

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710143435.1

[51] Int. Cl.

F16H 55/06 (2006.01)

F16H 55/17 (2006.01)

C23C 14/35 (2006.01)

C23C 14/06 (2006.01)

C23C 14/22 (2006.01)

C23C 16/27 (2006.01)

[45] 授权公告日 2010年3月10日

[11] 授权公告号 CN 100593655C

[22] 申请日 2007.7.31

[21] 申请号 200710143435.1

[30] 优先权

[32] 2006.7.31 [33] JP [31] 2006-207697

[73] 专利权人 日产自动车株式会社

地址 日本神奈川县

共同专利权人 株式会社神户制钢所

[72] 发明人 山口拓郎 山本兼司

[56] 参考文献

CN1580613A 2005.2.16

CN1758340A 2006.4.12

CN1460741A 2003.12.10

JP2000-128516 2000.5.9

JP2005-213636 2005.8.11

JP2004-011018 2004.1.15

类金刚石薄膜和金刚石薄膜的最新制备技术与各种特性。(日)田中章浩.《珠宝科技》,第16卷第6期.2004

审查员 胡杰士

[74] 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事务所

代理人 刘新宇 李茂家

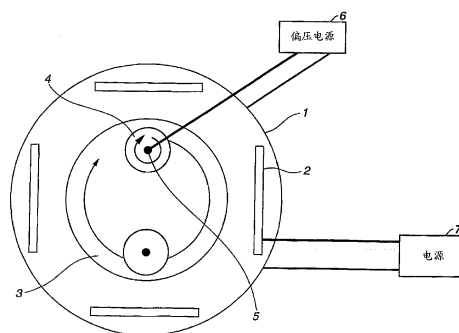
权利要求书3页 说明书24页 附图2页

[54] 发明名称

高强度齿轮、其生产方法和使用其的动力传动机构

[57] 摘要

用作动力传动机构的高强度齿轮。该齿轮包括由已进行渗碳或碳氮共渗处理的铁基合金形成的基础齿轮。该基础齿轮具有用其啮合相对齿轮的啮合表面。基础齿轮的啮合表面涂覆有氢含量不大于10原子%和在纳米压痕试验中表面硬度范围为20至30GPa的第一类金刚石碳膜。另外,至少部分第一类金刚石碳膜涂覆有氢含量不大于10原子%和在纳米压痕试验中表面硬度范围为71至90GPa的第二类金刚石碳膜。该第二类金刚石碳膜具有范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面粗糙度Ra。



1. 一种滑动构件，其包含：

由渗碳或碳氮共渗的铁基合金形成的基础材料，该基础材料具有滑动表面；

用其涂覆基础材料滑动表面的第一类金刚石碳膜，该第一类金刚石碳膜具有不大于10原子%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为20至30GPa的表面硬度；和

用其涂覆至少部分第一类金刚石碳膜的第二类金刚石碳膜，该第二类金刚石碳膜具有不大于10原子%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为71至90GPa的表面硬度，该第二类金刚石碳膜具有范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面粗糙度Ra。

2. 根据权利要求1所述的滑动构件，其中，用其涂覆基础材料滑动表面的该第一类金刚石碳膜通过溅射法形成，第二类金刚石碳膜通过离子电镀法形成。

3. 一种高强度齿轮，其包含：

由渗碳或碳氮共渗的铁基合金形成的基础齿轮，该基础齿轮具有用其啮合相对齿轮的啮合表面；

用其涂覆基础齿轮的啮合表面的第一类金刚石碳膜，该第一类金刚石碳膜具有不大于10原子%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为20至30GPa的表面硬度；和

用其涂覆至少部分第一类金刚石碳膜的第二类金刚石碳膜，该第二类金刚石碳膜具有不大于10原子%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为71至90GPa的表面硬度，该第二类金刚石碳膜具有范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面粗糙度Ra。

