

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6132211号
(P6132211)

(45) 発行日 平成29年5月24日(2017.5.24)

(24) 登録日 平成29年4月28日(2017.4.28)

(51) Int.Cl.		F I			
F O 4 B 39/00	(2006.01)	F O 4 B	39/00		A
F 1 6 C 33/10	(2006.01)	F 1 6 C	33/10		Z
F 1 6 C 33/12	(2006.01)	F 1 6 C	33/12		Z

請求項の数 16 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2014-500911 (P2014-500911)	(73) 特許権者	314012076
(86) (22) 出願日	平成25年2月15日(2013.2.15)		パナソニックIPマネジメント株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/000852		大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(87) 国際公開番号	W02013/125197	(74) 代理人	110000556
(87) 国際公開日	平成25年8月29日(2013.8.29)		特許業務法人 有古特許事務所
審査請求日	平成27年12月3日(2015.12.3)	(72) 発明者	石田 貴規
(31) 優先権主張番号	特願2012-33715 (P2012-33715)		大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(32) 優先日	平成24年2月20日(2012.2.20)	(72) 発明者	川端 淳太
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2012-234380 (P2012-234380)	(72) 発明者	福原 弘之
(32) 優先日	平成24年10月24日(2012.10.24)		大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2012-238651 (P2012-238651)		
(32) 優先日	平成24年10月30日(2012.10.30)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 摺動部材およびこれを用いた冷媒圧縮機、並びに、冷蔵庫およびエアコンディショナー

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

冷媒を圧縮する冷媒圧縮機が備える、潤滑油が貯留される密閉容器内の摺動部に用いられ、

母材が鉄系材料で構成されており、かつ、前記摺動部における摺動面となる当該母材の表面全体に、最表面から順に、 Fe_2O_3 で構成される第一層、 Fe_3O_4 で構成される第二層、および FeO で構成される第三層からなる三層構造の酸化皮膜が形成されている、摺動部材。

【請求項2】

前記第一層の層厚を T_1 、前記第二層の層厚を T_2 、前記第三層の層厚を T_3 としたときに、 $T_1 : T_2 : T_3$ が $5 \sim 20 : 10 \sim 50 : 30 \sim 85$ の範囲内にある、請求項1に記載の摺動部材。

【請求項3】

前記第三層が、アモルファス構造の FeO で構成されている、請求項1または2に記載の摺動部材。

【請求項4】

前記第一層、前記第二層および前記第三層からなる酸化皮膜の膜厚が $1 \mu m \sim 3 \mu m$ の範囲内にある、

請求項1から3のいずれか1項に記載の摺動部材。

【請求項5】

少なくとも、前記第一層は、酸化鉄粒子が層状に集合した構成となっており、
前記酸化鉄粒子の粒径は、 $0.1\ \mu\text{m} \sim 4.0\ \mu\text{m}$ の範囲内である、
請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の摺動部材。

【請求項 6】

潤滑油が貯留される前記密閉容器と、
当該密閉容器内に収容される電動要素と、
前記密閉容器内に収容され、前記電動要素を駆動し冷媒を圧縮する圧縮要素と、を備え

、
当該圧縮要素には、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の摺動部材を用いた摺動部が
含まれている、
冷媒圧縮機。

10

【請求項 7】

前記圧縮要素は、
主軸部および偏心軸を備えたクランクシャフトと、
前記主軸部を回転自在に軸支する軸受部と、
当該軸受部に形成されたスラスト部と、
圧縮室を形成するポアーを有するシリンダーブロックと、
前記圧縮室内を往復動するピストンと、
前記偏心軸と平行に配置され前記ピストンに固定されたピストンピンと、
前記偏心軸と前記ピストンを連結するコンロッドと、

20

を備え、

前記摺動部材は、前記クランクシャフト、前記スラスト部、前記シリンダーブロックの
前記ポアー、前記ピストン、前記ピストンピン、前記コンロッドの少なくともいずれか 1
つである、

請求項 6 に記載の冷媒圧縮機。

【請求項 8】

前記電動要素は、少なくとも電源周波数以下の運転周波数を含む複数の運転周波数でイ
ンバーター駆動される、

請求項 6 または 7 に記載の冷媒圧縮機。

【請求項 9】

30

前記潤滑油は、粘度が VG 3 ~ VG 100 の範囲内にある、
請求項 6 から 8 のいずれか 1 項に記載の冷媒圧縮機。

【請求項 10】

前記圧縮要素で圧縮される前記冷媒としては、少なくとも自然冷媒または HFC 系冷媒
が用いられる、

請求項 6 から 9 のいずれか 1 項に記載の冷媒圧縮機。

【請求項 11】

前記自然冷媒は、R600a、R290、および R744 の少なくともいずれか 1 種、
またはこれらを含む混合物である、

請求項 10 に記載の冷媒圧縮機。

40

【請求項 12】

前記潤滑油としては、鉱油、エステル油、アルキルベンゼン油、ポリビニルエーテル、
およびポリアルキレングリコールからなる群より選択される少なくとも 1 種が用いられる

、
請求項 11 に記載の冷媒圧縮機。

【請求項 13】

前記 HFC 系冷媒は、R134a、R152、R407C、R404A、R410、お
よび R32 の少なくともいずれか 1 種、またはこれらを含む混合物である、

請求項 10 に記載の冷媒圧縮機。

【請求項 14】

50

前記潤滑油としては、エステル油、アルキルベンゼン油、ポリビニルエーテル、およびポリアルキレングリコールからなる群より選択される少なくとも1種が用いられる、請求項13に記載の冷媒圧縮機。

【請求項15】

請求項6から14のいずれか1項に記載の冷媒圧縮機を備えている、冷蔵庫。

【請求項16】

請求項6から14のいずれか1項に記載の冷媒圧縮機を備えている、エアコンディショナー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、冷蔵庫、エアコンディショナー等に用いられる冷媒圧縮機が備える摺動部材と、この摺動部材を用いた冷媒圧縮機と、冷蔵庫およびエアコンディショナー等を代表する、前記冷媒圧縮機を用いた冷凍サイクルを有する製品とに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、地球環境保護の観点から化石燃料の使用を減らすために、高効率の冷媒圧縮機の開発が進められている。冷媒圧縮機の高効率化を図る手法の一つとして、例えば、冷媒圧縮機が備える摺動部において、その摺動面に作用する面圧を低下させ、円滑な摺動を実現することが挙げられる。

20

【0003】

冷媒圧縮機が備える摺動部は、複数の摺動部材が互いに摺動面を介して組み合わせられることにより構成されている。具体的な摺動部としては、例えば、クランクシャフトの主軸部および軸受部、ピストンおよびボア、スラスト部およびスラストワッシャ、ピストンピンおよびコンロッド、クランクシャフトの偏心軸およびコンロッド等といった摺動部材の組合せが挙げられる。

【0004】

摺動部の円滑な摺動を実現する技術としては、例えば、特許文献1に開示されている密閉型コンプレッサが挙げられる。この密閉型コンプレッサは、密閉ケース内に電動機および圧縮機械を収容しており、この圧縮機械の摺動部を構成する一方の摺動部材に、リン酸マンガン系被膜等のリン酸塩皮膜を形成している。このリン酸塩皮膜は、多孔質結晶体からなる不溶解性被膜である。

30

【0005】

図13に模式的に示すように、摺動部が第一摺動部材31と第二摺動部材41とで構成されており、第二摺動部材41の摺動面に、多孔質結晶体からなる不溶解性のリン酸塩皮膜20が形成されている。具体的な例を挙げると、摺動部がボアおよびピストンからなる構成であれば、ボアが第一摺動部材31となり、ピストンが第二摺動部材41となる。また、摺動部がクランクシャフトの主軸部および軸受部からなる構成であれば、軸受部が第一摺動部材31となり、主軸部が第二摺動部材41となる。

【0006】

40

このように一方の摺動部材にリン酸塩皮膜20を形成すれば、両方の摺動部材が金属製であっても、摺動面として、第一摺動部材31の金属面と第二摺動部材41のリン酸塩皮膜20の面とが接触することになる。それゆえ、摺動面において、金属同士が接触する可能性を有効に抑制することができる。また、リン酸塩皮膜20が多孔質結晶体であるため、摺動面同士の間で潤滑油の保持性を向上することも可能となる。その結果、摺動部では、円滑な摺動が実現される。

【0007】

また、特許文献1には、リン酸塩皮膜20を形成することで、摺動面の機械加工仕上げの加工面を消すことができるため、摺動部を構成する摺動部材同士の初期なじみを良好にすることも記載されている。

50

【0008】

まず、リン酸塩皮膜20による金属面同士の接触の抑制について説明する。例えば、摺動部がボアーおよびピストンからなる構成であれば、ボアーおよびピストンの間隔は、通常、漏れ損失をできる限り小さくするために、非常に狭くなっている。そのため、ボアーおよびピストンの形状、精度ばらつき等の諸条件によっては、ボアーとピストンとの摺動面は、部分的に相互に接触する可能性がある。このような部分的な接触は、ピストンが上死点または下死点に達して摺動速度が零になった場合に生じやすい。図13に示すように、ピストン(第二摺動部材41)の摺動面にリン酸塩皮膜20が形成されていれば、金属面が露出しないため、ピストンの金属面がボアーの金属面に直接接触することが回避される。

10

【0009】

次に、リン酸塩皮膜20による潤滑油の保持性の向上について説明する。圧縮機械が備えるクランクシャフトの回転に伴ってオイルポンプが作用し、これにより、潤滑油が各摺動部に給油され、各摺動部は潤滑される。ここで、前記と同様に、摺動部がボアーおよびピストンからなる構成であれば、図13に示す摺動部では、ピストン(第二摺動部材41)の表面のリン酸塩皮膜20により潤滑油が保持される。保持された潤滑油は、ボアーおよびピストンの円滑な摺動に寄与するとともに、ボアーおよびピストンの間でシールの役割を果たす。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0010】

【特許文献1】特開平7-238885号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、近年、冷媒圧縮機の高効率化が進んでいるため、特許文献1に開示されるリン酸塩皮膜では、金属面同士の接触を有効に抑制したり潤滑油の保持性を有効に向上させたりすることが困難となっている。

【0012】

具体的には、冷媒圧縮機を高効率化させるために、より低粘度の潤滑油が用いられる傾向にあり、また、摺動部の設計上、摺動面積を縮小したり摺動長さを短くしたりすることが行われている。潤滑油の粘度が比較的高ければ、リン酸塩皮膜の多孔質結晶体の形状によって潤滑油が良好に保持されたが、潤滑油の粘度が低くなれば、多孔質結晶体による保持性が低下するおそれがある。

30

【0013】

潤滑油の保持性が低下すれば、摺動部材同士の摺動が良好に潤滑されず、摺動面への負荷が増大する可能性がある。また、潤滑油が良好に保持されないと摺動部材同士の間のシール性も低下するので、圧縮の効率に影響を及ぼすおそれがある。

【0014】

さらに、摺動面の負荷が増大すると、リン酸塩皮膜が摩耗または摩滅する可能性が高くなる。これにより、摺動部材同士のなじみ効果が持続されなくなり、摺動面の耐摩耗性が低下するおそれがある。また、リン酸塩皮膜が摩耗した箇所は金属面が露出した状態となるので、摺動面において金属面同士が接触する可能性が増加するおそれがある。

40

【0015】

しかも、摺動部材の表面にリン酸塩皮膜を形成する過程では、摺動部材の本体(母材)がエッチングされる場合がある。それゆえ、リン酸塩皮膜の摩耗により露出した金属面は、円滑面ではなく、エッチングにより凹凸の生じた粗面となる。その結果、摺動面そのものの耐摩耗性がより一層低下するおそれがある。

【0016】

加えて、摺動部の種類によっては、潤滑油に溶け込んだ冷媒ガスによってリン酸塩皮膜

50

が摩耗しやすくなる可能性がある。

【 0 0 1 7 】

例えば、摺動部がクランクシャフトの主軸部および軸受部からなる構成であれば、クランクシャフトが一回転する間に、クランクシャフトの主軸部にかかる荷重（負荷）は大きく変動する。主軸部および軸受部の間には潤滑油が保持されているが、主軸部への荷重の変動によって潤滑油に溶け込んだ冷媒ガスが発泡する可能性がある。冷媒ガスが発泡すると摺動面の間で潤滑油が少ない状態が生じるため、主軸部の摺動面と軸受部の摺動面とが部分的に接触するおそれがある。

【 0 0 1 8 】

それゆえ、冷媒ガスの発泡の頻度が増加すれば、摺動面同士の部分的な接触も増加し、その結果、主軸部の表面に形成されたリン酸塩皮膜が摩耗しやすくなり、摺動面の摩擦係数の上昇を招く。摩擦係数の上昇は摺動部の発熱を促進して、摺動面の異常摩耗が生じる可能性を増大させることになる。このような現象は、ボアーおよびピストン等の他の摺動部でも同様に生じる可能性がある。

【 0 0 1 9 】

本発明はこのような課題を解決するためになされたものであって、摺動面の耐摩耗性を向上させた摺動部材と、この摺動部材を摺動部に用いることにより、良好な信頼性および高効率化を実現し得る冷媒圧縮機およびこれを用いた冷凍サイクルを有する製品とを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 0 】

