

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4304598号  
(P4304598)

(45) 発行日 平成21年7月29日 (2009. 7. 29)

(24) 登録日 平成21年5月15日 (2009. 5. 15)

(51) Int. Cl.

F 1

**F 1 6 D 69/02 (2006. 01)**  
**C O 1 B 31/02 (2006. 01)**  
**C O 4 B 41/87 (2006. 01)**  
 C 2 3 C 14/06 (2006. 01)  
 C 2 3 C 16/26 (2006. 01)

F 1 6 D 69/02 F  
 C O 1 B 31/02 I O 1 Z  
 C O 4 B 41/87 G  
 C 2 3 C 14/06 F  
 C 2 3 C 16/26

請求項の数 8 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2003-532867 (P2003-532867)  
 (86) (22) 出願日 平成14年9月25日 (2002. 9. 25)  
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2002/009904  
 (87) 国際公開番号 W02003/029685  
 (87) 国際公開日 平成15年4月10日 (2003. 4. 10)  
 審査請求日 平成15年11月12日 (2003. 11. 12)  
 (31) 優先権主張番号 特願2001-297563 (P2001-297563)  
 (32) 優先日 平成13年9月27日 (2001. 9. 27)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2002-122519 (P2002-122519)  
 (32) 優先日 平成14年4月24日 (2002. 4. 24)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

前置審査

(73) 特許権者 000003609  
 株式会社豊田中央研究所  
 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1  
 番地の1  
 (74) 代理人 100081776  
 弁理士 大川 宏  
 (72) 発明者 森 広行  
 日本国愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横  
 道4 1 番地の1 株式会社豊田中央研究所  
 内  
 (72) 発明者 太刀川 英男  
 日本国愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横  
 道4 1 番地の1 株式会社豊田中央研究所  
 内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高摩擦摺動部材

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

油を用いた湿式摺動条件において、摩擦によってトルクを伝達する高摩擦摺動部材であって、

基材と、該基材表面に一体的に形成され、少なくとも一部表面が湿式条件において摺動する摺動面となる非晶質硬質炭素膜と、を有し、

該非晶質硬質炭素膜は、3 ~ 20 at % の Si と 3 ~ 30 at % の N と 20 ~ 40 at % の H とを含有し、かつ、前記摺動面の表面粗さが 0.3 ~ 10 μm Rz であることを特徴とする高摩擦摺動部材。

【請求項 2】

前記非晶質硬質炭素膜の硬度が HV 800 以上である請求項 1 に記載の高摩擦摺動部材。

【請求項 3】

前記基材と前記非晶質硬質炭素膜との密着力が 30 N 以上である請求項 1 ないし 2 のいずれかに記載の高摩擦摺動部材。

【請求項 4】

前記非晶質硬質炭素膜の厚さは 1 μm 以上である請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載の高摩擦摺動部材。

【請求項 5】

前記基材は、金属、セラミックス、あるいは樹脂のいずれかである請求項 1 ないし 4 の

いずれか一項に記載の高摩擦摺動部材。

【請求項 6】

前記油は、少なくともアルカリ土類金属系清浄剤および無灰分散剤のうち 1 種以上を含む駆動系潤滑油である請求項 1 ないし 5 のいずれか一項に記載の高摩擦摺動部材。

【請求項 7】

前記非晶質硬質炭素膜表面に、少なくとも  $\text{Ca}^+$ 、 $\text{C}_5\text{H}_9^+$ 、または、 $\text{C}_7\text{H}_{13}^+$  のうちの 1 種以上を吸着している請求項 1 ないし 6 のいずれか一項に記載の高摩擦摺動部材。

【請求項 8】

前記非晶質硬質炭素膜と摺動する相手材は、金属、セラミックス、あるいは樹脂のいずれかである請求項 1 ないし 7 のいずれか一項に記載の高摩擦摺動部材。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】

本発明は、油を用いた湿式摺動条件において、高い摩擦係数の得られる非晶質硬質炭素膜を有する高摩擦摺動部材に関する。更に詳しくは、基材との密着性に優れ、かつ耐摩耗性と低い相手攻撃性を有する、湿式条件下で高摩擦特性を発揮する高摩擦摺動部材に関する。

【0002】

【背景技術】

動力伝達用摺動部材などに適した高摩擦金属系材料としては、例えば、特開平 4 - 1 8 1 0 2 2 号ではニッケルリンメッキを施した湿式クラッチ用の摺動部材が挙げられている。また、特公平 6 - 4 1 7 8 0 号では、電解ニッケルメッキを施した無段変速機用の金属ベルト部材が挙げられている。

20

【0003】

しかし、これらのニッケルリンメッキや電解ニッケルメッキ等を施した摺動部材では、所望の高い摩擦係数を安定的に得ることができない。これは、摩擦係数が高い場合には、膜と基材の界面に生じる応力も増大するため、従来の膜処理では、膜と基材との密着性が十分ではなく、膜の剥離が生じやすいためである。従って、安定した高い摩擦係数を維持するためには、膜と基材との密着性を高めることが必要となる。

【0004】

30

特開平 7 - 1 4 9 5 8 3 号や特開平 8 - 2 6 2 4 4 5 号では炭素と水素を主成分とした非晶質硬質炭素膜を被覆した摺動部材が開示されている。この非晶質硬質炭素膜は基材との密着性は高いものの、低い摩擦係数と優れた耐摩耗性を示す材料として、注目されるようになったものである。しかしながら、従来の珪素や窒素を含有していない非晶質硬質炭素膜は、潤滑油を用いた湿式条件下でも摩擦係数は低く、動力伝達用摺動部材等の高摩擦性が望まれる部材には適さない。

【0005】

また、動力伝達用部品においては、摺動部のスティック・スリップに起因する車両全体の自励振動（ジャダ）の発生を防止することも必要である。ジャダの防止には、摩擦係数の速度依存特性（ $\mu - v$  特性）に関して、すべり速度の増加に伴い摩擦係数が低下する傾向、すなわち  $\mu - v$  負勾配傾向が小さいことが望ましい。しかし、一般的には、摩擦係数が高くなるほど、 $\mu - v$  負勾配傾向が大きくなりやすい。従って、動力伝達用部品に適した摺動部材としては、高摩擦特性のみならず良好な  $\mu - v$  特性をも有することが求められる。

40

【0006】

さらに、相手材料への攻撃性が高いものでは、相手材に摩耗を生じさせ、最適な摺動面形状を損うこととなるため、望ましい摩擦特性が維持できないことも問題となる。

【0007】

従来の湿式摺動部材ではこれら全ての特性を十分に満たすことができなかった。

【0008】

50

そこで、本発明の目的は、基材との密着性に優れ、かつ耐摩耗性を有し、相手攻撃性が低い、湿式条件下で高摩擦特性と良好な $\mu$ - $v$ 特性とを有する高摩擦摺動部材を提供することである。

【0009】

【発明の開示】

本発明は、油を用いた湿式摺動条件において、摩擦によってトルクを伝達する湿式摺動部材であって、基材と、この基材表面に一体的に形成され、少なくとも一部表面が湿式条件において摺動する摺動面となる非晶質硬質炭素膜と、を有し、

該非晶質硬質炭素膜は、 $3 \sim 20 \text{ at} \%$ のSiと $3 \sim 30 \text{ at} \%$ のNと $20 \sim 40 \text{ at} \%$ のHとを含有し、かつ、前記摺動面の表面粗さが $0.3 \sim 10 \mu\text{m Rz}$ であることを特徴とする。前記非晶質硬質炭素膜は、さらに $3 \sim 30 \text{ at} \%$ のNを含有することができる。なお、基材は金属、セラミックスあるいは樹脂からなることが好ましい。