4. 根据权利要求3所述的高强度齿轮，其中，该第二类金刚石碳膜在形成于基础齿轮的部分齿轮齿上的第一类金刚石碳膜上形成。

5. 根据权利要求4所述的高强度齿轮，其中，该第二类金

刚石碳膜在形成于基础齿轮的一个齿轮齿上的第一类金刚石碳膜上形成。

6. 一种动力传动机构，其包含：

高强度的第一齿轮，包括

由渗碳或碳氮共渗的铁基合金形成的基础齿轮，该基础齿轮具有啮合表面，

用其涂覆基础齿轮的第一类金刚石碳膜，该第一类金刚石碳膜具有不大于10原子%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为20至30GPa的表面硬度，

用其涂覆至少部分第一类金刚石碳膜的第二类金刚石碳膜，该第二类金刚石碳膜具有不大于10原子%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为71至90GPa的表面硬度，该第二类金刚石碳膜具有范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面粗糙度Ra；和

邻近该第一齿轮并具有与第一齿轮啮合表面啮合的啮合表面的第二齿轮，第二齿轮包括

用其涂覆第二齿轮啮合表面的第三类金刚石碳膜，该第三类金刚石碳膜具有不大于10原子%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为71至90GPa的表面硬度，该第三类金刚石碳膜具有范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面粗糙度Ra。

7. 根据权利要求6所述的动力传动机构，其中，润滑油存在于第一和第二齿轮之间。

8. 一种高强度齿轮的生产方法，其包含：

在基础齿轮的至少部分啮合表面上通过溅射法在基础齿轮相对于碳靶旋转下形成第一类金刚石碳膜，该第一类金刚石碳膜具有不大于10原子%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为20至30GPa的表面硬度；和

在至少部分第一类金刚石碳膜上通过离子电镀法在包括其

中基础齿轮停止旋转的第一状态和其中基础齿轮的旋转速度低的第二状态的条件下形成第二类金刚石碳膜，该第二类金刚石碳膜具有不大于10原子%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为71至90GPa的表面硬度，该第二类金刚石碳膜具有范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面粗糙度Ra，

其中用于形成第一类金刚石碳膜的溅射法中的偏压为-240至-80V，而用于形成第二类金刚石碳膜的离子电镀法中的偏压为-200至-100V。

## 高强度齿轮、其生产方法和使用其的动力传动机构

### 技术领域

本发明涉及高强度齿轮、使用该高强度齿轮的动力传动机构和用于高强度齿轮的生产方法，更具体地涉及用作多种机械结构如机动车辆、工业机械、农业机械等的机械元件的齿轮的高强度齿轮。

### 背景技术

从解决环境问题的观点出发，预期未来发动机驱动的机动车辆增加。要求用于发动机驱动的机动车辆的减速设备的齿轮通过它们的尺寸保持小型化而降低电机旋转速度(达到几万 r.p.m.)至某一低的旋转速度。因此，存在带来表面损害如由于滑动表面上的温度升高而引起的滑动构件的卡住和磨损的担忧。

作为防止这种表面损害的措施，近来使用用类金刚石碳(下文称“DLC”)涂覆滑动构件的表面。DLC包括以混合状态键合的金刚石和石墨并且宏观上具有看似无定形的结构。因此，DLC具有介于金刚石和石墨之间的特性并且硬度和固体润滑特性优良。结果，预期DLC可用于降低摩擦损失和防止由于在滑动下热产生而引起的卡住和磨损，也可用于具有齿轮和带的CVTs(连续变化传动)。

然而，可能引起这样的问题：DLC膜由于DLC膜和要处理的材料之间热膨胀的差异产生的内部应力和由于缺少韧性(toughness)而剥离。随着DLC膜的厚度增加，该问题变得严重。

考虑到以上内容，已提议将金属或半金属如钛(Ti)、锆(Zr)、

铬(Cr)、钨(W)或其类似物的层层压在碳层上以提高碳层的韧性，如在日本专利临时公布No.11-1013所公开的。

另外，已提议将高碳密度层和低碳密度层层压因而提高韧性和在低碳密度层中磨耗粉末的固体润滑作用下提高摩擦特性，如在日本专利临时公布No.2002-322555所公开的。