本発明に係る摺動部材は、前記の課題を解決するために、冷媒を圧縮する冷媒圧縮機が備える、潤滑油が貯留される密閉容器内の摺動部に用いられる摺動部材であって、(1)母材が鉄系材料で構成されており、かつ、当該母材の表面上に、最表面から順に、 Fe_2O_3 で構成される第一層、 Fe_3O_4 で構成される第二層、および FeO で構成される第三層からなる三層構造の酸化皮膜が形成されている構成であるか、(2)高低差が $0.01\mu m \sim 0.1\mu m$ の範囲内にある小さな凹凸を有する緻密な酸化皮膜が、母材の表面上に形成されている構成であるか、または、(3)母材が鉄系材料で構成されており、かつ、当該母材の表面上に、酸化鉄を含有し、かつ、硬度が異なる三層構造の酸化皮膜が形成されている構成である。

【 0 0 2 1 】

また、本発明に係る摺動部材は、前記(1)から(3)の構成のいずれか2つを備えていてもよく、前記(1)から(3)の全てを備えていてもよい。

【 0 0 2 2 】

また、本発明に係る冷媒圧縮機は、前記の課題を解決するために、潤滑油が貯留される前記密閉容器と、当該密閉容器内に収容される電動要素と、前記密閉容器内に収容され、前記電動要素を駆動し冷媒を圧縮する圧縮要素とを備え、当該圧縮要素には、前記(1)から(3)の少なくともいずれかの構成の摺動部材を用いた摺動部が含まれている構成である。

【 0 0 2 3 】

さらに、本発明には、前記冷媒圧縮機を備えている冷蔵庫、または、前記冷媒圧縮機を備えているエアークンディショナー等、本発明に係る冷媒圧縮機を用いた冷凍サイクルを有する製品も含まれる。

【 0 0 2 4 】

本発明の上記目的、他の目的、特徴、及び利点は、添付図面参照の下、以下の好適な実施態様の詳細な説明から明らかにされる。

【発明の効果】

【 0 0 2 5 】

本発明では、以上の構成により、摺動面の耐摩耗性を向上させた摺動部材と、この摺動部材を摺動部に用いることにより、良好な信頼性および高効率化を実現し得る冷媒圧縮機

10

20

30

40

50

およびこれを用いた冷凍サイクルを有する製品とを提供することができる、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】図1は、本発明の代表的な実施の形態に係る摺動部材が適用される冷媒圧縮機の好ましい構成の一例を示す縦断面図である。

【図2】図2は、図1に示す冷媒圧縮機におけるピストンおよびシリンダーブロックからなる摺動部を拡大して示す部分断面図である。

【図3】図3は、本発明に係る摺動部材の一例であって、図1に示す冷媒圧縮機において、ピストンとシリンダーブロックとの摺動面同士を拡大して模式的に示す断面図である。

【図4】図4は、本発明に係る摺動部材の一例であって、図1に示す冷媒圧縮機において、クランクシャフトの表面（摺動面）を拡大して模式的に示す断面図である。

【図5】図5Aは、図1に示す冷媒圧縮機を備える冷蔵庫の代表的な一例を示すブロック図であり、図5Bは、図1に示す冷媒圧縮機を備えるエアコンディショナーの代表的な一例を示すブロック図である。

【図6】図6Aは、本発明に係る摺動部材の一実施例であって、当該実施例のサンプルの表面に形成された酸化皮膜が有するくぼみの高さの測定結果を示すグラフであり、図6Bは、図6Aの酸化皮膜を電子顕微鏡で観察した結果を示す図である。

【図7】図7Aおよび図7Bは、図6Aおよび図6Bで用いられたサンプルの表面に形成された酸化皮膜による、潤滑油の経時的な吸い上げ高さを示すグラフである。

【図8】図8は、本発明に係る摺動部材の他の実施例であって、当該実施例のサンプルの表面に形成された酸化皮膜における、最表面からの深さと酸化物量との関係を示すグラフである。

【図9】図9は、図8のサンプルに対して、リング・オン・ディスク式摩耗試験を行った際のリング摩耗量を示すグラフである。

【図10】図10は、図8のサンプルに対して、リング・オン・ディスク式摩耗試験を行った際のディスク摩耗量を示すグラフである。

【図11】図11は、本発明に係る摺動部材のさらに他の実施例であって、当該実施例のサンプルの表面に形成された酸化皮膜における、最表面からの深さと硬度との関係を示すグラフである。

【図12】図12は、図11のサンプルに対して、リング・オン・ディスク式摩耗試験を行った際のリング摩耗量を示すグラフである。

【図13】図13は、図11のサンプルに対して、リング・オン・ディスク式摩耗試験を行った際のディスク摩耗量を示すグラフである。

【図14】図14は、従来の冷媒圧縮機が備える摺動部材である、ピストンおよびボアの摺動面の一例を模式的に示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

本発明に係る摺動部材は、冷媒を圧縮する冷媒圧縮機が備える、潤滑油が貯留される密閉容器内の摺動部に用いられ、母材が鉄系材料で構成されており、かつ、当該母材の表面上に、最表面から順に、 Fe_2O_3 で構成される第一層、 Fe_3O_4 で構成される第二層、および FeO で構成される第三層からなる三層構造の酸化皮膜が形成されている構成であればよい。

【0028】

前記構成によれば、前記酸化皮膜が、母材の酸化物である酸化鉄系の三層構造であるため、各層の層間密着性が向上する。これにより、各層の剥離または剥離物の凝着等といった異常発生を抑制することができる。それゆえ、摺動部材の耐摩耗性が向上するため、摺動部材の信頼性も向上するとともに摺動ロスを低減することが可能となる。その結果、当該摺動部材を用いた冷媒圧縮機の良い信頼性および高効率化を実現することが可能となる。

【0029】

前記構成の摺動部材においては、前記第一層の層厚を T_1 、前記第二層の層厚を T_2 、前記第三層の層厚を T_3 としたときに、 $T_1 : T_2 : T_3$ が $5 \sim 20 : 10 \sim 50 : 30 \sim 85$ の範囲内にあってもよい。

【0030】

前記構成によれば、例えば、摺動部を構成する一方の摺動部材の摺動面に酸化皮膜を形成することで、当該摺動面の攻撃性、すなわち、「相手材」となる他方の摺動部材の摺動面に対する攻撃性を低下させることができる。これにより、摺動部材の信頼性を向上することができる。

【0031】

前記構成の摺動部材においては、前記第三層が、アモルファス構造の FeO で構成されてもよい。

【0032】

前記構成によれば、第三層と母材との密着性を向上することが可能となるため、母材の表面から酸化皮膜の剥離を抑制することが可能となる。それゆえ、摺動部材の信頼性をさらに向上することができる。

【0033】

前記構成の摺動部材においては、前記第一層、前記第二層および前記第三層からなる酸化皮膜の膜厚が $1 \mu m \sim 3 \mu m$ の範囲内にある構成であってもよい。

【0034】

前記構成によれば、摺動部材の表面に形成される酸化皮膜の膜厚が、より好ましい範囲内となるので、耐摩耗性をより一層向上させることができる。それゆえ、摺動部材の信頼性をより一層向上することができる。

【0035】

前記構成の摺動部材においては、少なくとも、前記第一層は、酸化鉄粒子が層状に集合した構成となっており、前記酸化鉄粒子の粒径は、 $0.1 \mu m \sim 4.0 \mu m$ の範囲内である構成であってもよい。

【0036】

前記構成によれば、少なくとも第一層が所定範囲内の酸化鉄粒子により構成されているので、摺動面同士の実体的な接触面積を小さくすることが可能となる。それゆえ、摺動面の摩擦係数を低減することが可能となるので、摺動ロスをより一層低減し、摺動効率を向上させることができる。

【0037】

また、本発明に係る摺動部材は、前記の課題を解決するために、冷媒を圧縮する冷媒圧縮機が備える、潤滑油が貯留される密閉容器内の摺動部に用いられ、高低差が $0.01 \mu m \sim 0.1 \mu m$ の範囲内にある小さな凹凸を有する緻密な酸化皮膜が、母材の表面上に形成されている構成であってもよい。

【0038】

前記構成によれば、摺動面にナノメートルレベルの小さな凹凸が形成されるため、当該凹凸に由来する毛細管現象によって、潤滑油を良好に吸い上げることができ、摺動部において良好な潤滑油の保持性を実現することができる。特に、低粘度の潤滑油（高効率化された冷媒圧縮機で使用されることが多い）であっても、当該潤滑油を良好に吸い上げて保持することができる。それゆえ、摺動部材の耐摩耗性が向上するため、摺動部材の信頼性も向上するとともに摺動ロスを低減することが可能となる。その結果、当該摺動部材を用いた冷媒圧縮機の良好な信頼性および高効率化を実現することが可能となる。

【0039】

前記構成の摺動部材においては、前記酸化皮膜は、酸化物粒子が前記母材の表面に集合して敷設されることにより形成されており、互いに隣接する前記酸化物粒子の頂点同士の間隔が $4 \mu m$ 以下となるように緻密に集合している構成であってもよい。

【0040】

10

20

30

40

50

前記構成によれば、酸化物粒子と酸化物粒子との間にくぼみが形成され、このくぼみが小さな凹凸として機能する。それゆえ、このくぼみに潤滑油が溜まりやすくなり、かつ、このくぼみから摺動面に潤滑油がにじみ出やすくなる。その結果、潤滑油の保持性をより一層向上させることができ、耐摩耗性をより一層向上させることができる。

【 0 0 4 1 】

また、本発明に係る摺動部材は、前記の課題を解決するために、冷媒を圧縮する冷媒圧縮機が備える、潤滑油が貯留される密閉容器内の摺動部に用いられ、母材が鉄系材料で構成されており、かつ、当該母材の表面上に、酸化鉄を含有し、かつ、各層の硬度が異なる少なくとも三層構造の酸化皮膜が形成されている構成であってもよい。

【 0 0 4 2 】

前記構成によれば、摺動部材の摺動面に、硬度の異なる酸化鉄系の三層構造の酸化皮膜を形成するので、母材との間で良好な密着性を実現できる。また、例えば、摺動部を構成する一方の摺動部材の摺動面に酸化皮膜を形成することで、当該摺動面の攻撃性、すなわち、「相手材」となる摺動部材の摺動面に対する攻撃性を低下させることができる。それゆえ、摺動部材の耐摩耗性が向上するため、摺動部材の信頼性も向上するとともに摺動口スを低減することが可能となる。その結果、当該摺動部材を用いた冷媒圧縮機の良好な信頼性および高効率化を実現することが可能となる。

【 0 0 4 3 】

前記構成の摺動部材においては、前記三層構造のうち、最表面に位置する第一層の硬度は、中間層である第二層の硬度以下であり、前記母材上の第三層の硬度は、当該母材の硬度より大きく、かつ、前記第二層の硬度より小さい構成であってもよい。

【 0 0 4 4 】

前記構成によれば、第一層の硬度が第二層の硬度以下であることから、「相手材」となる摺動部材の摺動面に対してなじみ現象を生じやすくすることができる。また、第二層の硬度が高いため、酸化皮膜の硬度を向上させることができる。また、第三層の硬度が前記の通りであるので、母材と第三層との密着性、並びに、第三層と第二層との密着性をそれぞれ向上させることができる。これにより、第一層により、摩擦係数の低減が可能となるため「相手材」に対する攻撃性をより低下させることが可能となり、また、第二層により耐摩耗性を向上させることができ、第三層により、酸化皮膜の剥離を抑制することも可能となる。それゆえ、摺動部材の摩耗量を低下させ、かつ、摩擦係数も低減させることが可能となるので、摺動部材の信頼性を向上させることができる。

【 0 0 4 5 】

前記構成の摺動部材においては、前記第一層は、最表面の硬度が $200\text{Hv} \sim 300\text{Hv}$ の範囲内であり、前記第一層と前記第二層との近傍では、その硬度が $500\text{Hv} \sim 600\text{Hv}$ の範囲内であり、前記第二層の硬度は、 $500\text{Hv} \sim 600\text{Hv}$ の範囲内であり、前記第三層の硬度は、 $200\text{Hv} \sim 400\text{Hv}$ の範囲内であり、前記母材の硬度は、 $100\text{Hv} \sim 200\text{Hv}$ の範囲内である構成であってもよい。

【 0 0 4 6 】

前記構成によれば、第一層による「相手材」に対するなじみ現象をより良好なものとすることができ、かつ、中間層（第二層）が高硬度であるため耐摩耗性をより向上させることが可能となり、かつ、第三層が母材および第二層との間での密着性をより良好なものにできる。

【 0 0 4 7 】

前記構成の摺動部材においては、前記第一層の層厚は、 $0.01\mu\text{m} \sim 0.3\mu\text{m}$ の範囲内であり、前記第二層の層厚は、 $0.1\mu\text{m} \sim 0.8\mu\text{m}$ の範囲内であり、前記第三層の層厚は、 $0.2\mu\text{m} \sim 2.0\mu\text{m}$ の範囲内である構成であってもよい。