10

【0010】

また、非晶質硬質炭素皮膜の硬度はHV800以上であることが望ましく、基材と非晶質硬質炭素膜との密着力は30N以上であり、さらに非晶質硬質炭素膜の厚さは $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。

【0011】

上記の非晶質硬質炭素皮膜を形成するには、プラズマCVD、スパッタリング、イオンプレーティング、イオン化蒸着等のドライプロセスで合成できる。

【0012】

20

成膜中に炭素原料ガスと同時に珪素ガスや窒素系ガスを導入して非晶質硬質炭素皮膜を形成する。この際に、珪素ガスや窒素系ガスではなく珪素あるいは窒素を含んだターゲットを使用することもできる。

【0013】

また、基材と非晶質硬質炭素膜との密着力を確保するために、成膜前にプレスパッタリングすることにより、基材表面に平均高さ $10 \sim 100 \text{ nm}$ 、平均の幅 $10 \sim 300 \text{ nm}$ の範囲である凸部を形成しておくことが望ましい。

【0014】

さらに、油は、アルカリ土類金属系清浄剤および/又は無灰分散剤を含む駆動系潤滑油であることが好ましく、非晶質硬質炭素膜の表面にはこの駆動系潤滑油から生じた $\text{Ca}+$ 、 $\text{C}_5\text{H}_9+$ 、 $\text{C}_7\text{H}_{13}+$ のフラグメントを吸着していることが望ましい。

30

【0015】

【発明を実施するための最良の形態】

本発明の高摩擦摺動部材の摺動面に形成された非晶質硬質炭素膜は、炭素および水素に加えて珪素と窒素とを含有する。炭素膜が、非晶質の炭素膜であることは、X線回折試験等の結果から判定できる。また、この非晶質硬質炭素膜は、ラマン分光分析等により非晶質炭素が硬質の擬似ダイヤモンドを主成分としていることが確認できる。従ってこの非晶質硬質炭素膜はピッカース硬度が800以上を有するものである。

【0016】

非晶質硬質炭素膜中の水素の含有量は、製造原料の種類や蒸着条件等によって異なるが、 $20 \sim 40 \text{ at} \%$ である。より好ましくは、 $25 \sim 35 \text{ at} \%$ である。この範囲であれば、基材との密着性もより良好となる。

40

【0017】

非晶質硬質炭素膜中のSiの含有量およびNの含有量は、良好な密着性と耐摩耗性および湿式条件下での高摩擦性とを得るという観点から決められる。このような観点から、Siの含有量は、 $3 \sim 20 \text{ at} \%$ とする。これは、 $3 \text{ at} \%$ 未満では充分高い摩擦係数が得られず、 $20 \text{ at} \%$ を越えると非晶質硬質炭素膜の摩耗量が増大して好ましくないからである。好ましくは、 $5 \sim 15 \text{ at} \%$ である。

【0018】

また、非晶質硬質炭素膜中のNの含有量は、 $3 \sim 30 \text{ at} \%$ とする。N含有量が $3 \text{ at} \%$

50

%未満では十分に高い摩擦係数が得られず、30 at %を越えると耐摩耗性が低下するので好ましくない。

【0019】

非晶質硬質炭素膜中へのSiおよびNの混合添加は、Si + Nが6 ~ 30 at %であることが望ましい。

【0020】

本発明の高摩擦摺動部材は、基材を設置した蒸着室内に炭素原料、珪素原料および窒素原料を導入して、珪素および窒素を含有する非晶質硬質炭素膜を基材上に蒸着させることで作製することができる。

【0021】

炭素原料としては、例えば炭化水素を挙げることができ、炭化水素としてはメタン、アセチレン、エチレン等を例示することができる。特に好ましい炭素原料はメタンである。珪素原料としては、例えばテトラメチルシラン(TMS)、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 、 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{SiH}_2\text{F}_2$ 等を挙げることが出来る。なかでもテトラメチルシランは、毒性および腐食性が低くかつ操作性が良好であることから、珪素原料としては好適である。窒素原料としては、例えば窒素( $\text{N}_2$ )および窒素含有化合物を挙げることができ、窒素含有化合物としてはアンモニア、アミン等を例示できる。

【0022】

炭素原料、珪素原料および窒素原料は、一般にガス状のものを、蒸着室に導入する。従って、常温で気体でないものは、適当なキャリアガスを用いて蒸着室に導入するとよい。例えば、珪素原料であるテトラメチルシラン(TMS)の場合には、一定温度に維持したテトラメチルシランに、キャリアガスとして、例えば窒素原料である窒素ガスを使用し、テトラメチルシランと窒素の混合ガスとして蒸着室に導入することができる。また、上記原料を蒸着室内に導入するに際しては、キャリアガスとしてヘリウムやアルゴン等の不活性ガスを用いることもできる。さらに、原料化合物のガスと不活性ガスとの混合物をキャリアガスとして用いることもできる。

【0023】

本発明の高摩擦摺動部材は、基材を設置した蒸着室内に炭素、珪素および窒素の各原料を導入して、非晶質硬質炭素膜を基材上に蒸着させることにより製作される。蒸着方法には特に制限はなく、例えば、プラズマCVD、スパッタリング、イオンプレーティング、イオン化蒸着等のドライプロセスを適宜用いることができる。

【0024】

本発明において基材としては、金属系、セラミックス系および樹脂系の摺動部材を挙げることができる。ただし、これらに限定されるものではなく、湿式摺動部材として使用されるものであれば、そのほかの材料をも基材とすることができる。なお、金属系としては鉄合金の、例えばSK4やS35C等を挙げることができ、アルミニウム系合金としてはA2000系、AC4C等を、さらに、セラミックス系としては $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等を例示することができる。また、樹脂系の基材としてはフェノールやポリイミド等を挙げることができる。

【0025】

本発明では、摺動部分を有する機械部品であって、少なくとも摺動部分を非晶質硬質炭素膜で被覆した湿式条件下で高摩擦特性を必要とする機械部品を提供できる。例えば、自動変速機、駆動力分配装置およびリミテッドスリップデファレンシャル等に用いられる湿式クラッチ、手動変速機等のシンクロナイズ、無段変速機の変速ユニット等の動力伝達用摺動部等である。従って、本発明の湿式条件となる油は、特に限定はないものの駆動系潤滑油であることが望ましい。

【0026】

本発明の高摩擦摺動部材では、摺動部の非晶質硬質炭素膜の膜厚を蒸着条件を調整することにより適宜変化させることができる。また、必要とされる膜厚は、本発明の高摩擦摺動部材の用途によって異なるが、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 7 】

本発明は、油を用いた湿式摺動条件において、安定して高い摩擦係数と良好な $\mu - v$ 特性とを有し、かつ耐摩耗性に優れ、相手攻撃性の低い高摩擦摺動部材を提供することにある。

## 【 0 0 2 8 】

本発明の高摩擦摺動部材に一体的に形成される非晶質硬質炭素膜は、従来の硬質炭素膜と異なり、珪素と窒素とを含有することによって、油を用いた摺動条件において、高い摩擦係数が得られる。

## 【 0 0 2 9 】

しかし、この高摩擦現象のメカニズムについては明らかではなかった。そこで本発明者らは、摺動後の非晶質硬質炭素膜表面に着目して以下の試験を実施した。

10

## 【 0 0 3 0 】

すなわち、プラズマCVD法で得られた従来の非晶質硬質炭素膜と、Siを17at%、および22at%含有する2種類の非晶質硬質炭素膜とについて、各々ボールオンディスク試験（試験方法、試験条件などについては実施例の（5）摺動特性評価で詳述する）を実施して、その後の非晶質硬質炭素膜表面の吸着物を分析した。ここで、試験に使用した油は市販の駆動系潤滑油であるキャッスルオートフルードT-IVであった。また、吸着物の分析には2次イオン質量分析（TOF-SIMS）法を用い、非晶質硬質炭素膜表面上のフラグメントを同定するとともにその強度を測定して吸着物を推定した。結果を表1に示す。