此外，已提议通过使用由等离子体CVD法获得并含有20至40原子%(下文称为“atm%”)和1至5 atm%硅的DLC膜来提高润滑油中滑动构件的抗咬合性和摩擦特性，如在日本专利临时公布No.2003-336542所公开的。

此外，已提议通过使用由离子电镀法形成并含有不大于10原子%的氢的DLC膜提高滑动构件在机油中的摩擦特性，如在日本专利临时公布No.2000-297373所公开。这似乎是在用于形成DLC膜的靶材料的所谓小滴(droplet)的颗粒材料的研磨作用的贡献下实现的。该小滴不可避免地在离子电镀法中产生。

关于上述日本专利临时公布Nos.11-1013和2002-322555的提议或技术，在无润滑下显示特性的提高，因此该公布未讨论在润滑油中的特性。

关于上述日本专利临时公布No2003-336542的上述提议或技术，尽管展现出显著的摩擦降低，但是在基于碳氢化合物的气体气氛中特别是通过离子电镀法实现成膜的情况下，等离子体变得不稳定。这引起处理期间的不点火，因此，存在使得不可能进行稳定成膜的问题。特别是如齿轮齿一样成形不均匀(unevenness)的情况下，与凸形顶部相比，膜难以在齿轮的凹形基部形成，因此，为了在基部也获得一定的膜厚度，膜厚度不可避免地遍及整个齿轮提高。这样引起由于增厚的膜带来的齿轮剥离强度降低的问题，且要求长时间以形成膜，因而降低膜的稳定性并使得不可能选择成膜方法。

因此，在上述传统技术中，难以在齿轮上形成DLC膜，该膜在润滑油中摩擦低并且即使在高承载压力和在高速度滑动下使用的情况中也不能剥离。

## 发明内容

本发明的目的是提供能够有效地克服由传统滑动构件遇到的缺点的改进的滑动构件。

本发明的另一目的是提供摩擦系数极度降低并且在润滑油中也显示低摩擦特性的改进的滑动构件。

本发明进一步的目的是提供摩擦系数极度降低、在润滑油中也显示低摩擦特性并且齿表面疲劳强度优良的改进的高强度齿轮、使用该高强度齿轮的改进的动力传动机构和用于高强度齿轮的改进的生产方法。

为了解决上述问题，本发明人已进行热切的研究。结果，本发明人已发现能够通过通过在齿轮的啮合表面形成具有氢含量不大于10atm%的两类金刚石碳膜来解决上述问题。

本发明的一方面在于滑动机构，该滑动机构包括由已进行渗碳或碳氮共渗处理的铁基合金形成的基础材料，该基础材料具有滑动表面。基础材料的滑动表面涂覆有第一类金刚石碳。第一类金刚石碳膜具有不大于10atm%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为8至30Gpa的表面硬度。另外，至少部分第一类金刚石碳膜涂覆有第二类金刚石碳膜。第二金刚石碳膜具有不大于10atm%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为50至90Gpa的表面硬度。第二类金刚石碳膜具有范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面粗糙度Ra。

本发明的第二方面在于高强度齿轮，该高强度齿轮包括由已进行渗碳或碳氮共渗处理的铁基合金形成的基础齿轮。该基

础齿轮具有用其啮合相对齿轮的啮合表面。该基础齿轮的啮合表面涂覆有第一类金刚石碳膜。该第一类金刚石碳膜具有不大于10atm%的氢含量且在纳米压痕试验中范围为8至30Gpa的表面硬度。另外，至少部分第一类金刚石碳膜涂覆有第二类金刚石碳膜。该第二类金刚石碳膜具有不大于10atm%的氢含量和在纳米压痕试验中范围为50至90Gpa的表面硬度。该第二类金刚石碳膜具有范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面粗糙度Ra。