【 0 0 4 8 】

前記構成によれば、各層の層厚が前記範囲内にあることで、第一層の摩耗量の増加を抑制でき、第二層の脆化を抑制でき、第三層に加えられる応力を良好なものにできるので、各層の剥離を有効に抑制し、かつ、耐摩耗性の向上を図ることができる。

10

20

30

40

50

【0049】

また、本発明に係る冷媒圧縮機は、前記の課題を解決するために、潤滑油が貯留される前記密閉容器と、当該密閉容器内に収容される電動要素と、前記密閉容器内に収容され、前記電動要素を駆動し冷媒を圧縮する圧縮要素と、を備え、当該圧縮要素には、前記いずれかの構成の摺動部材を用いた摺動部が含まれている構成である。

【0050】

前記構成によれば、摺動部を構成する複数の摺動部材同士で、摺動面の接触を有効に回避することが可能となる。それゆえ、摺動ロスを低減するため摺動部への入力損失も低減することができる。その結果、冷媒圧縮機において良好な信頼性および高効率化を実現することが可能となる。

10

【0051】

前記構成の冷媒圧縮機においては、前記圧縮要素は、主軸部および偏心軸を備えたクランクシャフトと、前記主軸部を回転自在に軸支する軸受部と、当該軸受部に形成されたスラスト部と、圧縮室を形成するボアを有するシリンダーブロックと、前記圧縮室内を往復動するピストンと、前記偏心軸と平行に配置され前記ピストンに固定されたピストンピンと、前記偏心軸と前記ピストンを連結するコンロッドと、を備え、前記摺動部材は、前記クランクシャフト、前記スラスト部、前記シリンダーブロックの前記ボア、前記ピストン、前記ピストンピン、前記コンロッドの少なくともいずれか1つであればよい。

【0052】

前記構成によれば、少なくともいずれか1つの摺動部において、当該摺動部を構成する少なくとも一方の摺動部材が、その摺動面に酸化皮膜を形成している。これにより、摺動部材の耐摩耗性が向上し、摺動部の摺動ロスを低減して入力損失の低減を図ることができる。その結果、冷媒圧縮機においてより良好な信頼性および高効率化を実現することができる。

20

【0053】

前記構成の冷媒圧縮機においては、前記電動要素は、少なくとも電源周波数以下の運転周波数を含む複数の運転周波数でインバーター駆動される構成であってもよい。

【0054】

前記構成によれば、電動要素による圧縮要素の駆動速度が遅い場合であっても、摺動部において良好な摺動を実現することができる。これにより、冷媒圧縮機の圧縮能力をより一層向上させることができる。

30

【0055】

前記構成の冷媒圧縮機においては、前記潤滑油は、粘度がVG3～VG100の範囲内であってもよい。また、前記圧縮要素で圧縮される前記冷媒としては、少なくとも自然冷媒またはHFC系冷媒が用いられる構成であってもよい。

【0056】

前記冷媒が前記自然冷媒であれば、R600a(イソブタン)、R290(プロパン)、およびR744(二酸化炭素)の少なくともいずれか1種、またはこれらを含む混合物であればよい。このとき、前記潤滑油としては、鉱油、エステル油、アルキルベンゼン油、ポリビニルエーテル、およびポリアルキレングリコールからなる群より選択される少なくとも1種が用いられてもよい。

40

【0057】

また、前記冷媒が前記HFC系冷媒であれば、R134a、R152、R407C、R404A、R410、およびR32の少なくともいずれか1種、またはこれらを含む混合物であればよい。このとき、前記潤滑油としては、エステル油、アルキルベンゼン油、ポリビニルエーテル、およびポリアルキレングリコールからなる群より選択される少なくとも1種が用いられてもよい。

【0058】

前記構成によれば、冷媒ガスとして自然冷媒またはHFC系冷媒が用いられれば、潤滑油として低粘度のものが用いられたとしても、摺動部の耐摩耗性を向上させ、信頼性を高

50

めることができる。これにより、冷媒圧縮機の圧縮能力をさらに一層向上させることができる。

【 0 0 5 9 】

また、本発明には、前記構成の冷媒圧縮機を備えている冷蔵庫、または、前記構成の冷媒圧縮機を備えているエアコンディショナーも含まれる。

【 0 0 6 0 】

以下、本発明の好ましい実施の形態を、図面を参照しながら説明する。なお、以下では全ての図を通じて同一又は相当する要素には同一の参照符号を付して、その重複する説明を省略する。

【 0 0 6 1 】

[冷媒圧縮機の構成例]

まず、本発明に係る摺動部材を備える冷媒圧縮機の代表的な構成について、図1および図2を参照して説明する。なお、本実施の形態では、一定速度のレシプロ型の圧縮機を例示するが、本発明はこれに限定されない。

【 0 0 6 2 】

図1に示すように、冷媒圧縮機100は、密閉容器101と、その内部に收容される電動要素110および圧縮要素120とを備えている。密閉容器101内には冷媒ガスが充填されているとともに、底部には潤滑油103が貯留されている。また、密閉容器101には吸入管102が固定されている。吸入管102は、密閉容器101内に連通するとともに、図示しない冷凍サイクルの低圧側に接続され、冷媒ガスを密閉容器101内に導入する。

【 0 0 6 3 】

電動要素110は、固定子111および回転子112から構成され、圧縮要素120を駆動する。固定子111は、回転子112の外周に間隙を設けて配置されている。回転子112は、固定軸であるクランクシャフト121を固定しており、固定子111に嵌入した状態でクランクシャフト121とともに回転可能に構成されている。この電動要素110は、少なくとも電源周波数以下の運転周波数を含む複数の運転周波数でインバーター駆動される構成であることが好ましい。

【 0 0 6 4 】

圧縮要素120は、電動要素110により駆動される往復式であり、本実施の形態では、クランクシャフト121、シリンダーブロック131、軸受部133、ピストン141、ピストンピン142、コンロッド143、バルブプレート144、ヘッド145、吸入マフラー146等を備えている。

【 0 0 6 5 】

クランクシャフト121は、主軸部122および偏心軸123から少なくとも構成され、さらに給油ポンプ124を備えている。主軸部122は、回転子112に圧入固定されており、偏心軸123は主軸部122に対して偏心して形成されている。給油ポンプ124は、クランクシャフト121の下端となる偏心軸123に設けられ、潤滑油103を給油できるように、その一部が貯留されている潤滑油103に浸漬された状態にある。

【 0 0 6 6 】

シリンダーブロック131は、ボア132が形成されたシリンダーと軸受部133とを備えている。ボア132を有するシリンダーは、軸受部133に固定されている。ボア132は、ピストン141と略同径の略円筒形の凹部として構成され、ピストン141が進退移動可能な状態で内部に挿入されている。図2に示すように、ボア132の内部とピストン141とによって圧縮室140が形成されており、この内部で冷媒ガスが圧縮される。

【 0 0 6 7 】

ピストン141とボア132との間隔(クリアランス)は特に限定されないが、冷媒ガスの漏れ損失が小さくなるために、ある一定の範囲内に設定されている。一般的には、例えば、直径の差で5 μ m~15 μ mの範囲内となる程度が挙げられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 8 】

軸受部 1 3 3 は、前記の通り、シリンダーブロック 1 3 1 に固定されており、クランクシャフト 1 2 1 が回転可能な状態で挿入されている。また、軸受部 1 3 3 の上端面は、回転子 1 1 2 に対向するスラスト部 1 3 4 となっており、回転子 1 1 2 におけるスラスト部 1 3 4 との対向部にはフランジ面 1 1 3 が形成されている。スラスト部 1 3 4 とフランジ面 1 1 3 との間にはスラストワッシャ 1 3 5 が挿入されている（介在している）。なお、回転子 1 1 2 のフランジ面 1 1 3 と、軸受部 1 3 3 のスラスト部 1 3 4 と、スラストワッシャ 1 3 5 とによってスラスト軸受部 1 3 0 が構成されている。

【 0 0 6 9 】

ポアー 1 3 2 に挿入されたピストン 1 4 1 は、ピストンピン 1 4 2 を介してコンロッド 1 4 3 に連結されている。コンロッド 1 4 3 は、ピストン 1 4 1 とクランクシャフト 1 2 1 との連結手段であって、クランクシャフト 1 2 1 の偏心軸 1 2 3 に連結されている。また、ポアー 1 3 2 の一方の端面では、ピストン 1 4 1 が挿入された状態にあるが、他方の端面はバルブプレート 1 4 4 の一方の面によって封止されている。

【 0 0 7 0 】

バルブプレート 1 4 4 の他方の面には、ヘッド 1 4 5 が固定されている。ヘッド 1 4 5 は、圧縮室 1 4 0 に連通しており、図 1 および図 2 には具体的に図示しないが、内部に高圧室および低圧室が形成されている。ヘッド 1 4 5 とバルブプレート 1 4 4 との間には吸入マフラー 1 4 6 が設けられている。したがって、吸入マフラー 1 4 6 は、バルブプレート 1 4 4 とヘッド 1 4 5 とによって挟持された状態にある。

【 0 0 7 1 】

前記構成の冷媒圧縮機 1 0 0 の具体的な構成は特に限定されず、公知の各種構成を好適に用いることができる。特に、冷媒圧縮機 1 0 0 は複数の摺動部を備えているが、これら摺動部を構成する摺動部材は、通常、鉄系の材料で構成されている。なお、ここでいう「鉄系の材料」とは、鉄を主成分とする材料を指し、より具体的には、鉄 (F e) またはその合金を指す。代表的な鉄系の材料としては、鋳物 (鋳鉄)、鉄系粉末冶金、鍛造品、および各種鋼等が挙げられるが特に限定されない。

【 0 0 7 2 】

例えば、摺動部としては、クランクシャフト 1 2 1 の主軸部 1 2 2 および軸受部 1 3 3、ピストン 1 4 1 およびポアー 1 3 2 (シリンダー)、スラスト部 1 3 4 およびスラストワッシャ 1 3 5、ピストンピン 1 4 2 およびコンロッド 1 4 3、クランクシャフト 1 2 1 の偏心軸 1 2 3 およびコンロッド 1 4 3 等といった摺動部材の組合せが挙げられる。これら摺動部材は、鋳鉄等の鉄系の材料で構成されている。

【 0 0 7 3 】

例えば、ピストン 1 4 1、ポアー 1 3 2 を構成するシリンダーブロック 1 3 1 等は鋳鉄製を好ましく例示することができる。もちろん摺動部材は鉄系の材料に限定されず、公知の他の材料 (例えばアルミニウム系材料等) で構成されてもよいことはいうまでもなく、それゆえ、酸化皮膜は酸化鉄に限定されず、摺動部材 (母材) の材料の酸化物であればよい。また、摺動部を構成する複数の摺動部材は、いずれも鉄系材料であれば好ましいが、少なくとも 1 つのみが鉄系材料であればよい。

【 0 0 7 4 】

また、冷媒圧縮機 1 0 0 に用いられる潤滑油 1 0 3 としては、公知のものを好適に用いることができるが、代表的には、鉱油、エステル油、アルキルベンゼン油、ポリビニルエーテル、ポリアルキレングリコール等を好ましく用いることができる。これらの油状物質は、1 種のみを用いてもよいし 2 種以上を適宜組み合わせ用いてもよいし、これら以外の物質と混合して用いてもよい。

【 0 0 7 5 】

また、潤滑油 1 0 3 の各種物性も特に限定されないが、冷媒圧縮機 1 0 0 の高効率化を図る上では、粘度が所定範囲内にあることが好ましい。具体的には、V G 3 ~ V G 1 0 0 の範囲内であればよく、V G 1 0 前後であるとより好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 6 】

また、冷媒圧縮機 1 0 0 で圧縮対象となる冷媒ガスとしては、公知の冷媒を好適に用いることができる。具体的には、例えば、R 1 3 4 a、R 1 5 2、R 4 0 7 C、R 4 0 4 A、R 4 1 0、R 3 2 等の H F C 系冷媒；R 6 0 0 a（イソブタン）、R 2 9 0（プロパン）、R 7 4 4（二酸化炭素）等の自然冷媒；H F O 1 2 3 4 y f、H F O 1 2 3 4 z e 等の H F O 系冷媒；これら H F C 系冷媒、自然冷媒、または H F O 系冷媒を含む混合冷媒；等を好ましく用いることができる。これら冷媒は 1 種のみを用いてもよいし、2 種以上を適宜組み合わせ用いてもよいし、これら以外の冷媒と組み合わせ用いてもよい。

【 0 0 7 7 】

なお、冷媒として H F C 系冷媒が用いられれば、前述した潤滑油 1 0 3 の代表例のうち鉱油は用いられない。また、冷媒として H F O 系冷媒が用いられれば、前述した潤滑油 1 0 3 の代表例のうち、鉱油、エステル油、アルキルベンゼン油、ポリアルキレングリコール等が好ましく用いられる。

【 0 0 7 8 】

〔 摺動部材の構成例 〕

次に、本発明に係る摺動部材について、図 1 および図 2 に加えて図 3 および図 4 も参照して具体的に説明する。

【 0 0 7 9 】

本発明に係る摺動部材は、前述した構成（または類似する構成）の冷媒圧縮機 1 0 0 が備える摺動部を構成するものである。摺動部は、少なくとも 2 つの摺動部材が摺動面同士を対面させた状態で摺動可能に組み合わせられることにより構成される。本発明に係る摺動部材は、摺動部を構成する少なくとも一方の部材であって、その摺動面には、母材を酸化させることにより形成される酸化皮膜が設けられている。