20

## 【 0 0 3 1 】

## 【表1】

Si量 (at%)	摩擦係数	フラグメントの強度 (count)				
		Ca +	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> +	C <sub>7</sub> H <sub>13</sub> +	SO <sub>3</sub> -	C <sub>12</sub> H <sub>45</sub> SO <sub>3</sub> -
0	0.09	27500	1370	990	220	20
17	0.11	103000	15100	13500	230	80
22	0.13	120000	19800	20000	200	80

## 【0032】

表1から非晶質硬質炭素膜へSiを含有することで摩擦係数が高くなっていることが分かる。また、これらの3種類の非晶質硬質炭素膜表面からは、Ca +、C<sub>5</sub>H<sub>9</sub> +、C<sub>7</sub>H<sub>13</sub> +、SO<sub>3</sub> -、C<sub>12</sub>H<sub>45</sub>SO<sub>3</sub> - の5種類のフラグメントが検出された。そして、Siを含有した非晶質硬質炭素膜では、Siを含有していない非晶質硬質炭素膜に比べてCa +、C<sub>5</sub>H<sub>9</sub> +、C<sub>7</sub>H<sub>13</sub> + のフラグメントが多く検出されていることが分かった。

## 【0033】

これらのフラグメントは、本試験に使用した駆動系潤滑油に含まれる添加剤によるものと考えられる。この駆動系潤滑油に含まれる主な添加剤としては、無灰分散剤であるコハ

10

20

30

40

50

ク酸イミド、コハク酸エステルなどや、アルカリ土類金属系清浄剤であるCa - スルホネート、Mg - スルホネートなど、リン系極圧剤であるリン酸エステル、亜リン酸エステルなど、粘度指数向上剤であるポリメタクリレート、オレフィンコポリマーなど、あるいは無灰酸化防止剤としてのフェノール系、アミン系物質などを挙げることができる。ここで、 $C_5H_9+$ 、 $C_7H_{13}+$ は、前記の無灰分散剤であるコハク酸イミドに由来する成分と推定され、また、 $Ca+$ 、 $SO_3^-$ 、 $C_{12}H_{45}SO_3^-$ は、アルカリ土類金属系清浄剤であるCa - スルホネート由来のものと推定される。

#### 【0034】

以上のことから、高摩擦を得る一つのメカニズムとしては、Siを最適含有した非晶質硬質炭素膜は、上記の添加剤を含んだ駆動系潤滑油中で摺動することによって、Siを含有しない非晶質硬質炭素膜に比べてより多くの添加剤成分を吸着するために摺動時の剪断抵抗が高まって、摩擦係数が向上するものと考えられる。従って、高摩擦を得るための潤滑油は、添加剤として無灰分散剤とアルカリ土類金属系清浄剤とを含有することが望ましい。そして、各々の含有量は潤滑油全体を100重量%として、無灰分散剤は0.1～10重量%、またアルカリ土類金属系清浄剤は0.01～5重量%であることが望ましい。

10

#### 【0035】

摩擦係数が高い場合には、膜と基材の界面に生じる応力も増大し、膜の剥離が生じやすくなる。そこで、摩擦試験等により実用上必要な膜の密着力を検討した結果、鋼部品では30N以上の密着力があれば摺動中に膜の剥離は見られず実上好ましい結果が得られることが分った。

20

#### 【0036】

基材と非晶質硬質炭素膜との密着性の評価は、スクラッチ試験による膜の剥離荷重の大小で評価できる。より具体的には、頂角 $120^\circ$ 、先端0.2mmRのダイヤモンドコーンに荷重を掛けて引掻くことにより膜の剥離したときの荷重を臨界荷重として、その臨界荷重の大小で膜の密着性を評価する方法である。

#### 【0037】

この密着力を確保するためには、例えば成膜前に金属系基材表面にグロー放電やイオンビーム等によるイオン衝撃によって、平均高さ10～100nmで、平均の幅10～300nmの範囲である凸部を形成することが好ましい。

30

#### 【0038】

この微細凹凸を形成した金属系基材では、アンカー効果により30N以上の密着力が得られる。凸部高さが10nm未満あるいは300nmを超える場合には十分な密着力は得られない。なお、凸部の大きさは従来の表面粗さ計（触針法）では測定できない。しかし、凸部の高さや幅は、SEM（走査型電子顕微鏡）観察およびAFM（原子間力顕微鏡）などの微小な形状測定手段によって確認することが出来る。

#### 【0039】

凸部の大きさが所定のものであっても、凸部の面積が少なければ、膜の密着性には効果が得られない。凹凸面の面積を100%とした場合に、凸部の占める面積は30%以上であることが好ましい。30%以上になると膜の密着性が高いものとなる。より好ましくは、50%以上である。

40

#### 【0040】

また、非晶質硬質炭素膜は、HV800以上と硬質であるため、部材の耐摩耗性が向上するとともに、相手材との凝着が生じにくく相手攻撃性も低い。このように、高い耐摩耗性と低い相手攻撃性とを有するために、双方の摺動面の形状変化が少なくなる。したがって、摩擦特性の変化を長期にわたって抑制することができ、安定して高い摩擦係数を維持することが出来る。

#### 【0041】

ここで、湿式条件において高摩擦特性を有する部材として必要な表面形状は、表面粗さが0.3～10μmRzである。表面粗さが0.3μmRz以下では、摺動条件

50

下において油膜を生じてしまい、高摩擦特性を確保できない。一方、 $10\text{ }\mu\text{m Rz}$ 以上の粗さとした場合には、相手材への攻撃性が高くなり安定した摩擦係数を維持できない。

#### 【0042】

本発明の高摩擦摺動部材は金属、セラミックス、あるいは樹脂を相手材として、湿式条件下で良好な高摩擦特性を得ることができる。非晶質硬質炭素膜と摺動する相手材として、金属では鋼やアルミニウム合金などを、セラミックスでは $\text{Al}_2\text{O}_3$ や $\text{Si}_3\text{N}_4$ などを、また、樹脂としてはフェノールやポリイミドあるいはセルロース繊維からなる抄紙に結合材としてフェノール樹脂を含浸して熱硬化させたペーパー摩擦材などを例示することができる。

#### 【0043】

##### 【実施例】

以下、本発明を実施例により更に詳細に説明する。

##### (1) 摩擦特性評価A

##### [成膜方法]

##### (参考例1)

プラズマCVD法を用いて、メタンガスを炭素原料とし、珪素原料としては、テトラメチルシラン(TMS)を水素とアルゴンの混合ガスをキャリアガスとしてプラズマ中に導入した。ここで、メタン流量は $50\text{ sccm}$ 、珪素流量は $10\text{ sccm}$ 、反応圧力は $5\text{ torr}$ 、投入電力は $500\text{ W}$ とした。なお、成膜温度は $100$ より低いと放電が不安定になって膜密度が低下するので、成膜温度は $500$ で放電処理を行った。成膜速度は $6\text{ }\mu\text{m/hr}$ であった。この条件で30分間成膜を行い、膜厚 $3\text{ }\mu\text{m}$ のSi含有非晶質硬質炭素膜を得た。膜組成はそれぞれat%で、 $15\text{ Si} - 55\text{ C} - 30\text{ H}$ であった。水素量は弾性反跳粒子検出法(EDR)を用いて測定した。すなわち、 $2\text{ MeV}$ のHeイオンビームで試料を衝撃して、試料中からはじき出される水素を半導体検出器により検出して試料中の水素濃度を測定する方法である。

