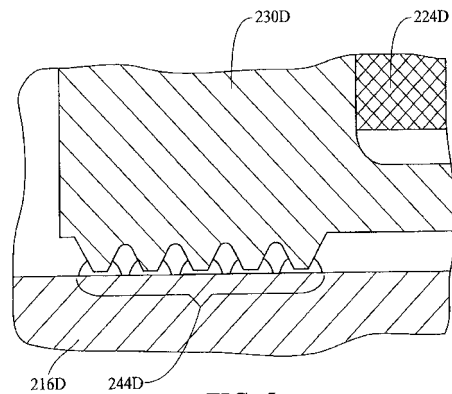


FIG. 5

【 図 4 D 】

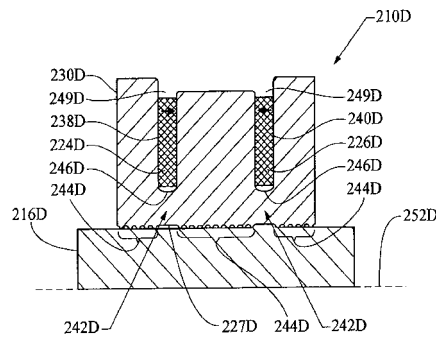


FIG. 4D

【 図 6 】

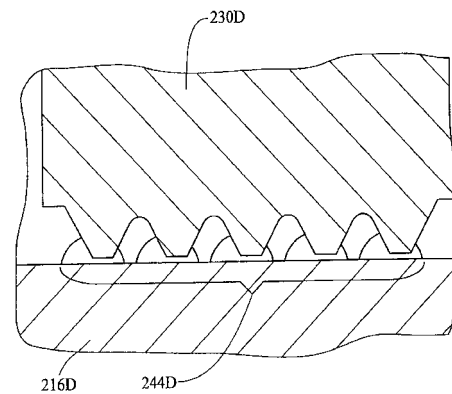


FIG. 6

【手続補正書】

【提出日】平成26年3月19日(2014.3.19)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁性流体封止装置において、
シャフトと、
磁極片と、
底面を有しており、前記シャフト又は前記磁極片によって画定される少なくとも一つの環状の溝部と、
強磁性流体を含んでおり、前記シャフトと前記磁極片との間に位置している複数の封止流体円環と、
厚みを有しており、前記溝部の底面に直接隣接して位置している分路壁と、
前記少なくとも一つの溝部に位置している磁石とを備え、
前記シャフトと前記磁極片との間に径方向の間隙が設けられ、
前記分路壁の厚みは、前記溝部の底面と前記シャフトの中央線との間の距離、又は前記溝部の底面と前記磁極片の内径との距離のいずれかであり、
前記分路壁の厚みは、耐圧強度を最大にするためにエネルギー変化を最大にするように、流体が前記封止流体円環の一面から他面へと移動されるときの前記複数の封止流体円環におけるエネルギー変化と移動距離を用いて計算された復元力によって決定され、
前記分路壁の厚みを機械的強度及び真空保全性をもたらすのに十分な厚みにさらに維持しつつ、封止間隙内に十分に強い磁界が実現され、
前記シャフト又は前記磁極片のいずれかに少なくとも4つの溝が設けられ、
前記少なくとも4つの溝の溝深さは前記シャフトと前記磁極片との間の径方向の間隙の少なくとも四倍であり、
前記磁石は、前記磁極片の反対側にある磁石の極性が前記磁極片に対して対称であるように配置された磁性流体封止装置。