【 0 0 8 0 】

前記構成の冷媒圧縮機 1 0 0 は、前述したように、摺動部として、ピストン 1 4 1 およびボア 1 3 2、主軸部 1 2 2 および軸受部 1 3 3、軸受部 1 3 3 のスラスト部 1 3 4 およびスラストワッシャ 1 3 5、回転子 1 1 2 のフランジ面 1 1 3 およびスラストワッシャ 1 3 5、ピストンピン 1 4 2 およびコンロッド 1 4 3、クランクシャフト 1 2 1 の偏心軸 1 2 3 およびコンロッド 1 4 3 等の組合せが挙げられるが、これら摺動部材の組合せのうち、少なくとも一方の摺動部材の摺動面に、酸化皮膜が形成されている。

【 0 0 8 1 】

なお、酸化皮膜は、摺動部を構成する 2 つ以上の摺動部材の少なくとも一方に設けられていればよいが、好ましくは、自身が動作せずに静止している側の摺動部材（第一摺動部材）ではなく、自身が動作する側の摺動部材（第二摺動部材）に設けられている。例えば、図 3 に模式的に示すように、摺動部が、ピストン 1 4 1 およびボア 1 3 2 の組合せからなる構成であれば、酸化皮膜 2 0 0 は、静止する側の摺動部材であるボア 1 3 2 ではなく、動作する側の摺動部材であるピストン 1 4 1 の摺動面に設けられていることが好ましい。あるいは図示しないが、摺動部が、クランクシャフト 1 2 1 の主軸部 1 2 2 および軸受部 1 3 3 の組合せからなる構成であれば、軸受部 1 3 3 ではなく主軸部 1 2 2 の摺動面に酸化皮膜 2 0 0 が設けられていることが好ましい。

【 0 0 8 2 】

次に、酸化皮膜 2 0 0 の具体的構成について説明する。酸化皮膜 2 0 0 は、摺動部材の母材を酸化処理することによって形成される酸化物の膜である。摺動部材の母材としては、例えば、前述したように鉄系の材料を好適に用いることができるが、この場合、酸化皮膜 2 0 0 は酸化鉄から構成されることになる。そこで、下記の説明では、酸化鉄からなる酸化皮膜 2 0 0 を例に挙げてより具体的に説明する。

【 0 0 8 3 】

酸化皮膜 2 0 0 は、図 3 に示すように、表面にナノメートルレベルの小さな凹凸が形成される酸化鉄の皮膜である。具体的には、粒径が 0 . 1 μm ~ 4 . 0 μm の範囲内にある酸化鉄粒子、好ましくは、粒径が 1 μm 未満の酸化鉄粒子が、母材の表面上に緻密に集合

10

20

30

40

50

して敷設された構成を挙げることができる。酸化鉄は酸化前の鉄よりも高い硬度を有しており、しかも、酸化鉄粒子が緻密に集合していることから、酸化皮膜200は良好な耐摩耗性を実現することができる。

【0084】

また、酸化皮膜200の膜厚は特に限定されないが、 $1\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$ の範囲内であることが好ましい。 $1\mu\text{m}$ 未満であれば、膜厚が小さすぎて酸化皮膜200としての作用効果を十分に発揮できない場合があり、 $3\mu\text{m}$ よりも大きければ、膜厚が大きすぎて酸化皮膜200としての作用効果を十分に発揮できない場合がある。なお、酸化皮膜200の膜厚は、X線回折分析またはグロー放電発光分光分析により測定することができる。また、表面の酸化鉄粒子の粒径および緻密に集合している状態は、原子間力顕微鏡(AFM)を用いて測定または評価することができる。

10

【0085】

ここで、酸化皮膜200のくぼみ210は、酸化鉄粒子同士が隣接して結合した状態で形成される凹部であり、くぼみ210の深さは、酸化鉄粒子の凸部の頂点と酸化物粒子同士の結合部の谷間との高低差 D_h に相当する。くぼみ210の深さ D_h (すなわち凹凸の大きさ)は特に限定されないが、 $0.01 \sim 0.1\mu\text{m}$ の範囲内であればよい。

【0086】

また、本発明において、酸化鉄粒子同士が緻密に集合した状態とは、隣接する粒子の頂点同士の間隔が $4\mu\text{m}$ 以下となる状態、好ましくは $0.01 \sim 4\mu\text{m}$ の範囲内となる状態を指す。酸化鉄粒子の緻密な集合体が酸化皮膜200であり、この緻密な集合は、原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscope; AFM)により縦方向(X方向)および横方向(Y方向)について頂点同士の間隔を測定することにより評価する。なお、くぼみ210の深さ(高低差) D_h は、Z方向に相当する。

20

【0087】

酸化皮膜200のくぼみ210は、潤滑油103を保持する「油溜り」となる。前記の通り、酸化皮膜200のくぼみ210は、酸化物粒子同士の結合部の谷間(凹部)であって、酸化鉄粒子の頂点(凸部)との高低差は $0.1\mu\text{m}$ 以下となる。くぼみ210がこのような高低差を有することにより、潤滑油103がくぼみ210に溜まりやすくなる。これにより、潤滑油103の粘度が従来よりも低いものであっても、くぼみ210に由来する毛細管現象で潤滑油103が摺動面同士の間的良好に吸い上げられる。その結果、摺動部材の摺動面に潤滑油103が滲んだような状態で保持され、摺動面同士の潤滑状態を良好に維持することができる。

30

【0088】

ここで、くぼみ210の深さ(凹凸の大きさ) D_h が $0.01\mu\text{m}$ 未満であれば、摺動面同士の間で潤滑油103を良好に保持することができなくなる。これにより、酸化皮膜200が、他方の摺動部材の摺動面である金属面に直接摺動して、摺動ロスが増加したり、他方の摺動部材の摺動面が摩耗したりするおそれがある。一方、深さ D_h が $0.1\mu\text{m}$ を超えると、摺動面の粗さが大きくなり過ぎて摺動面同士の摩擦係数が増加する。これにより、摺動抵抗が増大したり、局所的な摩耗が発生して他方の摺動部材の摺動面を傷つけたりする可能性がある。

40

【0089】

なお、深さ D_h が $0.1\mu\text{m}$ を超えた場合、摺動面の粗さを小さくするために、表面ラップ等の処理を行ってもよいが、表面を削るという追加加工が必要となり、コストの増加につながる。また、酸化皮膜200の表面に後処理を施し過ぎると、今度は凹凸が小さくなりすぎる可能性がある。この場合、潤滑油103を良好に保持できず、前記の通り、摺動ロスの増加または他方の摺動面の摩耗が生じるおそれがある。したがって、追加加工等の後処理はなるべく避けた方がよい。

【0090】

本発明における酸化皮膜200は、母材である摺動部材の表面に単層で形成されてもよいが、多層構造体として形成されることが好ましい。代表的には、図4に示すような三層

50

構造体を挙げる事ができる。三層構造体としての酸化皮膜200は、図4に示すように、外面(最表面)220から第一層201、第二層202、第三層203となっており、母材150から見れば、第三層203、第二層202、および第一層201の順で積層されていることになる。なお、図4では図示しないが、第一層201の外面220には、前述したくぼみ210(微細な凹凸)が形成されている。

【0091】

これら各層は、それぞれ異なる硬度を有しているか、または、それぞれ異なる酸化物から構成されているか、あるいはその両方を満たすことが好ましい。

【0092】

まず、各層の硬度が異なる場合について説明すると、第一層201の硬度は、第二層202の硬度以下であり、第三層203の硬度は、母材150の硬度より大きく第二層202の硬度よりも小さい(母材150と第二層202の間となる硬度である)ことが好ましい。

【0093】

具体的には、好ましい硬度の一例として、第一層201の最表面(外面220)の硬度は200Hv~300Hvの範囲内であり、第一層201および第二層202の近傍の硬度分布は、500Hv~600Hvの範囲内であり、第二層202の硬度は500Hv~600Hvの範囲内であり、第三層203の硬度は200Hv~400Hvの範囲内であり、母材150の硬度は100Hv~200Hvの範囲内である構成を挙げる事ができる。特に第一層201は、最表面から摺動部材の断面の中心に向けて硬度が上昇し、第二層202との近傍では、当該第二層202と同程度の硬度分布となることが好ましい。

【0094】

なお、本発明においては、各層および母材150の硬度は、JIS Z2244に規定されるピッカース硬さ試験 - 試験方法に基づいて測定している。

【0095】

各層の硬度が前記の範囲内であれば、酸化皮膜200を構成する各層の密着性の向上を図ることができるとともに、酸化皮膜200(一方の摺動面)として、他方の摺動面に対する攻撃性が低下することができる。一方の摺動面が他方の摺動面を攻撃することによって、他方の摺動面が摩耗しやすくなるだけでなく、自身についても、その表層(第一層201)の一部が剥離する等の異常が生じる可能性がある。この場合、剥離物が双方の摺動面の間で凝着して、少なくとも一方の摺動面に異常摩耗が生じる可能性がある。それゆえ、酸化皮膜200による攻撃性の低下は、耐摩耗性を向上させるだけでなく、各摺動面の異常摩耗も有効に抑制することができる。

【0096】

具体的には、第一層201は第二層202の硬度以下であり、かつ、最表面の硬度が前記範囲内であるので、最表面(外面220)が、他方の摺動面に対して良好なじみ性を発揮することができる。そのため、摺動面同士の摩擦係数が減少するため、冷媒圧縮機100への入力損失が低減し、冷媒圧縮機100の効率の向上を図ることができる。また、中間層である第二層202が高硬度であるため、酸化皮膜200全体の耐摩耗性を向上させるが可能となる。さらに、第三層203が、母材150よりも大きな硬度で第二層202より小さい硬度であるため、第三層203と第二層202との密着性の向上、並びに、第三層203と母材150との密着性の向上を図ることができる。

【0097】

また、各層の厚さ(層厚)は特に限定されないが、好ましい一例として、第一層201の層厚が0.01 μ m~0.3 μ mの範囲内であり、第二層202の層厚が0.1 μ m~0.8 μ mの範囲内であり、第三層203の層厚が0.2 μ m~2.0 μ mの範囲内である構成を挙げる事ができる。ここで、第一層201および第二層202の近傍とは、第一層201と第二層202との境界に対して、 $\pm 0.1\mu$ m以内の範囲であることと定義する。なお、各層の層厚は、酸化皮膜200の膜厚と同様に、X線回折分析またはグロー放電発光分光分析により測定することができる。

10

20

30

40

50

【0098】

もちろん、本発明においては、各層の厚みは前記範囲から外れてもよいが、酸化皮膜200が形成されている摺動部材（第二摺動部材）が鉄系材料で構成され（したがって酸化皮膜200も酸化鉄で構成され）、他方の摺動部材（第一摺動部材）も鉄系材料で構成されていれば、各層の層厚は前記の範囲内にあることが好ましい。

【0099】

具体的には、第一層201の層厚が $0.3\mu\text{m}$ より大きくなると、他方の摺動部材の摺動面の磨耗量が増加して磨耗粉が多くなる傾向にある。これにより、場合によっては、他方の摺動面の耐摩耗性が低下する可能性がある。一方、第一層201の層厚が $0.01\mu\text{m}$ より小さくなると、摺動面同士がなじみ性を示さない可能性がある。この場合、第二層202が他方の摺動面を攻撃しやすくなり、他方の摺動面の摩耗が増加する可能性がある。

10

【0100】

また、第二層202の層厚が $0.8\mu\text{m}$ より大きくなると、場合によっては、第二層202そのものが脆化する可能性がある。第二層202が脆化すると剥離または割れが生じやすくなり、その結果、第二層202の表面が荒れて他方の摺動面を傷つけやすくなり、他方の摺動面に異常磨耗が生じる可能性がある。一方、第二層202の層厚が $0.1\mu\text{m}$ より小さくなると、第二層202による耐摩耗性が小さくなる可能性がある。

【0101】

また、第三層203の層厚が $2.0\mu\text{m}$ より大きくなると、摺動時に第二層202と第三層203と間にかかる応力が増加しやすくなる傾向にあり、場合によっては、第二層202と第三層203と間で境界剥離が生じる可能性がある。一方、第三層203の層厚が $0.2\mu\text{m}$ より小さくなると、第二層202と第三層203との間、あるいは、第三層203と母材150との間に、第三層203が生成した時点での残留応力が集中しやすくなる傾向がある。これにより、場合によっては、第二層202と第三層203との間、あるいは、第三層203と母材150との間に剥離が生じやすくなる可能性がある。

20

【0102】

次に、各層がそれぞれ異なる酸化物から構成されている場合について説明すると、第一層201は Fe_2O_3 で構成され、第二層202は Fe_3O_4 で構成され、第三層203は FeO で構成されている例を挙げることができる。なお、各層の酸化鉄の成分分析は、各層の層厚の測定に用いたに、X線回折分析またはグロー放電発光分光分析により行うことができる。また、外面（最表面）220（すなわち第一層201の上）に水酸化鉄の層が形成されてもよい。したがって、酸化皮膜は少なくとも第一層201から第三層203の三層構造であればよいが、四層以上の多層構造であってもよい。