#### 【0044】

基材としてはSK4(炭素工具鋼)で作成した、図1に示す下部試片を用いた。下部試片は内径( $d_1$ ) $10\text{ mm}$ 、外径( $d_2$ ) $32\text{ mm}$ 、高さ( $h$ ) $20\text{ mm}$ で、角度が $11^\circ$ のテーパ面を有する円筒状で、テーパ面に前記の条件で非晶質硬質炭素膜を被覆して供試材としたものである。このとき、被覆面の表面粗さは $1.0\text{ }\mu\text{m Rz}$ であった。

##### (参考例2)

成膜方法としてはスパッタリング法を用い、炭素原料としてはカーボンターゲットを、また窒素原料としては窒素ガスをを用いて成膜した。窒素ガスの流量は $10\text{ sccm}$ 、アルゴンガスの流量は $50\text{ sccm}$ 、反応圧力は $3\text{ mtorr}$ 、成膜出力は $500\text{ W}$ 、成膜温度は $250$ であった。この条件で膜厚 $2\text{ }\mu\text{m}$ のN含有非晶質硬質炭素膜を得た。得られた膜組成はat%で、 $5\text{ N} - 80\text{ C} - 15\text{ H}$ であった。

#### 【0045】

なお、基材としては参考例1と同様形状のSK4材とし、そのテーパ面に上記のN含有非晶質硬質炭素膜を被覆して供試材とした。

##### (実施例1)

プラズマCVD法を用いて、メタンガスを炭素原料とし、テトラメチルシラン(TMS)を珪素原料として、また、窒素ガスを窒素原料としてプラズマ中に導入した。ここで、メタン流量は $50\text{ sccm}$ 、珪素流量は $4\text{ sccm}$ 、窒素流量は $20\text{ sccm}$ 、反応圧力は $5\text{ torr}$ 、投入電力は $300\text{ W}$ とし、成膜温度 $200$ で放電処理を行った。成膜速度は $4\text{ }\mu\text{m/hr}$ であった。この条件で30分間成膜を行い、膜厚 $3\text{ }\mu\text{m}$ のSiおよびN含有非晶質硬質炭素膜を得た。膜組成はそれぞれat%で、 $10\text{ Si} - 5\text{ N} - 55\text{ C} - 30\text{ H}$ であった。

#### 【0046】

なお、基材としては参考例1と同様形状のSK4材とし、そのテーパ面に上記SiおよびN含有非晶質硬質炭素膜を被覆して供試材とした。

10

20

30

40

50



## (比較例 1)

プラズマ CVD 法を用いて、メタンガスを炭素原料としてプラズマ中に導入した。ここで、メタン流量は 50 sccm、反応圧力は 0.05 torr、投入電力は 200 W とし、成膜温度 250 で放電処理を行った。成膜速度は 0.5  $\mu\text{m}/\text{hr}$  であった。この条件で 240 分間成膜を行い、膜厚 2  $\mu\text{m}$  の非晶質硬質炭素膜を得た。膜組成は at % で、75 C - 25 H であった。

## 【0047】

なお、基材としては参考例 1 と同様形状の SK4 材とし、そのテーパ面に上記非晶質硬質炭素膜を被覆して供試材とした。

## 【0048】

10

## (比較例 2)

非晶質硬質炭素膜を被覆しないで、焼入れ、焼戻し処理により HV 750 になるように熱処理した SK4 を供試材とした。寸法、形状は上記の実施例 1 ~ 3 と同様であった。

## [評価方法]

摩擦特性評価 A は、2 つの摺動部材に金属を用いて、金属材 - 金属材間での湿式条件下での摩擦特性を評価したものである。試験方法の概略を図 2 に示す。

## 【0049】

この方法は、コーン形状の試片（以下、下部試片という）の上方から、3 つのブロック形状の突部を有する SK4 材の試片（以下、上部試片という）を押しつけ、下部試片を回転させた際に上部試片と下部試片との間に生じる摩擦力を測定する方法である。

20

## 【0050】

ここで、上部試片には比較例と同様に焼入れ、焼戻し処理により HV 750 になるように熱処理した SK4 材を供した。下部試片のテーパ面の表面粗度は 1  $\mu\text{m Rz}$  であった。

## 【0051】

本評価試験は駆動系潤滑油のオイルバス中で行われた。駆動系潤滑油としては市販のキャッスルオートフルード TC を 200 ml 使用した。試験条件を表 2 に示す。

## 【0052】

## 【表 2】

	なじみ				本試験		
	1	2	3	4	5	6	7
手順							
すべり速度 (mm/s)	500				100		
荷重 (kgf)	30	40	50	60	40	60	80
最大ヘルツ圧 (MPa)	159	183	205	224	183	224	259
時間 (min)	各5			15	各1		
油温 (°C)	100						

## 【0053】

まず、各々の条件で準備したテーパ面が非晶質硬質炭素膜で被覆された下部試片2を回転軸にセットする。次に、上部試片1の3つのブロック形状の突部が下部試片2のテーパ面に当接するように上部試片1を固定軸にセットする。上部試片1と下部試片2のすべり速度は500mm/s一定として、荷重Wを4段階に変化させて上部試片1と下部試片2をなじませる。まず荷重30kgfを負荷して5分間回転し、次に荷重を40kgfに上げて5分間回転し、さらに荷重を50kgfに上げて5分間回転させる。その後、荷重を60kgfとして15分間回転させて合計30分間のなじみ試験を終了する。しかる後に、3段階の荷重条件で摩擦係数を測定した。すなわち、40、60、80kgfの3段階である。ここで、上部試片1と下部試片2のすべり速度は100mm/s一定であり、負荷時間は各1分間ずつであった。なお、オイルバス3の油温は100に保持した。

## 【0054】

また、表1中の最大ヘルツ圧とは、上部試片1と下部試片2との接触部の弾性変形を考慮した実接触面の圧力の最大値である。

## 〔評価結果〕

評価結果を図3に示す。図3で横軸は荷重(kgf)、縦軸は摩擦係数である。参考例1( )のSi含有非晶質硬質炭素膜被覆品、参考例2( )のN含有非晶質硬質炭素膜被覆品、および実施例1( )のSi、N含有非晶質硬質炭素膜被覆品では、比較例1(

10

20

30

40

50

）の非晶質硬質炭素膜被覆品および比較例 2（ ）の熱処理品に比べて、いずれの荷重条件においても高い摩擦係数値を示している。すなわち、非晶質硬質炭素膜被覆品については、炭素膜中に S i または N を添加すること、あるいは S i と N を同時添加することによって、湿式条件下での摩擦係数が増大することが分った。

## （ 2 ）摩擦特性評価 B

### 〔成膜方法〕

#### （参考例 3）

S 3 5 C（炭素鋼）からなるプレート試片（寸法：厚さ 2 mm × 3 0 × 3 0 mm）表面に、参考例 1 と同一の成膜条件で S i 含有非晶質硬質炭素膜を蒸着した。蒸着面の表面粗さは 1 . 0 μ m R z であった。

10

#### （比較例 3）

比較のために非晶質硬質炭素膜を蒸着していない参考例 3 と同一寸法の S 3 5 C 材のプレート試片を処理なし品として供試材とした。

#### （参考例 4）

S U S 4 4 0 C（ステンレス鋼）のプレート試片（寸法：厚さ 2 mm × 3 0 × 3 0 mm）の摺動面にプラズマ C V D 法を用いて S i 含有非晶質硬質炭素膜を被覆した。メタンガスを炭素原料とし、テトラメチルシラン（T M S）を珪素原料とし、水素とアルゴンの混合ガスをキャリアガスとしてプラズマ中に導入した。メタン流量は 1 0 0 s c c m で、珪素流量は 1 s c c m とした。なお、その他の成膜条件は、投入電力を 5 0 0 W とし、成膜温度は 5 0 0 で、圧力は 6 t o r r とし、成膜速度は 4 ~ 7 μ m / h r であった。この条件で成膜時間を調整して膜厚 2 μ m の S i 含有非晶質硬質炭素膜を得た。得られた非晶質硬質炭素膜中の S i 含有量は 4 a t % であり、プレート試片の表面粗さは 2 . 4 μ m R z であった。