【請求項2】

前記封止流体円環は、前記シャフトによって画定されている、請求項1に記載の磁性流体封止装置。

【請求項3】

前記封止流体円環は、前記磁極片によって画定されている、請求項1に記載の磁性流体封止装置。

【請求項4】

前記少なくとも一つの溝部は、前記シャフトによって画定されている、請求項1に記載の磁性流体封止装置。

【請求項5】

前記分路壁の厚みは、前記溝部の底面と前記シャフトの中央線との間の距離として画定されている、請求項4に記載の磁性流体封止装置。

【請求項6】

前記少なくとも一つの溝部は、前記磁極片によって画定されている、請求項1に記載の磁性流体封止装置。

【請求項7】

前記分路壁の厚みは、前記溝部の底面と前記磁極片の内径との間の距離として画定されている、請求項6に記載の磁性流体封止装置。

フロントページの続き

(72)発明者 ヘルジランド、 ウォルター
アメリカ合衆国 01507 マサチューセッツ州 チャールトン マソニック ホーム ロード
88 アpartment ティー301
Fターム(参考) 3J042 AA08 BA04 CA17

【外国語明細書】

TITLE OF THE INVENTION
MAGNETIC FLUID SEAL WITH SHUNT ELEMENT

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Description of the Related Art

[0001] The present invention relates to magnetic fluid seal systems.

2. Description of the Known Technology

[0001] Magnetic fluid seals generally include a rotatable shaft and a unitized sub-assembly of ring magnets and pole rings. Dimensions are controlled to produce small annular gaps between pole ring tips and the shaft surface. Strong magnetic fields exist in these gaps. A small amount of ferrofluid is added at each gap and is held by the field as liquid rings in the gaps, with gas-filled spaces confined between adjacent rings. The number of magnets and annular gaps may vary and the pole rings may, in fact, be formed as a single pole piece. Whatever the detailed design may be, all such devices perform their sealing function as described in the next paragraph.

[0002] If pressure is the same on both sides of a fluid ring, the fluid assumes an equilibrium position determined by the strength and configuration of the local magnetic field. Any difference in pressure from one side of a fluid ring to the other tends to displace the fluid axially from its equilibrium position. Displacing a ring from its equilibrium position leads to a net axial force that opposes the pressure difference that produced the displacement. If the pressure difference becomes large enough, the liquid ring bursts open, and gas flows from one side of the gap to the other. The pressure at which the ring bursts is called the "pressure capacity" of the ring. The pressure capacity of a multi-stage device (i.e. multiple liquid rings arranged in series

on the same shaft) is the sum of the pressure capacities of individual stages. As fluid seals are utilized in environments of significant pressure difference, increasing the pressure capacity of ferrofluid seals is highly desirable.

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

[0003] In overcoming the drawbacks of the prior art, a magneto-fluidic seal includes a shaft, a pole piece, and a plurality of sealing fluid rings located between the shaft and the pole piece. The sealing fluid rings may be defined by the shaft and/or the pole piece and contain a ferromagnetic fluid. At least one channel having a bottom is defined by either the shaft or the pole piece. . A shunt is located directly adjacent to the bottom of the channel. The thickness of the shunt is based on the energy differential in the plurality of sealing fluid rings as the fluid is displaced from one side of the sealing fluid rings to the other side of the sealing fluid rings. .

[0004] Further objects, features and advantages of this invention will become readily apparent to persons skilled in the art after a review of the following description, with reference to the drawings and claims that are appended to and form a part of this specification.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0005] Figure 1 illustrates a Satwall configuration of a magneto-fluidic seal;

[0006] Figure 2 illustrates a more detailed view of the magneto-fluidic seal of Figure 1;

[0007] Figure 3 illustrates a Superseal configuration of a magneto-fluidic seal;

[0008] Figures 4A-4D illustrate different embodiments of magneto-fluidic seals with shunt walls; and

[0009] Figures 5 and 6 illustrate a more detailed view of the magneto-fluidic seal of Figure 4D.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

[0010] Referring to Figure 1, a first embodiment of the invention is shown in a "Satwall" configuration. Here, a magneto-fluidic seal 10 according to this embodiment is housed in a generally cylindrical housing comprising an aluminum housing 12 and aluminum end cap 34. A rotatable shaft 16 is inserted through a central opening in the end cap 34. The left end of the shaft 16 extends through an opening in flange 20 which is adapted to mount the magneto-fluidic seal 10 in a vacuum environment at elevated temperatures. The right end thereof as viewed in Figure 1, is adapted to be disposed in a normal atmospheric environment at ambient temperatures. Note, since the device is radially symmetric, only the top half is shown in detail in Figure 1. A single cross-roller bearing 32 secured by aluminum bearing nut 36 rotatably holds shaft 16 and provides a large resistance against force moments which would tend to tilt the shaft 16.