30

【0103】

これら各層の層厚は特に限定されず、前述した各層の硬度が異なる場合で例示した層厚であってもよいが、特に、各層の層厚を比で表したときに、第一層201の層厚をT1とし、第二層202の層厚をT2とし、第三層203の層厚をT3としたときに、 $T1:T2:T3=5\sim 20:10\sim 50:30\sim 85$ の範囲内であることが好ましい。

【0104】

また、各層を構成する酸化鉄の構造も特に限定されず、一般的な多結晶構造等であればよいが、第三層203を構成する FeO については、アモルファス構造であると好ましい。第三層203がアモルファス構造であれば、母材150と第三層203との密着性が向上するため、酸化皮膜200の信頼性を向上することができる。

40

【0105】

このように、酸化皮膜200が三層構造体であれば、単層構造である場合に比べて良好な物性を発揮することができる。特に、酸化皮膜200が、前述した異なる硬度を有していると同時に、それぞれ異なる酸化物から構成されていれば、より一層優れた物性を発揮することが可能になる。

【0106】

50

つまり、硬度が異なる場合であっても酸化鉄が異なる場合であっても、最表層が他方の摺動面に対して良好ななじみ性を発揮することができ、かつ、他方の摺動面に対して摩擦係数が低減するため、摺動部としての円滑性の向上を図ることができる。また、中間層は耐摩耗性を向上させることができ、最下層は中間層および母材との密着性と向上することができる。しかも、全ての層が酸化鉄として異なっている、互いに優れた親和性を有しているため、各層間の密着性を向上させることができる。それゆえ、各層が剥離する等の異常を回避することが可能になり、他方の摺動面に異常摩擦が生じる等の事態を抑制することができる。それゆえ、摺動部材としての信頼性を向上することができる。

【0107】

本発明における酸化皮膜200の形成方法は特に限定されず、母材の材質、摺動部材の寸法、摺動部材の形状、あるいは摺動面の状態等の諸条件に応じて、公知の酸化方法を好適に用いることができる。具体的には、母材（摺動部材）が鉄系材料であれば、公知の酸化媒体を用いて、当該酸化媒体中で摺動部材を400～600程度の範囲内で加熱して酸化処理すれば、酸化皮膜200を形成することができる。

【0108】

なお、母材が鉄系材料である場合、摺動面（酸化皮膜200の形成面）に公知の表面処理を行って活性化してから、酸化皮膜200を形成してもよい。表面処理の手法としては、例えば、ショットピーニングまたはバレル研磨等が挙げられるが、特に限定されない。

【0109】

また、酸化媒体の種類、酸化媒体の濃度、摺動部材（および酸化媒体）の加熱温度、経時的な加熱温度の変更、加熱手段の種類等の諸条件を適切に設定することにより、酸化皮膜200として、単層構造体または三層構造体（あるいは他の多層構造体）の酸化鉄皮膜を形成することができる。例えば、第三層203であるFeO層をアモルファス構造とするには、加熱温度を相対的に低くすればよい。例えば、酸化媒体中で550まで加熱することで酸化皮膜を形成する場合であれば、第三層203の加熱を480までに抑えることで、FeO層をアモルファス層とすることができる。また、母材が鉄系材料以外の材料であれば、当該材料の種類に応じて諸条件を適宜設定して酸化処理を行えばよい。

【0110】

[冷媒圧縮機の動作例]

次に、前記構成の酸化皮膜200を有する摺動部材を用いた、前記構成の冷媒圧縮機100について、図1および図2を参照して、その動作を具体的に説明する。

【0111】

まず、図示しない商用電源から電動要素110に電力を供給することによって、電動要素110の回転子112を回転させる。回転子112は、クランクシャフト121を回転させるので、主軸部122の回転により偏心軸123も回転する。偏心軸123の主軸部122に対する偏心運動は、コンロッド143からピストンピン142を介してピストン141に伝達される。これにより、ピストン141は、ボア132内を往復運動する。

【0112】

ピストン141の往復運動により、吸入管102を通じて図示しない冷凍サイクルから冷媒ガスが密閉容器101内に導入される。導入された冷媒ガスは、吸入マフラー146から、ボア132の内部とピストン141とによって隔離された空間、すなわち圧縮室140に吸入され、当該圧縮室140内で圧縮される。圧縮室140内で圧縮された冷媒ガスは、図示しない吐出管を通して図示しない冷凍サイクルに排出される。そして、冷媒ガスは、冷凍サイクル内を循環して、再び吸入管102より密閉容器101内に導入される。

【0113】

また、クランクシャフト121が回転することに伴って給油ポンプ124が動作する。給油ポンプ124は、密閉容器101の下方に貯留する潤滑油103を吸い上げて、複数の摺動部それぞれに潤滑油103を給油する。これにより、各摺動部が潤滑油103によって潤滑されるとともに、例えば、ボア132とピストン141との間では、潤滑油1

10

20

30

40

50

03はシールの役割も果たす。

【0114】

ここで、本実施の形態では、複数の摺動部のうち、ピストン141およびボア-132からなる摺動部と、クランクシャフト121の主軸部122および軸受部133からなる摺動部とにおいて、一方の摺動部材であるピストン141または主軸部122の摺動面に、前述した酸化皮膜200（図3および図4参照）が形成されている。

【0115】

例えば、ピストン141およびボア-132からなる摺動部において、ピストン141がボア-132内で往復圧縮運動をする際に、ピストン141とボア-132との間隔は非常に狭く設定されている。そのため、ピストン141およびボア-132の形状または精度のばらつき等の条件によっては、それぞれの摺動面が部分的に相互接触を起こす可能性がある。特に、図1に示すようなレシプロ型の冷媒圧縮機100においては、ピストン141が上死点または下死点に位置したときには、ピストン141の速度が零となる。それゆえ、論理的には油圧が発生しなくなり、潤滑油103の油膜が形成されなくなる。したがって、ピストン141が上死点または下死点に達したときに、摺動面同士に部分的な接触が生じることが多い。

10

【0116】

例えば、ピストン141が上死点付近にあるときは、当該ピストン141が、圧縮された高圧の冷媒ガスにより大きな圧縮荷重を受ける。この圧縮荷重はピストンピン142およびコンロッド143を介してクランクシャフト121に伝達される。これにより、クランクシャフト121がピストン141の移動方向の反対側に傾斜する。クランクシャフト121が傾斜すると、ボア-132の内部でピストン141が傾斜する。その結果、ピストン141の摺動面がボア-132の摺動面に対して部分的に接触することになる。

20

【0117】

また、クランクシャフト121の主軸部122および軸受部133からなる摺動部においては、圧縮室140で圧縮された冷媒ガスのガス圧により、主軸部122にかかる荷重（負荷）が大きく変動する。これにより、クランクシャフト121の主軸部122と軸受部133との間は、潤滑油103に溶け込んだ冷媒ガスが繰り返し発泡するおそれがある。しかも、冷媒圧縮機100の高効率化に伴い、主軸部122と軸受部133との間隔が狭くなっているため、摺動面において部分的な接触が生じる頻度が高くなる。

30

【0118】

さらに、潤滑油103の粘度が低い場合には、冷媒圧縮機100が停止したときに、摺動面間で保持される潤滑油103の量が少なくなる傾向にある。それゆえ、冷媒圧縮機100が起動した直後でも、摺動面において部分的な接触が生じる頻度が高くなる。

【0119】

これらのように、摺動部の摺動面同士で部分的な接触が生じやすくなると、摺動面同士が摩耗するため、摺動部の信頼性が損なわれるとともに、摺動部に摺動ロスが発生しやすくなる。その結果、このような摺動部を備える冷媒圧縮機100の信頼性が低下したり、高効率化が妨げられたりするおそれがある。

【0120】

これに対して、本実施の形態では、ピストン141またはクランクシャフト121の主軸部122の摺動面には、前述した酸化皮膜200が設けられているので、摺動面同士において金属面の接触を有効に回避できる。しかも、ピストン141およびボア-132の間、あるいは、主軸部122と軸受部133との間は、狭くなっていることから、表面張力の作用により潤滑油103が潤沢に供給されるとともに、酸化皮膜200が良好な潤滑油103の保持性を発揮できるので、摺動面間で潤滑油103が安定的に維持される。

40

【0121】

それゆえ、これら摺動部においては、摺動面同士の間が常に流体で潤滑された状態となるので、各摺動面は摩耗しにくくなる。それゆえ、摺動部において良好な耐摩耗性を実現することができるので、摺動部としての信頼性が向上するとともに摺動ロスを低減するこ

50

とができる。その結果、高効率で優れた信頼性の冷媒圧縮機 100 を提供することができる。

【0122】

また、ピストン 141 とボア 132 との摺動部では、摺動面同士の間は潤滑油 103 で良好にシールされることになる。これにより、圧縮室 140 で圧縮された冷媒ガスがピストン 141 とボア 132 との間から漏れることも有効に低減することができる。それゆえ、ピストン 141 とボア 132 との間で良好な耐摩耗性を実現できるだけでなく、低粘度の潤滑油 103 であっても良好に保持できるので、冷媒ガスを効率的に圧縮することが可能となる。その結果、高効率で優れた信頼性の冷媒圧縮機 100 を提供することができる。

10

【0123】

このように、本発明に係る摺動部材は、(1) 母材 150 が鉄系材料で構成されており、かつ、当該母材 150 の表面上に、最表面から順に、 Fe_2O_3 で構成される第一層 201、 Fe_3O_4 で構成される第二層 202、および FeO で構成される第三層 203 からなる三層構造の酸化皮膜 200 が形成されている構成、(2) 高低差が $0.01\mu m \sim 0.1\mu m$ の範囲内にある小さな凹凸（例えばくぼみ 210）を有する緻密な酸化皮膜 200 が、母材 150 の表面上に形成されている構成、または、(3) 母材 150 が鉄系材料で構成されており、かつ、当該母材 150 の表面上に、酸化鉄を含有し、かつ、硬度が異なる三層構造の酸化皮膜 200 が形成されている構成であればよく、前記(1)から(3)の構成のいずれか2つを備えていてもよく、前記(1)から(3)の全てを備えていてもよい。

20

【0124】

このような構成の酸化皮膜 200 を摺動面に形成することによって、優れた信頼性を有する摺動部材を得ることができる。それゆえ、この摺動部材を組み込んで摺動部を構成することにより、冷媒圧縮機 100 の高効率化および信頼性の向上を図ることができる。

【0125】

[冷媒圧縮機の適用例]

本発明に係る摺動部材は、前記の通り、冷媒圧縮機 100 の摺動部に広く好適に用いることができるが、当該摺動部材を用いた、本発明に係る冷媒圧縮機 100 は、冷凍サイクルまたはこれと実質同等な構成を有する各種機器に広く好適に用いることができる。具体的には、例えば、冷蔵庫（家庭用、業務用）、除湿器、ショーケース、製氷機、ヒートポンプ式給湯機、ヒートポンプ式洗濯乾燥機、自動販売機、エアーコンディショナー等を挙げることができるが、特に限定されない。

30

【0126】

本発明に係る冷媒圧縮機 100 の代表的な適用例として、冷蔵庫を例に挙げて説明する。具体的には、例えば、図 5A のブロック図に模式的に示すように、本実施の形態に係る冷蔵庫 160 は、図 1 に示す冷媒圧縮機 100、凝縮器 161、減圧装置 162、蒸発器 163、および配管 164 等を備えている。また、冷蔵庫 160 は、図示しないが、冷蔵庫本体となる筐体、送風機、操作部、制御部等も備えている。

【0127】

冷媒圧縮機 100 は、前述した構成を有しており、冷媒ガスを圧縮して、高温高圧のガス冷媒にする。凝縮器 161 は、冷媒を冷却して液化させる。減圧装置 162 は、例えばキャピラリーチューブで構成され、液化された冷媒（液冷媒）を減圧する。蒸発器 163 は、冷媒を蒸発させて低温低圧のガス冷媒にする。冷媒圧縮機 100、凝縮器 161、減圧装置 162、および蒸発器 163 は、冷媒ガスを流通させる配管 164 により、この順で環状に接続され、これにより冷凍サイクルが構成されている。

40

【0128】

なお、凝縮器 161、減圧装置 162、蒸発器 163、配管 164、本体筐体、送風機、操作部、制御部等の構成は特に限定されず、公知の構成を好適に用いることができる。また、冷蔵庫 160 は、これら以外の公知の構成を備えていてもよい。

50

【 0 1 2 9 】

図 5 A に示す冷蔵庫 1 6 0 の動作の一例について具体的に説明する。冷媒圧縮機 1 0 0 はガス冷媒を圧縮して凝縮器 1 6 1 に吐出する。凝縮器 1 6 1 はガス冷媒を冷却して液冷媒とする。液冷媒は減圧装置 1 6 2 を通過することにより減圧され、蒸発器 1 6 3 に送られる。蒸発器 1 6 3 では、液冷媒が周囲から熱を奪うことにより気化し、ガス冷媒となって冷媒圧縮機 1 0 0 に戻る。冷媒圧縮機 1 0 0 はガス冷媒を圧縮して再び凝縮器 1 6 1 に吐出する。