20

#### （参考例 5）

メタン流量を 5 0 s c c m、珪素流量を 4 s c c m とした以外は参考例 4 と同様の成膜条件で、プレート試片の摺動面に S i 含有非晶質硬質炭素膜を被覆した。得られた非晶質硬質炭素膜中の S i 含有量は 1 2 a t % であり、プレート試片の表面粗さは 2 . 5 μ m R z であった。

#### （参考例 6）

メタン流量を 5 0 s c c m、珪素流量を 1 0 s c c m とした以外は参考例 4 と同様の成膜条件で、プレート試片の摺動面に S i 含有非晶質硬質炭素膜を被覆した。得られた非晶質硬質炭素膜中の S i 含有量は 1 6 a t % であり、プレート試片の表面粗さは 3 . 3 μ m R z であった。

30

#### （比較例 4）

表面処理を施さない S U S 4 4 0 C（ステンレス鋼）のプレート試片（寸法は参考例 4 ~ 6 と同じ）を供試材とした。なおこのプレート試片の表面粗さは 2 . 1 μ m R z であった。

### 〔評価方法〕

一方の摺動部材に金属材を用い、他方にペーパー摩擦材を用いたペーパー摩擦材 - 金属材間の湿式摩擦試験を実施した。試験方法の概略を図 4 に示す。

40

#### 【 0 0 5 5 】

ペーパー摩擦材には、基材としてセルロース繊維からなる抄紙に結合材としてフェノール樹脂を含浸して熱硬化させたものを用いた。なお、ペーパー摩擦材中のフェノール樹脂含浸量はペーパー摩擦材を 1 0 0 重量%として 6 0 重量%程度であった。このペーパー摩擦材の表面粗さは 1 0 ~ 1 5 μ m R z であり、また摩擦面積は 2 0 0 m m <sup>2</sup> であった。このペーパー摩擦材を外径 2 5 . 6 mm、厚さ 2 . 8 mm のリング試片の断面に張付けて試験機の固定軸に取付けた。さらにプレート試片を挿入した固定ホルダを試験機の回転軸に取付けて評価試験を実施した。

#### 【 0 0 5 6 】

本評価試験は潤滑油中で行われた。潤滑油は市販の駆動系潤滑油であるキャスルオー

50

トフルードタイプ T - I V を 2 0 0 m l 使用した。試験条件を表 3 に示す。

【 0 0 5 7 】

【表 3】

	なじみ	本試験									
手順	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
すべり速度 (mm/s)	1 000	50	100	300	500	700	1 000	1 300	1 500	1 700	2 000
荷重 (kgf)	20										
面圧 (MPa)	1										
時間 (min)	30	各1									
油温 (°C)	80										

まず、プレート試片 5 を試験機油槽（オイルバス 3）の所定の位置に固定する。次にリング試片 4 に装着されたペーパ摩擦材 6 をプレート試片 5 に当接させ、リング試片 4 に 20 kgf の荷重 W を負荷して、すべり速度 1000 mm/s で 30 分間回転させ、ペーパ摩擦材 6 とプレート試片 5 の非晶質硬質炭素膜面とをなじませる。しかる後に、20 kgf の荷重は一定ですべり速度を 10 段階に変化させて、各すべり速度条件における摩擦係数を測定した。

【0059】

すべり速度は、50 mm/s、100 mm/s、300 mm/s、500 mm/s、700 mm/s、1000 mm/s、1300 mm/s、1500 mm/s、1700 mm/s、2000 mm/s とし、1 分間ごとに段階的に変化させた。この間、オイルバス 3

10

[ 評価結果 - 1 ]

基材を S35C（炭素鋼）とした参考例 3 と比較例 3 の測定結果を図 5 に示す。図 5 から分かるように、参考例 3（ ）の Si 含有非晶質硬質炭素膜被覆品は、比較例 3（ ）の処理なし品に比べて、いずれのすべり速度条件においても高い摩擦係数値を示している。

【0060】

さらに、参考例 3（ ）の Si 含有非晶質硬質炭素膜被覆品では、摩擦係数（ $\mu$ ）は、すべり速度（ $v$ ）が 50 mm/s ~ 100 mm/s では増加し、100 mm/s ~ 1000 mm/s の範囲ではほぼ一定となり、1000 mm/s を越えると徐々に低下している。この傾向は、比較例 3（ ）の処理なし品とほぼ同様の傾向であり図 5 ではほとんど平行している。すなわち、参考例 3 の Si 含有非晶質硬質炭素膜被覆品は、摩擦係数が高いにもかかわらず、良好な  $\mu$ - $v$  特性を維持していることが裏付けられた。

20

[ 評価結果 - 2 ]

基材を SUS440C（ステンレス鋼）とした参考例 4 ~ 6 と、比較例 4 の測定結果を図 6 に示す。図 6 で は参考例 4 のすべり速度による摩擦係数の変化を示す。また、 は参考例 5 の、 は参考例 6 の測定結果である。 は比較例 4 の測定結果である。

【0061】

参考例 4 ~ 6 はいずれも処理なし品である比較例 4 に比べて、いずれのすべり速度条件においても高い摩擦係数値を示している。また、ここでは Si 含有非晶質硬質炭素膜の Si 含有量が低い方が摩擦係数は高い傾向にある。さらに、参考例 4 ~ 6 では、すべり速度の増加に伴って摩擦係数は増加し、すべり速度が 1000 mm/s 以上では、いずれの参考例でも摩擦係数はほぼ一定となり、良好な  $\mu$ - $v$  特性を維持していることが分かった。

30

（3）摩擦特性評価 C

[ 成膜方法 ]

（参考例 7 ~ 11）

プラズマ CVD 法を用いて、メタンガスを炭素原料とし、テトラメチルシラン（TMS）を珪素原料とし、水素とアルゴンの混合ガスをキャリアガスとしてプラズマ中に導入した。ここで、メタン流量と、珪素流量とを表 3 のように変化して、珪素含有量の異なる参考例 7 ~ 11 の 5 水準の非晶質硬質炭素膜を作製した。成膜条件は、投入電力を 500 W とし、成膜温度は 500 で、圧力は 6 torr とし、成膜速度は 4 ~ 7  $\mu\text{m/hr}$  であった。この条件で成膜時間を調整して膜厚 2  $\mu\text{m}$  の Si 含有非晶質硬質炭素膜を得た。得られた非晶質硬質炭素膜組成の分析結果を表 3 に併記した。

40

【0062】

なお、基材は、6.3 x 15.7 x 10.1 mm の焼入れ焼戻した SUS440C（HV650 ~ 750）のブロック試験片を用い、6.3 x 15.7 mm の面に前記の各非晶質硬質炭素膜を成膜して供試材とした。

【0063】

【表 4】

試料番号	成膜条件			非晶質硬質炭素膜組成 (a t %)		
	成膜出力 (W)	TMS流量 (s c c m)	CH <sub>4</sub> 流量 (s c c m)	Si	C	H
比較例 5	200	0	50	0	75	25
参考例 7	500	1	100	4.1	65.9	30
参考例 8	500	2	50	9.8	60.2	30
参考例 9	500	4	50	11.6	56.4	32
参考例 10	500	10	50	15.6	55.4	29
参考例 11	500	10	0	22.0	46.0	32