[0011] Within the housing, alternately disposed in series in the axial direction, are at least a pair of permanent magnets 24 and 26 separated by an annular pole piece 30.

[0012] Pole piece 30 is formed from magnetic stainless steel. On its outside diameter, the pole piece contains two channels 38 and 40 which are deep enough to fully contain magnets 24 and 26, efficiently capturing magnetic flux from the magnets. A unitary pole piece with segmented or button-shaped magnets 24 and 26 inserted into the channels 38 and 40 is the preferred construction, but it is also possible to use a built-up pole piece (central tube with outer rings slipped onto it)

and full ring magnets. The unitary construction is preferred because manufacturing costs will be lower, since (a) only a single machined piece is required, and (2) a single standardized magnet component (button or segment) can be used in many different magnetic assemblies.

[0013] The pole piece 30 contains a first cylindrical cavity 30A ("sealing cavity") of diameter slightly larger than the outside diameter of shaft 16, and a second cavity ("bearing mount cavity") 30B. These cavities are coaxial, thereby establishing the overall alignment of the shaft 16, bearing region 30B and sealing region 30A.

[0014] The magnets 24 and 26 are arranged so that the polarity of the magnets on opposite side of the pole piece 30 is symmetrical with respect to the pole piece; i.e., the polarity of the opposite surfaces of the two adjoining magnets is the same as each other.

[0015] In Figure 2, the shunt wall sections 42 of pole piece are shown. If a unitary pole piece construction is used, these sections are formed as an integral part of the pole piece. The magnet-holding channels or gaps 38 and 40 are machined to a depth that will be described later in the paragraphs that follow.

[0016] These shunt walls 42 are strong enough to support the pressure difference across the device, i.e., between atmosphere and vacuum, while thin enough to become magnetically saturated by the two ring magnets 24 and 26. If very high saturation of the walls 42 is achieved, then the remaining magnetic energy will be sufficient to produce sufficient high flux levels to seal gaps 50.

[0017] Computer simulation of the magnetic system was used to find a combination of design parameters which would allow a shunt wall to be used, while

still providing high magnetic fields in the sealing gaps. A range of design parameters was found over which it was possible to achieve comfortably large magnetic fields in the sealing gaps while still maintaining shunt wall thickness large enough to provide the strength and vacuum integrity required. More specifically, the following parameters and ranges may be used:

- a) The magnets 24 and 26 used were rare earth magnets (e.g., SmCo or NdFe), with an energy product of 18 MGO or greater, formed in the shape of buttons 9.0 mm diameter ×2.0 mm thick.
- b) The recommended pole piece material is magnetic stainless steel, e.g., 17-4PH, or any 400-series stainless steel.
- c) The number of shaft grooves 44 should be a minimum of 4 and preferably 8 to 15. Groove depths of 0.5 mm and widths of 0.5 mm, with 0.5 mm spacing between grooves are preferred. The groove depth should be at least four times the radial gap between shaft and pole piece.

[0018] When the device is assembled and end cap 34 is joined to housing 12 by an epoxy or other adhesive, a measured amount of ferromagnetic fluid (sufficient to fill a limited number of sealing gaps 50) is placed on the shaft in the "secondary sealing region" 46, and the shaft 16 is inserted into the pole piece 30. When the fluid-wetted section enters the pole piece, the fluid spreads evenly around the shaft 16 filling the gaps and forming isolated pockets of trapped air in the sealing gaps or grooves 50 of the shaft. A pressure differential is applied across the assembly (vacuum pumping on the flanged end), and some fluid is drawn further into the "primary sealing region" 28. It has been determined that only a few (e.g., four) stages are required to support the full pressure differential (1 atmosphere), provided

the magnetic field strength is high enough, in the "primary sealing region." The sealing gaps 44 in the "secondary sealing region" also provide some degree of sealing, although these stages will be weaker than in the "primary sealing region," because the field strength in these gaps is less.