【 0 1 3 0 】

また、本発明に係る冷媒圧縮機 1 0 0 の他の適用例として、エアコンディショナーを例に挙げて説明する。具体的には、図 5 B のブロック図に模式的に示すように、本実施の形態に係るエアコンディショナー 1 7 0 は、室内機 1 7 1 および室外機 1 7 2、並びにこれらを接続する配管 1 7 6 を備えており、室内機 1 7 1 は熱交換器 1 7 3 を備え、室外機 1 7 2 は熱交換器 1 7 4 と図 1 に示す冷媒圧縮機 1 0 0 とを備えている。

10

【 0 1 3 1 】

室内機 1 7 1 の熱交換器 1 7 3 と室外機 1 7 2 の熱交換器 1 7 4 とは、配管 1 7 6 で環状に接続され、これにより冷凍サイクルを形成している。また、熱交換器 1 7 3 と熱交換器 1 7 4 とを接続する配管 1 7 6 には、冷暖房切替用の四方弁 1 7 5 が設けられている。なお、室内機 1 7 1 は、図示しない送風ファン、温度センサ、操作部等を備えており、室外機 1 7 2 は、図示しない送風機、アキュムレータ等を備えている。さらに、配管 1 7 6 には、図示しない各種弁装置（四方弁 1 7 5 も含む）、ストレーナ等が設けられている。

20

【 0 1 3 2 】

室内機 1 7 1 が備える熱交換器 1 7 3 は、送風ファンにより室内機 1 7 1 の内部に吸い込まれた室内空気と、熱交換器 1 7 3 の内部を流れる冷媒との間で熱交換を行う。室内機 1 7 1 は、暖房時には熱交換により暖められた空気を室内に送風し、冷房時には熱交換により冷却された空気を室内に送風する。室外機 1 7 2 が備える熱交換器 1 7 4 は、送風機により室外機 1 7 2 の内部に吸い込まれた外気と熱交換器 1 7 4 の内部を流れる冷媒との間で熱交換を行う。

【 0 1 3 3 】

なお、室内機 1 7 1 および室外機 1 7 2 の具体的な構成、あるいは、熱交換器 1 7 3 または 1 7 4、四方弁 1 7 5、送風ファン、温度センサ、操作部、送風機、アキュムレータ、その他の弁装置、ストレーナ等の具体的な構成は特に限定されず、公知の構成を好適に用いることができる。

30

【 0 1 3 4 】

図 5 B に示すエアコンディショナー 1 7 0 の動作の一例について具体的に説明する。まず、冷房運転または除湿運転では、室外機 1 7 2 の冷媒圧縮機 1 0 0 はガス冷媒を圧縮して吐出し、これによりガス冷媒は四方弁 1 7 5 を介して室外機 1 7 2 の熱交換器 1 7 4 に送出される。熱交換器 1 7 4 は外気とガス冷媒とを熱交換するので、ガス冷媒は凝縮して液化する。液化した液冷媒は減圧され、室内機 1 7 1 の熱交換器 1 7 3 に送出される。熱交換器 1 7 3 では、室内空気との熱交換により液冷媒が蒸発してガス冷媒となる。このガス冷媒は、四方弁 1 7 5 を介して室外機 1 7 2 の冷媒圧縮機 1 0 0 に戻る。冷媒圧縮機 1 0 0 はガス冷媒を圧縮して四方弁 1 7 5 を介して再び熱交換器 1 7 4 に吐出する。

40

【 0 1 3 5 】

また、暖房運転では、室外機 1 7 2 の冷媒圧縮機 1 0 0 はガス冷媒を圧縮して吐出し、これによりガス冷媒は四方弁 1 7 5 を介して室内機 1 7 1 の熱交換器 1 7 3 に送出される。熱交換器 1 7 3 では、室内空気との熱交換によりガス冷媒が凝縮して液化する。液化した液冷媒は、図示しない減圧弁により減圧されて気液二相冷媒となり、室外機 1 7 2 の熱交換器 1 7 4 に送出される。熱交換器 1 7 4 は外気と気液二相冷媒とを熱交換するので、気液二相冷媒は蒸発してガス冷媒となり、冷媒圧縮機 1 0 0 に戻る。冷媒圧縮機 1 0 0 はガス冷媒を圧縮して四方弁 1 7 5 を介して再び室内機 1 7 1 の熱交換器 1 7 3 に吐出する

50

【 0 1 3 6 】

このような冷蔵庫 160 またはエアコンディショナー 170 は、前述した構成の冷媒圧縮機 100 を備えている。この冷媒圧縮機 100 は、前述したように、摺動面に酸化皮膜 200 を形成した摺動部材と、この摺動部材を用いた摺動部を備えている。それゆえ、冷媒圧縮機 100 は、高効率化および高信頼性を有するものとなっており、この冷媒圧縮機 100 を備える冷蔵庫 160 またはエアコンディショナー 170 についても、高効率化および信頼性の向上を図ることができる。

[変形例]

本実施の形態では、酸化皮膜 200 を摺動面に形成した摺動部として、ピストン 141 およびボア 132 からなる摺動部、並びに、クランクシャフト 121 の主軸部 122 および軸受部 133 からなる摺動部を例示したが、本発明はこれに限定されず、軸受部 133 のスラスト部 134 およびスラストワッシャ 135、回転子 112 のフランジ面 113 およびスラストワッシャ 135、ピストンピン 142 およびコンロッド 143、クランクシャフト 121 の偏心軸 123 およびコンロッド 143 等といった、他の摺動部材の組合せからなる摺動部に対しても好適に適用することができる。

【 0 1 3 7 】

例えば、クランクシャフト 121 の偏心軸 123 およびコンロッド 143 からなる摺動部においても、主軸部 122 および軸受部 133 からなる摺動部と同様に、偏心軸 123 にかかる荷重が大きく変動することで、摺動面同士の間で、潤滑油 103 に溶け込んだ冷媒ガスが繰り返し発泡するおそれがある。それゆえ、偏心軸 123 の摺動面に酸化皮膜 200 を形成することで、摺動部における良好な耐摩耗性を実現することができる。

【 0 1 3 8 】

また、本実施の形態では、冷媒圧縮機 100 は、一定速度のレシプロ型（往復動式）であるが、本発明はこれに限定されず、スクロール型、ロータリー型（回転式）、振動式等のように、摺動部を有する他の型式の圧縮機にも好適に適用することができる。さらに、近年、インバーター化に伴って圧縮機の低速化が進む中、特に 20 Hz を切るような超低速運動を行うに圧縮機に対しても、本発明を好適に適用することができる。

【 0 1 3 9 】

さらに、圧縮機の摺動部材を構成する材料としては、FC200 または FC250 等の普通鉄（ねずみ鉄）が選定されることが多いが、この場合、酸化皮膜 200 を構成する酸化鉄粒子の粒径のばらつきが大きくなる。この場合、酸化皮膜 200 のくぼみ 210 の深さ（小さな凹凸の高低差） D_h が $0.02 \mu\text{m} \sim 0.08 \mu\text{m}$ の範囲内となるように、酸化皮膜 200 を形成する処理の条件を決定することが望ましい。これにより、バラツキを考慮した工業的な多量生産において、品質の安定を図ることができる。

【 実施例 】

【 0 1 4 0 】

本発明について、実施例および比較例に基づいてより具体的に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。当業者は本発明の範囲を逸脱することなく、種々の変更、修正、および改変を行うことができる。なお、以下の実施例および比較例における各種物性等の測定または評価は次に示すようにして行った。

【 0 1 4 1 】

（測定方法または評価方法）

[酸化皮膜の緻密性の評価]

ハイジトロン社（Hysitron Inc.）製のナノインデンテーション装置・TI-950 トライポインデーター（商品名）により、酸化皮膜の縦方向（X方向）および横方向（Y方向）について頂点同士の間隔を測定して評価した。

【 0 1 4 2 】

[酸化皮膜の膜厚の測定および分析：X線回折（XRD）分析]

酸化皮膜の膜厚は、パナリティカル社（PANalytical B.V.）製のX線回折装置 X'Pert

10

20

30

40

50

PRO MPD (商品名) を用いて、線源：X線ミラー、スリット：1/2°、マスク：10 mm、検出器：Xe 比例検出器、管球：Cu、電圧：45 kV、電流：40 mA の条件で測定した。

【0143】

[酸化皮膜の膜厚の測定および分析：グロー放電発光分光分析 (GDS)]

また、酸化皮膜の膜厚は、(株)堀場製作所製 (JOBIN YVON S.A.S.) のグロー放電発光分光分析装置 (GD-OES) GD-PROFILER 2 (商品名) を用いて、現行手法プログラム (Current Method-program) : Fe-Matrix-21P-0、定電力 (Constant Electric Power) : 35 W、アルゴン放電圧力 (Ar-Pressure) : 600 Pa、放電モード：ノーマルスパッタ、放電範囲：4 mm、測定元素 (Analytical Element) : O, Fe, H, Si, Mn, Cr, Cu, Ni, Al, Ti, Co, C, N, Ca, Na, S, P の計 17 元素、分析時間：250 秒、サンプリング時間：0.1 秒/ポイントの条件で測定した。

10

【0144】

[表面の酸化鉄粒子の粒径の測定]

酸化皮膜の表面に位置する酸化鉄粒子の大きさは、ハイジトロン社製のナノインデンテーション装置・TI-950 トライポインデーター (商品名) により測定した。

【0145】

[ビッカース硬度の測定]

酸化皮膜を構成する第一層～第三層、並びに母材のビッカース硬度は、JIS Z2244 に基づいて、ハイジトロン社製のナノインデンテーション装置・TI-950 トライポインデーター (商品名) により測定した。この測定では、圧子 (プローブ) の押し込み荷重および深さを連続的に測定し、ナノインデンテーション法 (押し込み深さおよび荷重の曲線から圧入硬度 (indentation hardness) またはヤング率を算出する方法) による硬度測定結果からのビッカース硬度への換算を行った。

20

【0146】

[酸化皮膜のリング・オン・ディスク式摩耗試験による評価]

酸化皮膜のリング・オン・ディスク式摩耗試験は、株式会社エイ・アンド・ディ製の中圧フロン摩擦摩耗試験機 AFT-18-200M (商品名) を用いて、荷重 1000 N の条件にて行った。

30

【0147】

(実施例 1)

ピストンを模した母材として鋳鉄製の丸棒を準備し、この母材の表面を表面処理により活性化させた。その後、母材を、発熱性変性ガス (DX ガス) 中で 550 °C まで加熱し、その後に冷却した。これによって、実施例 1 のサンプル、すなわち、表面に酸化皮膜が形成された母材を得た。

【0148】

サンプルに形成された酸化皮膜について、その膜厚を測定するとともに、表面のくぼみの深さ (凹凸の大きさ) を測定した。また、この酸化皮膜の表面にあるくぼみの一つについて、その深さを測定したところ、例えば、図 6 A に示すように、 $D_h = 25 \text{ nm}$ ($0.025 \mu\text{m}$) であった。

40

【0149】

なお、図 6 A では、横軸が測定長さ (単位: μm) であり縦軸が凹凸形状の深さ (単位: nm) を示している。それゆえ、図 6 A に示すように、酸化皮膜の表面には、20 nm レベルの微小なくぼみが形成されていることがわかる。また、酸化皮膜の表面の電子顕微鏡写真の観察結果を図 6 B に示す。図 6 B に示すように、酸化皮膜の表面には、酸化鉄粒子が緻密に集合していることがわかる。

【0150】

次に、得られた酸化皮膜について、その潤滑油の吸い上げ効果を、潤滑油の粘度をパラメータとして評価した。具体的には、粘度が VG 5 または VG 22 の潤滑油にサンプル (

50

丸棒)の一端を浸漬させ、サンプルの側壁の表面(酸化皮膜が形成)に潤滑油を吸い上げさせた。

【0151】

浸漬開始から2分、5分、12分、および38分が経過した時点で潤滑油が到達した高さを測定し、経過時間を横軸に到達高さを縦軸にしたグラフに、測定結果をプロットすることにより、酸化皮膜による潤滑油の吸い上げ効果について評価した。粘度がVG5の潤滑油を用いた結果を図7Aに、粘度がVG22の潤滑油を用いた結果を図7Bに示す。また、図7Aおよび図7Bでは、三角形のプロットが実施例1の酸化皮膜の結果を示す。

【0152】

(比較例1)

実施例1と同じ母材の表面に、特許文献1(特開平7-238885号公報)に開示される方法により多孔質のリン酸塩皮膜を形成した。これにより、比較サンプルを得た。

【0153】

リン酸塩皮膜が形成された比較サンプルについて、実施例1と同様にして、潤滑油の吸い上げ効果を評価した。粘度がVG5の潤滑油を用いた結果を図7Aに、粘度がVG22の潤滑油を用いた結果を図7Bに示す。また、図7Aおよび図7Bでは、正方形のプロットが比較例1のリン酸塩皮膜の結果を示す。

【0154】

(比較例2)