注) 成膜方法は全てプラズマCVD

#### 【0064】

(比較例5)

比較例1と同様の条件で非晶質硬質炭素膜を作製した。成膜条件および非晶質硬質炭素膜組成の分析結果を表4に併記する。

#### 【0065】

なお、基材は、参考例7～11と同様のブロック試験片とした。

[評価方法]

10

20

30

40

50

本評価方法は二つの摺動部材に金属を用いた、金属材 - 金属材間での湿式条件下での摩擦特性を評価したものである。

【 0 0 6 6 】

リング・オン・ブロック型摩擦試験 ( F A L E X 社製 L F W - 1 型試験 ) により各非晶質硬質炭素膜の摩擦係数及び摩耗量を測定して評価した。試験方法の概略を図 7 に示す。非晶質硬質炭素膜 7 を被覆したブロック試験片 6 とオイルバス 3 内で回転している相手方リング試験片 8 との摩擦係数と摩耗深さとを測定した。相手方リング試験片 8 には、L F W - 1 型試験の標準試験片である F A L E X S - 1 0 リング試験片 ( 材質 : S A E 4 6 2 0 スティール、硬さ : H V 6 5 0 ~ 7 7 0 ) を使用した。また、オイルバス 3 には駆動系潤滑油としてキャッスルオートフルード T C を 1 0 0 m l 使用し、油温は 8 0 とした。

10

【 0 0 6 7 】

まず、ブロック試験片 6 とリング試験片 8 とを当接させ、無負荷状態でリング試験片 8 の回転速度を 0 . 2 5 m / s に設定し、次にブロック試験片 6 に 0 . 2 3 G P a となるように荷重 W を負荷して摩擦回転させる。この状態で 3 0 分間保持した後に摩擦係数と摩耗深さとを測定した。

[ 評価結果 ]

結果を図 8 に示した。図 8 で横軸は非晶質硬質炭素膜中の S i 含有量を a t % で示し、縦軸は左縦軸を摩擦係数、右縦軸を摩耗深さ (  $\mu$  m ) とした。S i 含有量による摩擦係数の変化を ( ) で示し、摩耗深さの変化を ( ) で示した。

20

【 0 0 6 8 】

摩擦係数は、比較例 5 ( S i 含有量 : 0 ) に比べて S i 含有量の増加に伴って参考例 1 0 の S i = 1 5 . 6 a t % までは増加する。しかし、参考例 1 1 の S i = 2 2 . 0 a t % では参考例 7 ( 4 . 1 a t % S i ) と同じ程度まで減少する。一方、摩耗深さは、参考例 9 の S i = 1 1 . 6 a t % まではほとんど変化がないが、これを越えると急激に摩耗深さが増大し、参考例 1 1 の S i = 2 2 . 0 a t % では約 1 . 8  $\mu$  m と非晶質硬質炭素膜 ( 膜厚 : 2  $\mu$  m ) が消失する直前の状態まで摩耗してしまい、耐摩耗性に問題を生じることが分る。そこで、相手材が金属材料の場合には、摩擦係数が高く、かつ耐摩耗性を兼ね備えた膜組成としては、参考例 7 ~ 1 0 までの範囲が望ましく、3 a t % < S i < 2 0 a t % が最適な膜組成であることが確認できた。

30

( 4 ) 摩擦特性評価 D

[ 成膜方法 ]

( 参考例 1 2 )

参考例 7 と同一の成膜条件で、0 . 4  $\mu$  m R z に表面研磨した F A L E X S - 1 0 リング試験片表面に非晶質硬質炭素膜を被覆した。得られた非晶質硬質炭素膜の S i 含有量は 4 . 1 a t % であり、皮膜厚さは 2  $\mu$  m であった。

( 参考例 1 3 )

参考例 9 と同一の成膜条件で、0 . 4  $\mu$  m R z に表面研磨した F A L E X S - 1 0 リング試験片表面に非晶質硬質炭素膜を被覆した。得られた非晶質硬質炭素膜の S i 含有量は 1 1 . 6 a t % であり、皮膜厚さは 2  $\mu$  m であった。

40

( 参考例 1 4 )

参考例 1 0 と同一の成膜条件で、0 . 4  $\mu$  m R z に表面研磨した F A L E X S - 1 0 リング試験片表面に非晶質硬質炭素膜を被覆した。得られた非晶質硬質炭素膜の S i 含有量は 1 5 . 6 a t % であり、皮膜厚さは 2  $\mu$  m であった。

( 比較例 6 )

成膜方法としてはマグネトロンスパッタリング法を用い、炭素原料としては、カーボンターゲットを、また、タングステン原料としてはタングステターゲットを用いて成膜した。基材は参考例 1 2 ~ 1 4 と同様に、0 . 4  $\mu$  m R z に表面研磨した F A L E X S - 1 0 リング試験片とした。非晶質硬質炭素膜の組成は a t % で、1 0 W - 6 0 C - 3 0 H であった。また、皮膜厚さは参考例と同様に 2  $\mu$  m であった。

50



(比較例 7)

皮膜処理を施さない  $0.4 \mu\text{m Rz}$  に表面研磨した F A L E X S - 10 リング試験片を供試材とした。

[評価方法]

本評価方法は一方の摺動部材に金属材を用い、他方にセラミックス材を用いた金属材 - セラミックス材間での湿式条件下での摩擦特性を評価する方法である。

【0069】

前記の摩擦特性評価 C と同様のリング・オン・ブロック型摩擦試験 (F A L E X 社製 L F W - 1 型試験) により各非晶質硬質炭素膜の摩擦係数を測定して評価した。試験方法の概略を図 9 に示す。ここでは、図 7 とは異なり、リング試験片 8 の表面に非晶質硬質炭素膜 7 が被覆されている。そして、セラミックス材からなるブロック試験片 6 とオイルバス 3 内で接触回転させて摩擦係数を測定した。

10

【0070】

ここで、非晶質硬質炭素膜 7 が被覆されているリング試験片と摺動する相手材のセラミックスブロック 6 は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{Si}_3\text{N}_4$  であり、いずれも  $2 \sim 3 \mu\text{m Rz}$  の表面粗さのものである。なお、セラミックスブロック 6 の寸法は、 $6.3 \times 15.7 \times 10.1 \text{ mm}$  で、 $6.3 \times 15.7 \text{ mm}$  の面をリング試験片 8 に接触させて測定した。また、オイルバス 3 には駆動系潤滑油としてキャスルオートフルード TC を  $100 \text{ ml}$  使用し、油温は  $80^\circ\text{C}$  とした。

【0071】

20

まず、ブロック試験片 6 とリング試験片 8 とを当接させ、 $300 \text{ N}$  の荷重  $W$  を負荷し、各すべり速度で  $10$  分間保持して摩擦係数値を求めた。すべり速度は、 $0.1 \text{ m/s}$ 、 $0.3 \text{ m/s}$ 、 $0.5 \text{ m/s}$  の 3 水準とした。

[評価結果]

結果を図 10 及び図 11 に示す。図 10 は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  セラミックスブロックと摺動した Si 含有量の異なる非晶質硬質炭素膜のすべり速度に対する摩擦係数の変化を示している。ここで記号はそれぞれ ( ) が参考例 12 ( $4.1\% \text{ Si}$ )、( ) が参考例 13 ( $11.6\% \text{ Si}$ )、( ) が参考例 14 ( $15.6\% \text{ Si}$ )、( ) は比較例 6 ( $10\% \text{ W}$ ) である。Si 含有の非晶質硬質炭素膜の摩擦係数はいずれのすべり速度においても W 含有の非晶質硬質炭素膜の摩擦係数よりも高い値を示している。