[0019] Referring to Figure 3 of the drawings, a second embodiment of a magneto-fluidic seal 110, shown in longitudinal half-section, will be described in detail in connection therewith. It should be understood that like reference numerals will be utilized to describe like components – with the exception that these reference numerals will be preceded with the numeral "1." It should be further understood that the device is symmetric and that therefore only the upper half section needs to be shown. This type of configuration is generally referred to as a "Satwall" configuration.

[0020] A generally cylindrical housing 112 extends through and is affixed to barrier wall 129. The housing 112 encircles a rotary shaft 116 which is inserted through a central portion of the housing in an axial direction.

[0021] A central section 117 of the shaft 116 is formed with two channels 138 and 140 for containing magnets 124 and 126, respectively. The central section 117 also includes five shaft grooves 144 defining pole rings 129 and shoulders 123 against which bearings 132 are mounted. Preferably, the bearings 132 are disposed so as to straddle the sealing region which extends axially between the shoulders 123. Essentially, the pole piece 130 is defined by the shaft 116.

[0022] Preferably, shaft 116 is formed of ferromagnetic material suitable for use in the intended process (vacuum) environment in which one end of the shaft is exposed to the atmosphere, and the opposite end extends through a barrier 129 to a vacuum environment.

[0023] The function of the grooves is to define several distinct pole gaps 127 (in this case eight) spaced axially apart from each other. The magnets 124 and 126 are inserted into the channels 138 and 140 of the shaft 116. The magnets 124 and 126 may be half sectors of the ring magnets or may be small cylinders or any of several sector shapes. All magnets in a single channel have their magnetic polar orientation in the same direction. Preferably magnets in the second channel are oriented with magnetic polarity opposite to the magnets in the first channel. This opposed-polarity condition results in a finished assembly with enhanced magnetic flux in the sealing gaps and minimum external magnetic field as will be explained below.

[0024] Magnets 124 and 126 must be positively retained in the channels in order to prevent them from sliding out as a result of mutual magnetic repulsion or centrifugal force. The means of retention is not shown here. Typical retention methods would be (1) epoxy to secure the magnets in the grooves, (2) a thin wire or band placed as a hoop around the magnets or (3) rolled edges on the magnet channels. In any case, the retaining means must not extend radially beyond the slot boundary, or it will contact the housing inner surface during rotation.

[0025] To further illustrate other embodiments of the invention, Figures 4A-4D are provided. Figures 4A-4D illustrate simplified embodiments of magneto-fluidic seals so as to bring attention to differing variations. It should be understood that like reference numerals will be utilized to describe like components, with the exception that these reference numerals will be preceded with the numeral "2" and followed by the letters "A-D." The letterers "A-D" relate to components shown in Figures 4A-4D,

respectively. Like the other Figures, it should be further understood that the device is symmetric and that therefore only the upper half section needs to be shown.

[0026] Magneto-fluidic seals 210A-210D each include shafts 216A-216D and pole pieces 230A-230D. However, in FIGS 4A and 4B, channels 238A, 238B, 240A and 240B are formed in the shafts 216A and 216B. Conversely, in Figures 4C and 4D, channels 238C, 238D, 240C and 240D are formed in the pole pieces 230C and 230D.

[0027] Also, Figures 4A and 4C include grooves 244A and 244C formed and defined by the shafts 216A and 216C, respectively. Conversely, Figures 4B and 4D include grooves 244B and 244D formed and defined by the pole pieces 230B and 230D, respectively. Therefore, from the description of Figures 4A-4D, it should be clear that the grooves and/or the channels can be formed on either the pole pieces or the shafts.

[0028] Still referring to Figures 4A-4D, the shunt walls 242A-242D are formed on either the shafts 216A and 216B or on the pole pieces 230C and 230D. More specifically, the channels 238A-238D and 240A-240D each have a bottom 248A-248D and a top 249A-249D, respectively. As explained previously, channels 238A-238D and 240A-240D are defined by either the shafts 216A-216B or the pole pieces 230C-230D.