本发明的第三方面在于动力传动机构，该动力传动机构包括高强度的第一齿轮。第一齿轮包括由已进行渗碳或碳氮共渗处理的铁基合金形成的基础齿轮，用其涂覆基础齿轮的第一类金刚石碳膜和用其涂覆至少部分第一类金刚石碳膜的第二类金刚石碳膜，该基础齿轮具有啮合表面，该第一类金刚石碳膜具有不大于10atm%的氢含量且在纳米压痕试验中范围为8至30Gpa的表面硬度范围，该第二类金刚石碳膜具有不大于10atm%的氢含量且在纳米压痕试验中范围为50至90Gpa的表面硬度，该第二类金刚石碳膜具有范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面粗糙度Ra。另外，设置邻近第一齿轮并具有与第一齿轮啮合表面啮合的啮合表面的第二齿轮。第二齿轮包括用其涂覆第二齿轮啮合表面的第三类金刚石碳膜，第三类金刚石碳膜具有不大于10atm%的氢含量且在纳米压痕试验中范围为50至90Gpa的表面硬度，第三类金刚石碳膜具有范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面粗糙度Ra。

本发明的第四方面在于生产高强度齿轮的方法，包括：(a)在至少部分基础齿轮的啮合表面上通过溅射法在基础齿轮相对于碳靶旋转下形成第一类金刚石碳膜，该第一类金刚石碳膜具有不大于10atm%的氢含量；和(b)在至少部分第一类金刚石碳膜上、通过离子电镀法、在包括其中将基础齿轮的旋转停止的第一状态和其中基础齿轮的旋转速度低的第二状态的条件，形

成第二类金刚石碳膜，第二类金刚石碳膜具有不大于10原子%的氢含量。

## 附图说明

图1是用于形成根据本发明的高强度齿轮的DLC膜的设备  
的成膜室部分的示意性说明；和

图2是用于检验根据本发明的高强度齿轮的DLC膜的剥离  
强度和摩擦性能的摩擦试验仪的主要部分的示意性透视图。

## 具体实施方式

下面将详细讨论本发明。在下面的描述中，除非另有说明，  
所有百分比是以质量计的。

高强度齿轮包含要处理的基础齿轮(齿轮主体)，该基础齿  
轮由已进行渗碳处理或碳氮共渗处理的铁基合金形成。该基础  
齿轮在其啮合表面或滑动表面涂覆有第一DLC膜。另外，被涂  
覆的第一DLC膜的部分或全部表面通过离子电镀法涂覆有第二  
DLC膜。该第一DLC膜具有氢含量不大于10atm%。该第二DLC  
膜具有不大于10atm%的氢含量以及范围为0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 的表面  
粗糙度(Ra)。表面粗糙度(Ra)根据JIS(日本工业标准)B 0601。

因此，基础齿轮在该基础齿轮的啮合表面设置有二层结构  
的DLC膜形式，因而显示下列有利的效果：

第二DLC膜(通过离子电镀法形成)厚度足够薄，因此不趋  
于剥离。即使第二DLC膜剥离，也可以显示由于小滴而引起的  
研磨效果，所以除由于仅具有氢含量不大于10atm%的DLC膜而  
产生的低摩擦之外，以相应于研磨效果的量降低摩擦。另外，  
第二DLC膜通过离子电镀法形成，同时表面粗糙度(Ra)范围在  
0.1至0.2 $\mu\text{m}$ 之间，因此获得适当量的小滴，因而防止DLC膜开

裂和过度攻击相对构件的表面。

构成要处理的基础齿轮并已进行渗碳或碳氮共渗的铁基合金的种类可以根据高强度齿轮的用途适宜地选择。作为铁基合金，在成膜处理期间在某一温度(约200℃)下具有韧性而不能软化并且是可热处理的一类是适宜的。

铁基合金的典型实例是用于机械结构用途的表面硬化碳钢如S09CK、S15CK、S20CK等和用于机械用途的表面硬化合金钢(alloy case hardening steels)，例如，镍-铬基合金如SNC415、SNC815等，镍-铬-钼基合金如SNCM220、SNCM415、SNCM420、SNCM616、SNCM815等，铬基合金如SCr415、SCr420等，铬-钼基合金如SCM415、SCM418、SCM420、SCM421、SCM822等，以及锰基合金和锰-铬基合金如SMn420、SMnC420等。上述合金实例适于用作本发明齿轮的铁基合金。以上合金的上述符号(如S09CK)根据JIS。