30

【0072】

また、図 11 は  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスブロックと摺動した Si 含有量の異なる非晶質硬質炭素膜のすべり速度に対する摩擦係数の変化を示している。ここで記号はそれぞれ ( ) が参考例 12 ( $4.1\% \text{ Si}$ )、( ) が参考例 13 ( $11.6\% \text{ Si}$ )、( ) が参考例 14 ( $15.6\% \text{ Si}$ )、( ) は比較例 7 の処理なしリングである。ここでも、図 10 と同様に Si 含有の非晶質硬質炭素膜の摩擦係数はいずれのすべり速度においても処理なしリングの摩擦係数よりも高い値を示している。

【0073】

すなわち、 $3 \sim 20 \text{ at}\%$  の Si を含有する非晶質硬質炭素膜は、相手材がセラミックス材であっても金属材と同様に湿式条件下において摩擦係数が増大することが分かった。

40

(5) 摺動特性評価

[試料の作成]

Si 添加量を  $0 \sim 30 \text{ at}\%$  (H 含有量を除く  $\text{at}\%$  で) まで 6 段階に変化させた Si 含有非晶質硬質炭素膜を SKH55 材からなる厚さ  $3 \text{ mm}$ 、直径  $30 \text{ mm}$  のディスク試片の表面に被覆して供試材とした。すなわち、Si の添加量は  $0$ 、 $8$ 、 $17$ 、 $22$ 、 $26$ 、 $32 \text{ at}\%$  の 6 段階であった。非晶質硬質炭素膜の成膜方法は参考例 1 と同様とした。ディスク試片の表面粗さは  $0.2 \mu\text{m Rz}$  以下であり、また、形成された各 Si 含有非晶質硬質炭素膜の厚さは  $3 \mu\text{m}$  であった。

[評価方法]

Si 含有非晶質硬質炭素膜の摺動特性はボールオンディスク試験により駆動系潤滑油中

50

で評価した。相手材は直径  $6.35\text{ mm}$  の  $\text{SUJ2}$  ボールとした。各添加量の  $\text{Si}$  含有非晶質硬質炭素膜を形成したディスク試験片を所定の治具にセットし、荷重  $50\text{ N}$ 、速度  $0.2\text{ m/s}$  の条件で摩擦係数を測定した。

【評価結果】

図 12 にボールオンディスク試験の結果、すなわち非晶質硬質炭素膜中への  $\text{Si}$  添加量による摩擦係数の変化を示す。ここで、 $\text{Si}(\text{at}\%)$  および  $\text{C}(\text{at}\%)$  は  $\text{H}$  含有量を除いて計算した値で、 $\text{Si}(\text{at}\%) + \text{C}(\text{at}\%) = 100(\text{at}\%)$  である。比較材である  $\text{SKH55}$  の処理なし品の摩擦係数は図中に破線で示した  $0.1$  であった。

【0074】

図 12 から  $\text{Si}$  無添加の非晶質硬質炭素膜の摩擦係数は、未処理の  $\text{SKH55}$  に比べて低いが、 $\text{Si}$  含有非晶質硬質炭素膜では、 $\text{Si}$  添加量の増加 ( $\text{C}$  量の減少) に伴い摩擦係数は高くなる傾向にあることが分った。特に  $\text{Si}$  添加量が  $10\text{ at}\%$  を越えると  $\text{Si}$  含有非晶質硬質炭素膜の摩擦係数は、未処理の  $\text{SKH55}$  の摩擦係数よりも高くなることが確認できた。

(6) 硬さ評価

上記 (5) の摺動特性評価に使用した試片と同様にして作成した各  $\text{Si}$  含有非晶質硬質炭素膜被覆試片を用い、各試片のマイクロビッカース硬度  $\text{HV}$  を測定し、 $\text{Si}$  添加量と非晶質硬質炭素膜の硬さとの関係を調べた。各試片の被覆厚さは  $3\text{ }\mu\text{m}$  であった。

【0075】

結果を図 13 に示す。 $\text{Si}$  無添加に比べると  $\text{Si}$  を添加することによって多少硬度は低下するものの、 $\text{Si}$  が  $30\text{ at}\%$  以上でも  $\text{HV}1500$  以上と、 $\text{SKH55}$  未処理品の  $\text{HV}800$  に比べて極めて高い値が得られた。したがって、本発明に係る  $\text{Si}$  含有非晶質硬質炭素膜を被覆した材料は、 $\text{Si}$  の添加量に係わらず耐摩耗性に優れた材料であることが分った。

【0076】

【産業上の利用の可能性】

本発明の目的は、油を用いた湿式摺動条件において、安定した高い摩擦係数と良好な  $\mu$ - $v$  特性を有し、かつ耐摩耗性に優れ、相手攻撃性の低い高摩擦摺動部材を提供することである。

【0077】

本発明の高摩擦摺動部材は、例えば自動変速機、駆動力分配装置およびリミテッドスリップデファレンシャル等に用いられる湿式クラッチ、手動変速機等のシンクロナイズ、無段変速機の変速ユニット等の動力伝達用摺動部等に用いることによって、ユニットのトルク容量ならびに耐久性を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 金属材 - 金属材間摩擦試験に用いた下部試験片の形状を示す図である。

【図 2】 金属材 - 金属材間摩擦試験の概略図である。上部試片 1 に荷重  $W$  を負荷して下部試片 2 に押しつけオイルパス 3 中で回転させて摩擦試験を行う。

【図 3】 金属材 - 金属材間摩擦試験での摩擦係数の比較のグラフである。( ) は参考例 1、( ) は参考例 2、( ) は実施例 1、( ) は比較例 1、( ) は比較例 2 の結果を示す。

【図 4】 ペーパー摩擦材 - 金属材間摩擦試験の概略図である。リング試片 4 にペーパー摩擦材 6 を張り付けオイルパス 3 中で回転しているプレート試片 5 に荷重  $W$  で押しつけ摩擦試験を行う。

【図 5】 基材を  $\text{S35C}$  (炭素鋼) としたときのペーパー摩擦材 - 金属材間摩擦試験でのすべり速度による摩擦係数の変化を比較したグラフである。( ) は参考例 3、( ) は比較例 3 の処理なし品の結果を示す。

【図 6】 基材をステンレス鋼としたときのペーパー摩擦材 - 金属材間摩擦試験でのすべり速度による摩擦係数の変化を比較したグラフである。( ) は参考例 4 の、( ) は参考例 5 の、( ) は参考例 6 の測定結果である。( ) は比較例 4 の結果である。

10

20

30

40

50

【図 7】 リング・オン・ブロック試験の概略図である。ブロック試験片 6 に形成した非晶質硬質炭素膜 7 とオイルパス 3 中で回転するリング試験片 8 とを接触させ荷重  $W$  を負荷して摩擦試験を行う。

【図 8】 リング・オン・ブロック試験により得られた非晶質硬質炭素膜の  $S i$  含有量による摩擦係数の変化と、摩耗深さの変化とを示すグラフである。( ) は左目盛りの摩擦係数の変化、( ) は右目盛りの摩耗深さの変化を示す。

【図 9】 リング・オン・ブロック試験の概略図であるが、6 はセラミックスブロック試験片であり、リング試片 8 の表面に  $S i$  含有量を変化させた非晶質硬質炭素膜 7 を形成して摩擦試験を行う。

【図 10】  $Al_2O_3$  セラミックスと摺動した  $S i$  含有量の異なる非晶質硬質炭素膜のすべり速度に対する摩擦係数の変化を示している。ここで記号はそれぞれ( ) が参考例 1 2、( ) が参考例 1 3、( ) が参考例 1 4、( ) は比較例 6 である。