実施例1および比較例1と同じ母材を、皮膜を形成することなく実施例1と同様にして、潤滑油の吸い上げ効果を評価した。粘度がVG5の潤滑油を用いた結果を図7Aに、粘度がVG22の潤滑油を用いた結果を図7Bに示す。また、図7Aおよび図7Bでは、菱形のプロットが比較例2の母材のみ(未処理)の結果を示す。

【0155】

(実施例1、比較例1および2の対比)

図7Bに示すように、潤滑油の粘度がVG22の場合には、実施例1のサンプルも比較例1の比較サンプルもほとんど同程度の吸い上げ効果が見られた。一方、図7Aに示すように、潤滑油の粘度がVG5の場合には、実施例1のサンプルの吸い上げ効果は、比較例1の比較サンプルを大きく上回っていた。なお、図7Aおよび図7Bのいずれにおいても、比較例2の未処理の母材のみでは、ほとんど吸い上げ効果は見られなかった。

【0156】

毛細管現象の一般式では、高さ h は、表面張力 T に比例し、接触角 θ に反比例する。それゆえ、実施例1の酸化皮膜は、比較例1のリン酸塩皮膜よりも接触角が小さく、かつ、濡れ性が高いことが分かる。これは、表面に多数のくぼみ(小さな凹凸)を有することに由来すると考えられる。それゆえ、本発明に係る酸化皮膜は、潤滑油の吸い上げ効果が顕著となり、潤滑油の保持性に優れていることがわかる。

【0157】

また、比較例1のリン酸塩皮膜は多孔質であるため、その空孔は、実施例1の酸化皮膜のくぼみに比べて大きくなっている。また、実施例1の酸化皮膜は、酸化鉄粒子が緻密に集合した状態であるため、その表面粗さの程度が小さいが、比較例1のリン酸塩皮膜の表面粗さは、多孔質であることから表面粗さの程度が大きくなる。しかも、リン酸塩皮膜は、酸化皮膜に比べて硬度が低い。それゆえ、実施例1の酸化皮膜は、潤滑油の保持性に加えて、耐摩耗性についても優れていると考えられる。

【0158】

(実施例2)

鑄鉄製のリング状の母材を準備し、前記実施例1と同様にして、この母材の表面に、本発明に係る酸化皮膜を形成した。これにより、実施例2のサンプルを得た。得られたサンプルの酸化皮膜の膜厚は $1\mu\text{m}$ であった。

【0159】

得られた酸化皮膜について、X線回折分析およびグロー放電発光分光分析により分析し

10

20

30

40

50

た。分析結果のうち、グロー放電発光分光分析の結果を図8に示す。なお、図8では、縦軸が酸化物量（単位：原子%）であり、横軸が、最表面（外面）からの深さ（単位： μm ）である。

【0160】

図8に示すように、サンプルの酸化皮膜は、最表面から順に、 Fe_2O_3 の第一層、 Fe_3O_4 の第二層、および FeO の第三層で構成される三層構造体であった。また、それぞれの層厚は、第一層の層厚を T_1 とし、第二層の層厚を T_2 とし、第三層の層厚を T_3 としたときに、 $T_1 = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $T_2 = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $T_3 = 0.8 \mu\text{m}$ であったので、 $T_1 : T_2 : T_3 = 5 \sim 20 : 10 \sim 50 : 30 \sim 85$ の範囲内であることが分かった。さらに、X線回折分析結果より、第三層には FeO の結晶が認められなかった。それゆえ、第三層は、結晶構造を有しないアモルファスであることが確認された。

10

【0161】

また、このサンプルについて、R134a（冷媒ガスの一例）およびVG3のエステル油（潤滑油の一例）との混合雰囲気下でリング・オン・ディスク式摩耗試験を行った。その結果のうち、リングの摩耗量（すなわちサンプルの摩耗量）を図9のグラフに示し、ディスクの摩耗量を図10のグラフに示す。

【0162】

（比較例3）

実施例2と同じリング状の母材に、比較例1と同様にして多孔質のリン酸塩皮膜を形成した。これにより、比較サンプルを得た。

20

【0163】

得られた比較サンプルに対して、実施例2と同様にしてリング・オン・ディスク式摩耗試験を行った。その結果のうち、リングの摩耗量（すなわちサンプルの摩耗量）を図9のグラフに示し、ディスクの摩耗量を図10のグラフに示す。

【0164】

（比較例4）

実施例2と同じリング状の母材に、特許文献2（特開平4-371565号公報）に開示されている方法で公知の硬質膜である窒化膜を形成した。これにより、比較サンプルを得た。

【0165】

得られた比較サンプルに対して、実施例2と同様にしてリング・オン・ディスク式摩耗試験を行った。その結果のうち、リングの摩耗量（すなわちサンプルの摩耗量）を図9のグラフに示し、ディスクの摩耗量を図10のグラフに示す。

30

【0166】

（比較例5）

濃厚な苛性ソーダ（水酸化ナトリウム）水溶液中に酸化剤を混合し、 $140 \sim 145$ の温度で、実施例2と同じリング状の母材を処理することで、従来の一般的な酸化膜である Fe_2O_3 の単層を形成した。これにより、比較サンプルを得た。

【0167】

得られた比較サンプルに対して、実施例2と同様にしてリング・オン・ディスク式摩耗試験を行った。その結果のうち、リングの摩耗量（すなわちサンプルの摩耗量）を図9のグラフに示し、ディスクの摩耗量を図10のグラフに示す。

40

【0168】

（実施例2、比較例3、4および5の対比）

リング・オン・ディスク式摩耗試験では、リングである実施例のサンプルまたは比較例の比較サンプルが、摺動部を構成する第二摺動部材に対応し、ディスクが第一摺動部材に対応する。そして、図9に示すように、実施例のサンプルに施した酸化皮膜の摩耗量と、比較サンプルに施した各皮膜の摩耗量とを比較すれば、比較例3のリン酸塩皮膜の摩耗量が最も多く、実施例2の酸化皮膜、比較例4の窒化膜、並びに比較例5の従来の酸化膜は、あまり摩耗していないことが分かる。

50

【0169】

一方、図10に示すように、第二摺動部材（第一摺動部材から見て「相手材」となる摺動部材）に相当するディスクの摩耗量について比較すれば、比較例3（リン酸塩皮膜）のディスクの摩耗量は、実施例2（酸化皮膜）のディスクの摩耗量と同等であるが、比較例4（窒化膜）のディスクの摩耗量が最も多く、次いで、比較例5（従来の酸化膜）のディスクの摩耗量が多いことが分かる。

【0170】

実施例2の酸化皮膜は、酸化鉄粒子による皮膜であるため、比較例3のリン酸塩皮膜よりも硬度が高く、かつ、化学的に安定であるため、「相手材」であるディスクに対して材料同士の親和性が低くなる。それゆえ、摺動による摩耗も少なく、かつ、酸化皮膜がディスク表面に付着するようなことが大幅に抑制されると考えられる。その結果、実施例2では、サンプル（リング）の摩耗量が比較例3よりも小さくなっていると考えられる。

10

【0171】

また、酸化皮膜が種類の異なる酸化鉄の三層構造となっており、第一層は Fe_2O_3 の層、第二層が Fe_3O_4 の層、第三層が FeO の層となっている。一般的に Fe_2O_3 の結晶構造は菱面体晶であることから、立方晶である Fe_3O_4 と比較して、結晶構造面で弱くなっている。また、窒化膜の結晶構造は、周密六方晶、面心立方晶、体心正方晶からなっていることから、菱面体晶である FeO と比較して結晶構造面で強くなっている。それゆえ、実施例2の酸化皮膜は、比較例4の窒化膜、あるいは、比較例5の従来の酸化膜（ Fe_2O_3 単層）に比較して、粒子レベルの硬度が低くなると考えられる。

20

【0172】

それゆえ、実施例2の酸化皮膜は、比較例4の窒化膜あるいは比較例5の従来の酸化膜に比較して、「相手材」であるディスクへの攻撃性を低下させるとともに、なじみ性を向上させていると考えられる。その結果、実施例2では、ディスクの摩耗量が比較例4および5よりも小さくなっていると考えられる。

【0173】

また、実施例2の酸化皮膜では、 Fe_2O_3 からなる第一層を、結晶構造上強い立方晶である Fe_3O_4 の層（第二層）が支持している。しかも、第三層の FeO の層はアモルファス構造であるため、第三層と母材（鉄系材料）との界面では、結晶粒界または格子欠陥のような弱い構造が層内に存在しないことになる。これにより、摺動時の負荷に対しての耐久性が向上するため、酸化皮膜の剥離等が有効に抑制されていると考えられる。

30

（実施例3）

ビッカース硬度が175HVである、鋳鉄製のリング状の母材を準備し、前記実施例1と同様にして、この母材の表面に、本発明に係る酸化皮膜を形成した。これにより、実施例3のサンプルを得た。得られたサンプルの酸化皮膜の膜厚は3.1 μ mであった。

【0174】

得られた酸化皮膜について、グロー放電発光分光分析により分析したところ、実施例2と同様に三層構造体となっていた。また、各層の層厚は、第一層が0.3 μ mであり、第二層が0.8 μ mであり、第三層が2.0 μ mであった。

【0175】

また、各層について、JIS Z2244に基づいてビッカース硬度を測定した。その結果を図11に示す。なお、図11では、縦軸がビッカース硬度（単位：HV）であり、横軸が、最表面（外面）からの深さ（単位： μ m）である。

40

【0176】

図11に示すように、第一層では、最表面からの深さ（距離）が大きくなるにしたがって、徐々に硬度が上昇しているが、第二層、第三層および母材は、いずれも深さが大きくなっても硬度に変化は見られない。また、硬度が変化する第一層を除けば、第二層の硬度が最も高く、次いで第三層の硬度が高く、母材の硬度が最も低くなっている。

【0177】

また、このサンプルについて、R134a（冷媒ガスの一例）およびVG3のエステル

50

油（潤滑油の一例）との混合雰囲気下でリング・オン・ディスク式摩耗試験を行った。その結果のうち、リングの摩耗量（すなわちサンプルの摩耗量）を図12のグラフに示し、ディスクの摩耗量を図13のグラフに示す。

【0178】

（比較例6）

実施例3と同じリング状の母材を比較サンプルとした。この比較サンプル（母材）の表面に形成されている従来の酸化膜の硬度は200HVであった。

【0179】

得られた比較サンプルに対して、実施例3と同様にしてリング・オン・ディスク式摩耗試験を行った。その結果のうち、リングの摩耗量（すなわちサンプルの摩耗量）を図12のグラフに示し、ディスクの摩耗量を図13のグラフに示す。

10

【0180】

（比較例7）

濃厚な苛性ソーダ（水酸化ナトリウム）水溶液中に酸化剤を混合し、140～145の温度で、実施例3と同じリング状の母材を処理することで、従来の酸化膜を形成した。これにより、比較サンプルを得た。得られた従来の酸化膜の硬度は500HVであった。

【0181】

得られた比較サンプルに対して、実施例3と同様にしてリング・オン・ディスク式摩耗試験を行った。その結果のうち、リングの摩耗量（すなわちサンプルの摩耗量）を図12のグラフに示し、ディスクの摩耗量を図13のグラフに示す。

20

【0182】

（比較例8）

実施例2と同じリング状の母材に、特許文献2に開示されている方法で窒化鉄の単層を形成した。これにより、比較サンプルを得た。得られた従来の窒化膜の硬度は1000HVであった。

【0183】

得られた比較サンプルに対して、実施例3と同様にしてリング・オン・ディスク式摩耗試験を行った。その結果のうち、リングの摩耗量（すなわちサンプルの摩耗量）を図12のグラフに示し、ディスクの摩耗量を図13のグラフに示す。

30

【0184】

（実施例3、比較例6、7および8の対比）

図12に示すように、第二摺動部材に相当するリングの摩耗量は、比較例6の200HV単層の皮膜では健著に多いが、比較例7の500HV単層の皮膜、比較例8の1000HV単層の皮膜、並びに、実施例3の酸化皮膜では、摩耗がほとんど認められないことが分かる。一方、図13に示すように、第一摺動部材に相当するディスクの摩耗量は、比較例6～8の単層では、硬度が上昇するとともに増加しているが、実施例3の酸化皮膜では、摩耗がほとんど認められないことが分かる。このように、実施例3の酸化皮膜では、リングおよびディスクともに摩耗量が顕著に少ないことがわかる。

【0185】

40

実施例3の酸化皮膜を構成している3つの層のうち、第一層は、0.3μmの層厚で最表面の硬度が250HVであり、図11に示すように、最表面から母材の断面の中心に向けて硬度が上昇し、第二層との境界では550HVとなる硬度分布を有している。それゆえ、「相手材」であるディスクへの攻撃性を低下させるとともに、なじみ性を向上させていると考えられる。

【0186】

しかも、第一層は、実施例1の結果から明らかなように、酸化鉄粒子が緻密に集合した状態であるため、深さの増加とともに硬度が上昇することで、「相手材」に対するなじみ性がより向上し、また、摩擦係数を低くすることも可能となると考えられる。

【0187】

50

また、第二層は、第一層よりも厚い0.8 μmの層厚であり、硬度が550 Hvと最も高硬度であることから、例えば、摺動により生じた摩耗粉が摺動部内（第一摺動部材および第二摺動部材の間）に残存しても酸化皮膜の摩耗の進行を抑制できると考えられる。さらに、第三層は、第一層および第二層よりも厚い2.0 μmの層厚であり、硬度が300 Hvであることから、母材（硬度は175 Hv）との硬度差が少なくなり、密着性が向上していると考えられる。