[0029] The shunt walls 242A-242D each have a thickness. In the case where the shunt walls 242A-242B are defined by the shafts 216A and 216B, the thickness of the shunt walls 242A-242B are each defined by the distance between the bottoms 248A-248B of the channels 224A, 226A, 224B and 226B and a center line (axis) of the shafts 216A-216B, represented by line 252A and 252B. In the case where the

shunt walls 242C-242D are defined by the pole pieces 230C and 230D, the thickness of the shunt walls 242C-242D are each defined by the distance between the bottoms 248C-248D of the channels 224C, 226C, 224D and 226D and the inner diameters 227C and 227D of the pole pieces 230C and 230D.

[0030] The pressure capacity of ferrofluid seals can be improved by adjusting the thickness of the shunt walls 242A-242D. Some benefits and advantages of this design approach are: (1) the pressure capacity can be maximized for both Satwall and Superseal devices by selecting the best dimensions for magnets and shunt elements; (2) the force required to overcome viscous drag in the ferrofluid rings is reduced; (3) the wall thicknesses and manufacturing tolerances for Satwall pole pieces are greatly relaxed as compared to the traditional design rule, which states that the shunting wall should be as thin as possible; (4) in Satwall devices that impose mechanical loads (torsion or bending) on the shunting wall, the strength is very greatly increased over thin-walled devices; (5) in Superseal devices, smaller magnets can be used, thereby reducing the diameter of the sealing fluid rings.

[0031] This makes the devices more compact and reduces friction and self-heating when the shafts are turned; and (6) in coaxial devices (two or more concentric shafts on a common axis) the benefits listed in items 3 and 4 are both in effect, leading to very compact devices with very high shaft strength.

[0032] The major difficulties overcome in the course of developing this innovation have to do with the complexity of calculating magnetic fields and forces in anything other than very simple structures. Simple design methods are not adequate to deal with the complexity of real systems. Finite element analysis ("FEA") allows the magnetic fields to be determined throughout the ferrofluid sealing

device. The FEA modeling and analysis procedures used to discover and demonstrate this innovation are a combination of (1) well known modeling ideas, (2) commercially available software, and (3) proprietary implementation of the commercially available tools. Post-processing of data from the FEA solutions is critically important as well, and has been done by a proprietary method.

[0033] Referring to Figure 5, a more detailed view of the embodiment shown in Figure 4D is shown. Figure 5 illustrates the approximate location of the fluid rings when there is no pressure difference across any sealing stage. Although the exact shape of the free surface at each side of each ring depends on the shape of the magnetic field in this region, the fluid will be distributed approximately equally on either side of the pole tip.

[0034] When there is a pressure difference across the sealing stage, the distribution becomes approximately as shown in Figure 6. In this illustration, the high pressure side is toward the right. Some fluid is displaced from the high pressure side of each fluid ring toward the low pressure side.

[0035] The magnetic fields in the fluid regions are no longer symmetrical and balanced on the two sides of each fluid ring. Locations nearest to a gap will have larger field magnitudes and gradients than locations farther away from that gap. This will result in a net force that tends to pull the left side of the fluid ring back toward the gap. This force is in a direction that opposes the pressure difference that displaced fluid in the first place. This restoring force is what supports some pressure difference across the sealing stage.

[0036] From elementary physics it is known that whenever any object is moved against an opposing force, physical work is done ($Work = Force \times Distance$).

So some work must be done to effect the fluid displacement illustrated here. According to the principle of Work-Energy Equivalence, this work results in an altered energy state for the fluid ring. If the magnetic field throughout the fluid region before and after the displacement is known, one can apply well known procedures to calculate the energies before and after displacement. Once both the energy change (ΔE) and the displacement are known, one can calculate the force that must have been required to produce that energy change. Taking into account the shape of the fluid, one can compute the pressure that corresponds to this force. For the condition of full displacement, this force will be the "pressure capacity".