在本发明的高强度齿轮中，第一DLC膜的表面具有在纳米压痕试验中范围为20至30GPa的硬度。通过形成具有这样硬度的第一DLC膜，与由于通过离子电镀形成DLC膜而产生的研磨效果组合可以获得优良的低摩擦系数特性。如果硬度超过30GPa，膜的韧性降低，同时会难以获得稳定的硬度。

适宜的是：第二DLC膜具有在纳米压痕试验中范围为50至90GPa，优选71至90GPa的硬度。随着其中形成第二DLC膜的区域增大，低摩擦特性可以变得优良。另外，第二DLC膜在润滑油中也可以显示优良的低摩擦特性，因而防止由于磨损引起的表面不平整性的形成。

将讨论上述的纳米压痕试验。

材料的硬度由施加于材料表面的承载压力和印记的压痕深度来定义。在传统的硬度试验中，将压头压向材料来施加一定

的载荷，测量移去载荷后印记的尺寸。然后，基于尺寸的测量值，考虑压头的几何因素来计算硬度。然而，最近的电子设备或其类似设备的最小化使得实际上不可能在超低载荷下在用于微材料的强度试验中识别印记的位置和测量印记的尺寸。鉴于此，已提出下面的试验或方法：对于载荷(P)的压头的压痕深度(h)进行动态测量，在压痕载荷-位移曲线上进行硬度评价。这种试验称为“纳米压痕试验”。

接着，将讨论使用高强度齿轮的动力传动机构。

根据本发明的动力传动机构通过使用两个或多个高强度齿轮而构成，每个高强度齿轮是上述高强度齿轮。涂覆有第一DLC膜的相邻齿轮(基础齿轮或齿轮主体)的至少之一的啮合表面(滑动表面)进一步涂覆有第二DLC膜。换言之，两个高强度齿轮可以各自具有第二DLC膜。否则，仅任一高强度齿轮可以具有第二DLC膜。

在减速齿轮或增速齿轮中，优选在齿轮齿的前侧和后侧或前面和后面(驱动侧和被驱动侧)上形成第二DLC膜。在高强度齿轮的正转和反转下，在相对齿轮的全部齿轮齿啮合时，该第二DLC膜可以有效地研磨(grind)相对齿轮齿的相向面或相对面。尤其在具有大模量的齿轮的情况下，与各自在一个齿轮的齿轮齿的前侧和后侧上形成第二DLC膜相比，为了防止每一齿轮齿顶部变厚或膨胀，优选各自在相邻两个齿的相向面或相对面上形成第二DLC膜。

另外，优选润滑油存在于使用高强度齿轮的动力传动机构中的啮合齿轮之间。

这里，上述润滑油优选含有润滑油基础油和包括基于脂肪酸酯的无灰摩擦改进剂、基于脂族胺的无灰摩擦改进剂、基于磷酸脂的极压剂、聚丁烯琥珀酰亚胺、聚丁烯琥珀酰亚胺的衍

生物和二硫代磷酸锌的添加剂的至少一种。换言之，基础油含有上述添加剂的至少一种或上述添加剂的任何组合。

上述润滑油基础油无特别限制并且可以是任何常用于润滑油的基础油(一种化合物或多种化合物)如矿物油、合成油、油脂(化合物)或矿物油、合成油和油脂的任何组合。润滑油通常为液态并且可以用润滑剂如固体石墨或滑石或者用半固体润滑脂代替。

矿物油的具体实例包括石蜡基油或者环烷基油和正石蜡，其通过常压或减压蒸馏从石油中提取润滑油馏分来制备，然后通过使用至少一种下面的处理方法纯化所得的润滑油馏分：可以以适当的组合使用的溶剂脱沥青、溶剂萃取、氢解、溶剂脱蜡、加氢精制、硫酸处理和粘土处理等。通常通过使用加氢精制或溶剂纯化来纯化所得的润滑油馏分。另外，优选使用通过利用能够大大降低芳族组分的深度氢解法纯化润滑油馏分而获得的矿物油或者通过用于异构化GTL(气体到液体)蜡的方法而生产的矿物油。