【0188】

上記説明から、当業者にとっては、本発明の多くの改良や他の実施形態が明らかである。従って、上記説明は、例示としてのみ解釈されるべきであり、本発明を実行する最良の態様を当業者に教示する目的で提供されたものである。本発明の精神を逸脱することなく、その構造及び/又は機能の詳細を実質的に変更できる。

10

【産業上の利用可能性】

【0189】

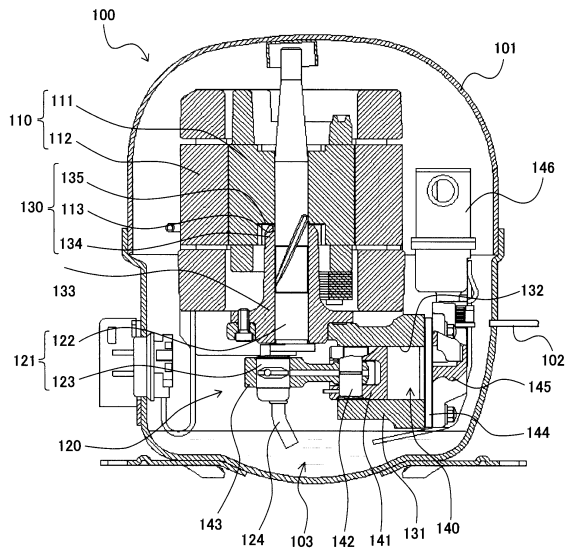
本発明は、摺動部を備える冷媒圧縮機において、低粘度の潤滑油を用いた高効率化された構成において、より一層優れた信頼性を実現することができる。それゆえ、本発明は、冷媒圧縮機を用いた各種機器に関する分野に広く好適に用いることができる。

【符号の説明】

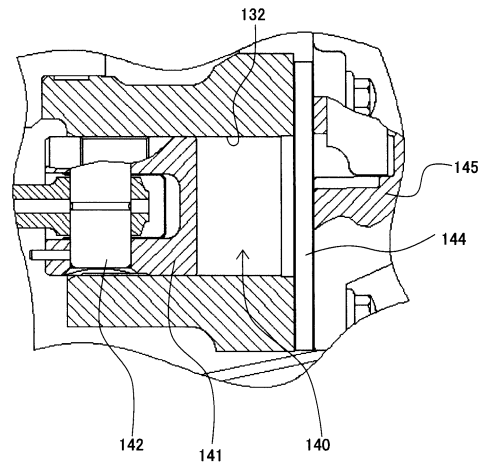
【0190】

100	冷媒圧縮機	
101	密閉容器	20
102	吸入管	
103	潤滑油	
110	電動要素	
111	固定子	
112	回転子	
113	フランジ面（摺動部材）	
120	圧縮要素	
121	クランクシャフト（摺動部材）	
122	主軸部（摺動部材）	
123	偏心軸（摺動部材）	30
130	スラスト軸受部（摺動部材）	
131	シリンダーブロック（摺動部材）	
132	ポアー（摺動部材）	
133	スラスト部（摺動部材）	
134	スラストワッシャ（摺動部材）	
140	圧縮室	
141	ピストン（摺動部材）	
142	ピストンピン（摺動部材）	
143	コンロッド（摺動部材）	
150	母材（摺動部材）	40
160	冷蔵庫	
170	エアーコンディショナー	
200	酸化皮膜	
201	第一層	
202	第二層	
203	第三層	
210	くぼみ（小さな凹凸）	
220	外面（最表面）	

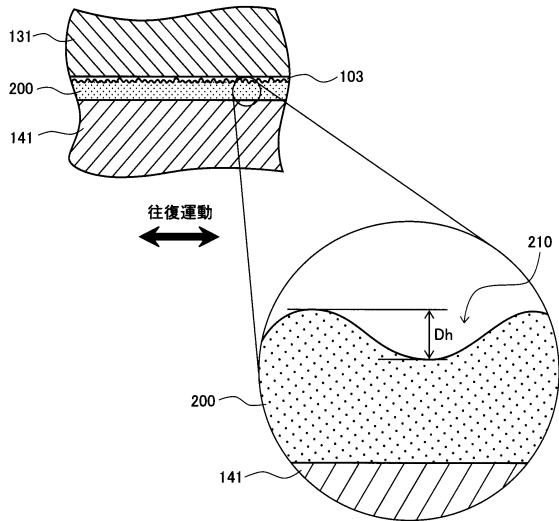
【 図 1 】



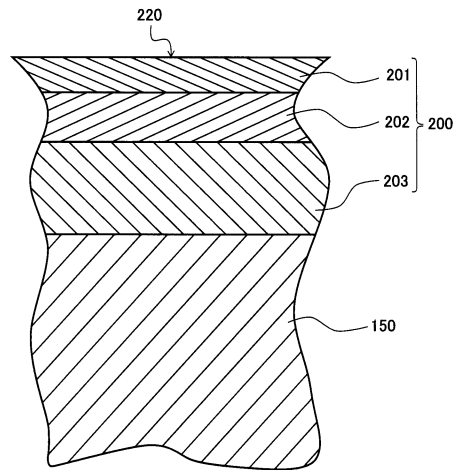
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】

図5A

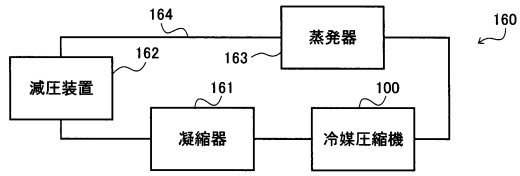
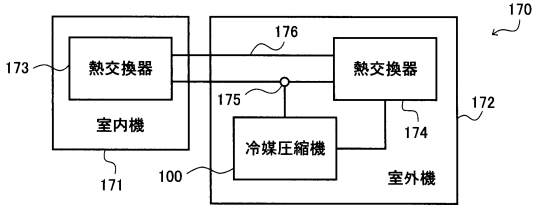


図5B



【 図 6 】

図6A

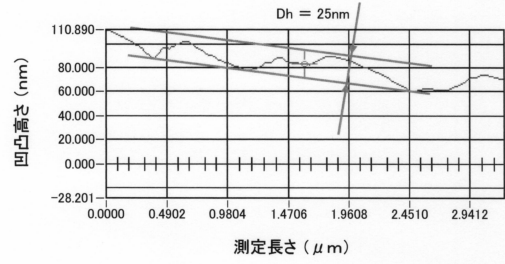
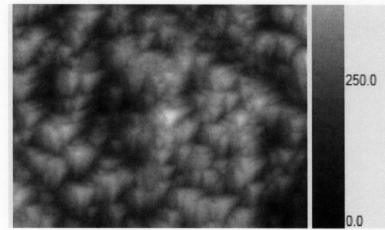


図6B



【 図 7 】

図7A

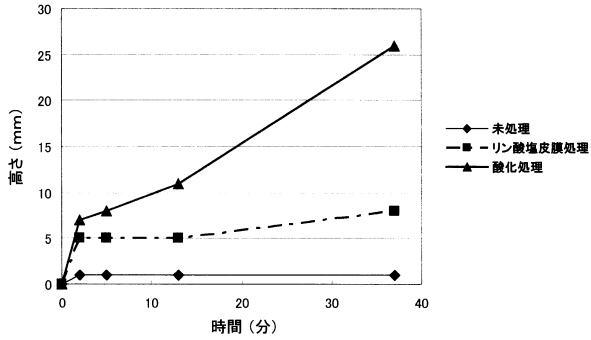
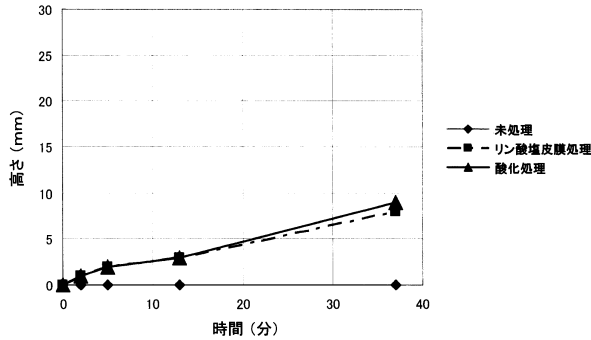
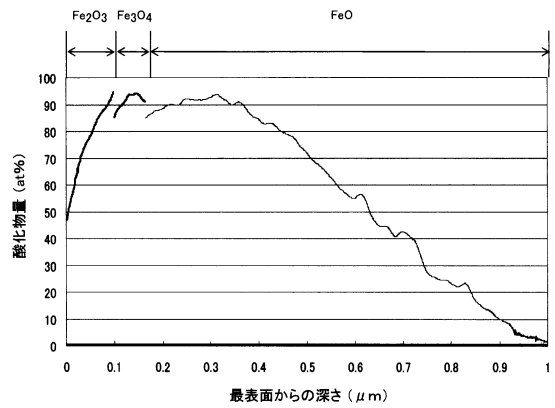


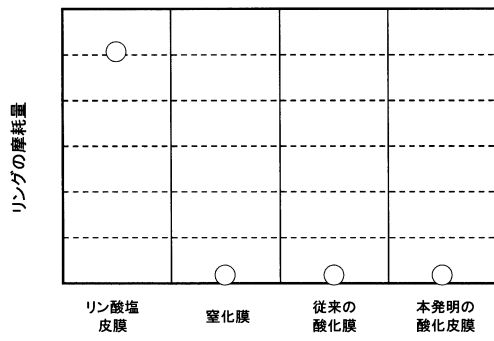
図7B



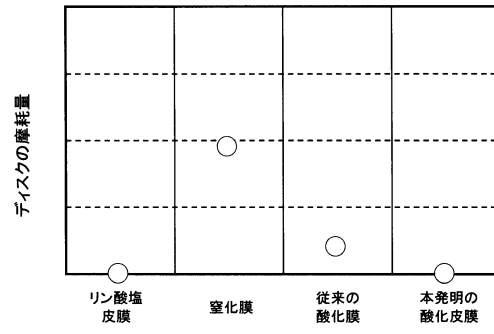
【 図 8 】



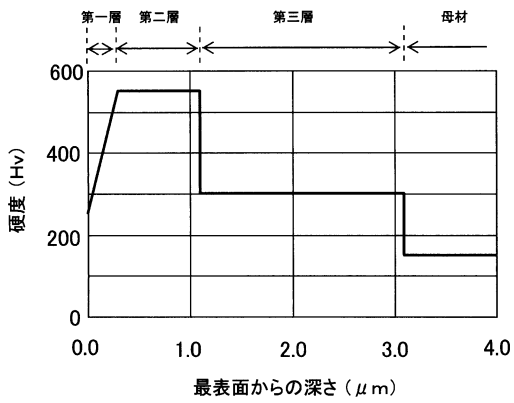
【図 9】



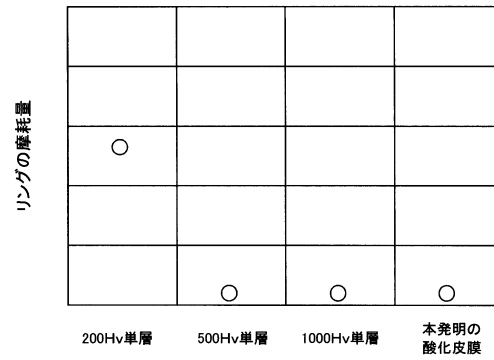
【図 10】



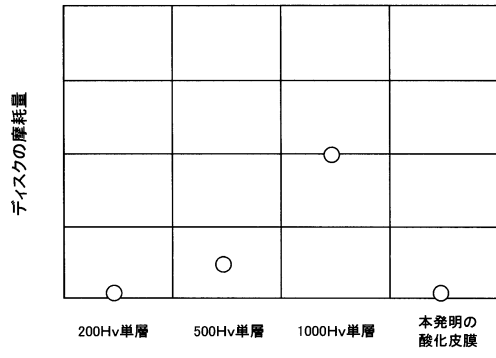
【図 11】



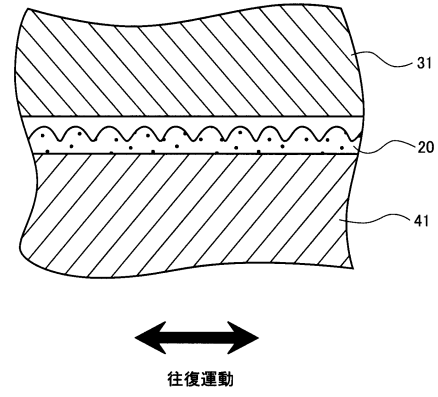
【図 12】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

- (72)発明者 久米 佑一郎
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 二上 義幸
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 加藤 昌人

- (56)参考文献 特開2008-223604(JP,A)
特開平03-062890(JP,A)
国際公開第2009/088036(WO,A1)
特開2011-012305(JP,A)
特開2010-185286(JP,A)
特開平04-036549(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|---------------|
| F04B | 39/00 - 39/16 |
| F04C | 23/00 - 29/12 |