[0037] Note that the change in energy, ΔE , is important, and not the energy itself ΔE depends on both: (1) the strength of the magnetic field and (2) the field gradient (how rapidly it changes). A ferromagnetic object experiences zero force when it is moved about in a strong field that is absolutely uniform (zero gradient). Even though the magnetic energy in the object is large, there is no change in energy due to the change in location. Hence, there is no force. Some change in field strength with change in location (i.e. a field gradient) must exist in order to have a change in energy.

[0038] This implies that the way to maximize pressure capacity is to establish a magnetic field configuration that maximizes ΔE in the fluid rings over their range of displacement. While strong magnetic fields are desirable, it is advisable to also establish strong gradients as well. It is possible to use very strong magnetic materials and, by means of a magnetic shunt region that diverts some energy away from the fluid region, alter the shape and strength of the field and gradient to maximize ΔE in the fluid region. Field strength is reduced, but gradient is increased

as shunt dimensions increase, but only up to a point. If too much energy is diverted through the shunt, ΔE will decline (because the fields in the fluid will be too small), and the pressure capacity will fall. So there is some optimum set of dimensions for the shunting region. At this optimum, ΔE is maximized, and so is the pressure capacity.

[0039] As a person skilled in the art will readily appreciate, the above description is meant as an illustration of implementation of the principles this invention. This description is not intended to limit the scope or application of this invention in that the invention is susceptible to modification, variation and change, without departing from the spirit of this invention, as defined in the following claims.

CLAIMS

1. A magneto-fluidic seal comprising:
 - a shaft;
 - a pole piece;
 - at least one channel defined by either the shaft or the pole piece, the annular channel having a bottom;
 - a plurality of sealing fluid rings located between the shaft and the pole piece, the sealing fluid rings containing a ferromagnetic fluid;
 - a shunt wall being located directly adjacent to the bottom of the channel, the shunt wall having a thickness;
 - at least one magnet being located within the at least one channel;
 - wherein the thickness of the shunt wall is based on the energy differential in the plurality of sealing fluid rings as the fluid is displaced from one side of the sealing fluid rings to the other side of the sealing fluid rings.

2. The magneto-fluidic seal of claim 1, wherein the thickness of the shunt wall is based on maximizing the energy differential in the plurality of sealing fluid rings as the fluid is displaced from one side of the sealing fluid rings to the other side of the sealing fluid rings.

3. The magneto-fluidic seal of claim 1, wherein the sealing fluid rings are defined by the shaft.

4. The magneto-fluidic seal of claim 1, wherein the sealing fluid rings are defined by the pole piece.
5. The magneto-fluidic seal of claim 1, wherein at least one channel is defined by the shaft.
6. The magneto-fluidic seal of claim 5, wherein the thickness of the shunt wall is defined as the distance between the bottom of the channel and a center line of the shaft.
7. The magneto-fluidic seal of claim 1, wherein at least one channel is defined by the pole piece.
8. The magneto-fluidic seal of claim 7, wherein the thickness of the shunt wall is defined as the distance between the bottom of the channel and the inner diameter of the pole piece.
9. The magneto-fluidic seal of claim 1, wherein the at least one magnet comprises at least two magnets of opposite polarity.