【図 11】  $Si_3N_4$  セラミックスと摺動した  $S i$  含有量の異なる非晶質硬質炭素膜のすべり速度に対する摩擦係数の変化を示している。ここで記号はそれぞれ( ) が参考例 1 2、( ) が参考例 1 3、( ) が参考例 1 4、( ) は比較例 7 の処理なしリングである。

【図 12】 ボールオンディスク試験によって得られた非晶質硬質炭素膜の  $S i$  含有量による摩擦係数の変化を示すグラフである。

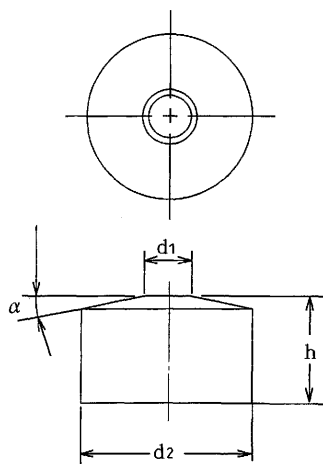
【図 13】 非晶質硬質炭素膜の  $S i$  含有量によるピッカース硬さの変化を示すグラフである。

10

20

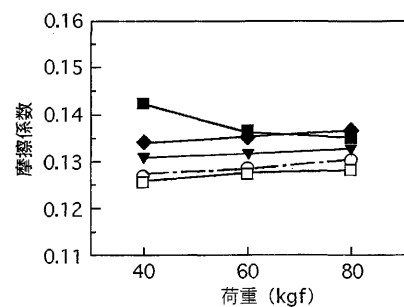
【図 1】

図 1



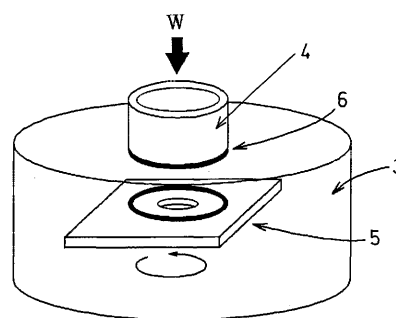
【図 3】

図 3



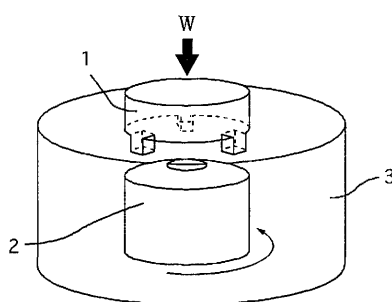
【図 4】

図 4



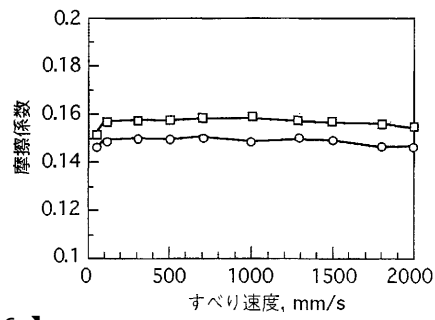
【図 2】

図 2



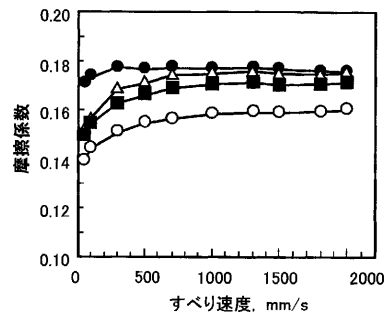
【図 5】

図 5



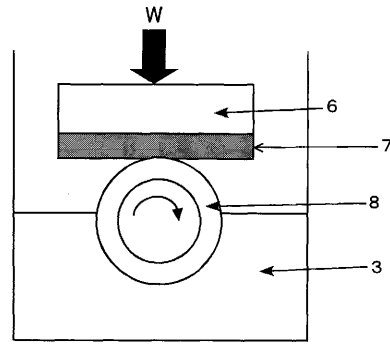
【図 6】

図 6



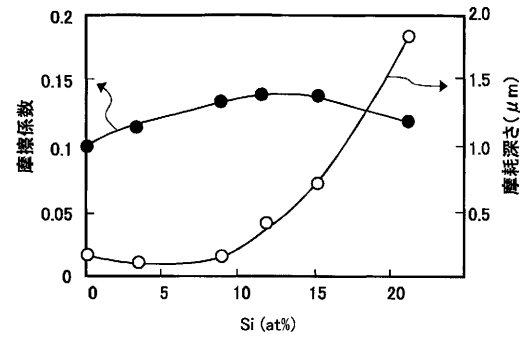
【図 7】

図 7



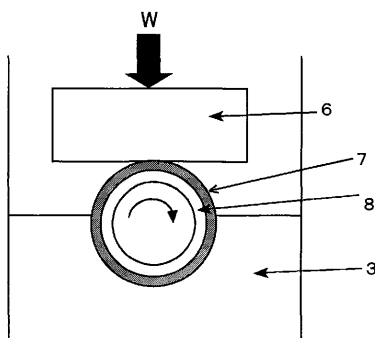
【図 8】

図 8



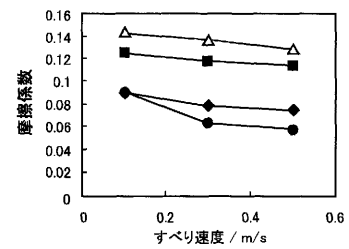
【図 9】

図 9



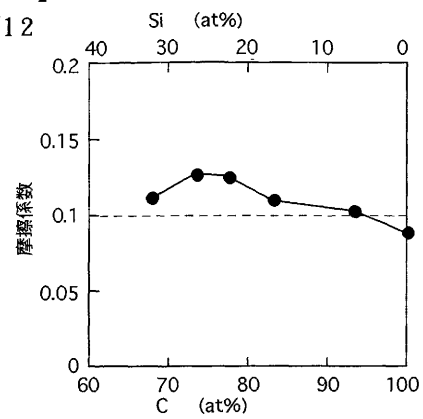
【図 11】

図11

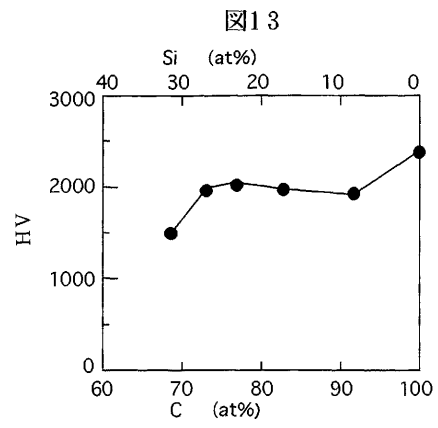


【図 12】

図12



【図 13】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 奥山 勝  
日本国愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4番地の1 株式会社豊田中央研究所内
- (72)発明者 遠山 護  
日本国愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4番地の1 株式会社豊田中央研究所内
- (72)発明者 大森 俊英  
日本国愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4番地の1 株式会社豊田中央研究所内
- (72)発明者 中西 和之  
日本国愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4番地の1 株式会社豊田中央研究所内

審査官 藤村 泰智

- (56)参考文献 特開平04-366029(JP,A)  
特開昭62-157602(JP,A)  
特開平09-316475(JP,A)  
特開平09-137180(JP,A)  
特開平07-179875(JP,A)  
特開昭62-070214(JP,A)  
特開2003-343597(JP,A)  
特開2004-169788(JP,A)  
特開2002-213485(JP,A)  
特開2001-214269(JP,A)  
特開2001-192864(JP,A)  
特開2001-316686(JP,A)  
特開2000-336386(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F16D 49/00 ~ 71/04  
F16D 13/60  
C23C 14/06  
C23C 16/26  
C01B 31/02  
C04B 41/87