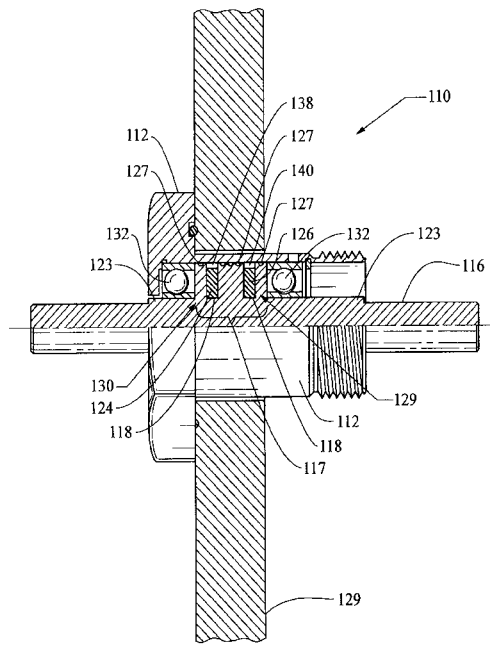


FIG. 3

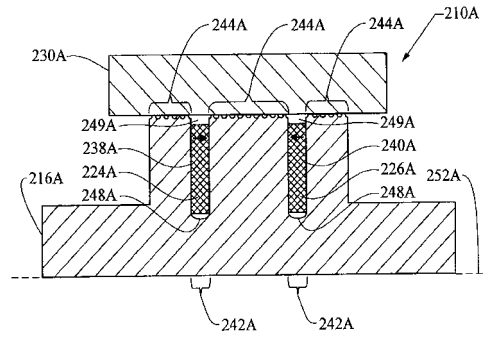


FIG. 4A

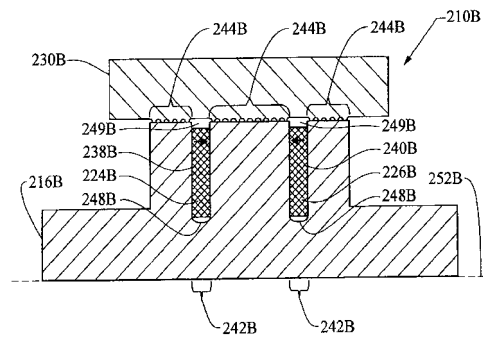


FIG. 4B

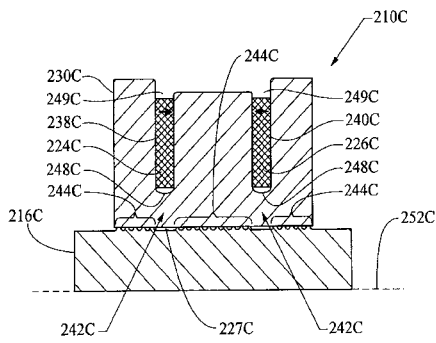


FIG. 4C

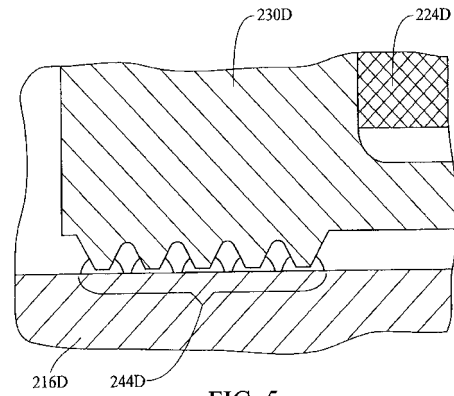


FIG. 5

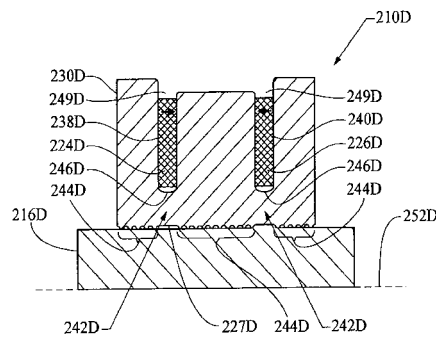


FIG. 4D

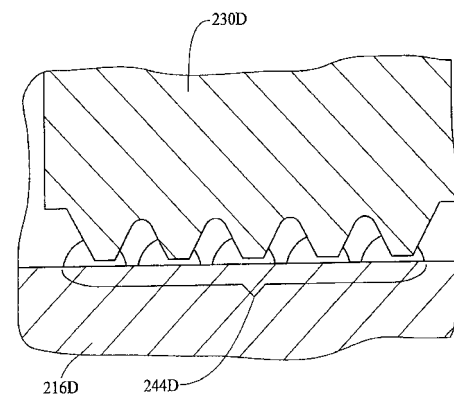


FIG. 6