合成油的具体例子包括：聚- $\alpha$ -烯烃(例如1-辛烯低聚物、1-癸烯低聚物和乙烯-丙烯低聚物)，聚- $\alpha$ -烯烃的氢化物，异丁烯低聚物，异丁烯低聚物的氢化物，异链烷烃；烷基苯，烷基萘，二酯(如戊二酸双十三烷基酯、己二酸二辛酯、己二酸二异癸酯、己二酸双十三烷基酯和癸二酸二辛酯)，多元醇酯(如三羟甲基丙烷辛酸酯、三羟甲基丙烷壬酸酯；三羟甲基丙烷酯如三羟甲基丙烷异硬脂酸酯；季戊四醇酯如季戊四醇-2-乙基己酸酯和季戊四醇壬酸酯)；聚氧亚烷基二醇；二烷基二苯醚和聚苯醚。在这些合成油化合物中，优选聚- $\alpha$ -烯烃，例如1-辛烯低聚物、1-癸烯低聚物及其氢化物。

上述矿物油和合成油(化合物)可以单独使用或以其任两种

或更多的混合物的形式使用而不限制混合比例。

基础油中的硫含量没有特别限制。硫含量优选不大于0.2%，更优选不大于0.1%，非常优选不大于0.05%，基于基础油的总质量。另外，优选使用通过加氢而纯化的矿物油或合成油作为基础油，这是因为这种油具有的硫含量不大于0.005%，或基本上无硫含量(不大于5ppm)。

基础油的芳烃含量也没有特别限制。为了使用于内燃机的润滑油长时间保持其低的摩擦特性，基础油的芳烃含量优选小于或等于15%，更优选小于或等于10%，最优选小于或等于5%。当芳烃的含量高于15%时，基础油的氧化稳定性不希望地劣化。在这里，芳烃含量定义为根据ASTM D2549 “Standard Test Method for Separation of Representative Aromatics and Nonaromatics Fractions of High-Boiling Oils by Elution Chromatography”测定的芳烃馏分的量。

基础油的运动粘度没有特别限制。当润滑油用于内燃机时，基础油的运动粘度优选高于或等于 $2\text{mm}^2/\text{s}$ ，更优选 $3\text{mm}^2/\text{s}$ ，同时，优选小于或等于 $20\text{mm}^2/\text{s}$ ，更优选小于或等于 $10\text{mm}^2/\text{s}$ ，最优选小于或等于 $8\text{mm}^2/\text{s}$ ，在 $100^\circ\text{C}$ 测量。当运动粘度在 $100^\circ\text{C}$ 低于 $2\text{mm}^2/\text{s}$ 时，润滑油能够提供足够的耐磨性但蒸发特性差。当运动粘度超于 $20\text{mm}^2/\text{s}$ 时，润滑油难以显示低的摩擦特性并且蒸发特性可能降低，其是不优选的。关于本发明，可以自由地选择至少两种基础油来将其混合以形成混合物，其中单一的基础油的运动粘度可以在上述范围之外，只要在 $100^\circ\text{C}$ 时混合物的运动粘度落入上述优选的范围内即可。

基础油的粘度指数没有特别限制，当润滑油用于内燃机时，其优选高于或等于80，更优选高于或等于100，最优选高于或等于120。提高基础油的粘度指数可以提供低温粘度特性和燃料经

济性能优良的用于内燃机的润滑油。

基于脂肪酸酯的无灰摩擦改性剂和基于脂族胺的无灰摩擦改性剂的实例是各自具有C<sub>6</sub>-C<sub>30</sub>直链或支链烃链或基团、优选C<sub>8</sub>-C<sub>24</sub>直链或支链烃链、更优选C<sub>10</sub>-C<sub>20</sub>直链或支链烃链的脂肪酸酯和脂族胺。当烃链的碳原子数不在6至30的范围内时，可能出现润滑油不能产生预期的足够的摩擦降低效果。可以理解的是可以使用脂肪酸酯和脂族胺的适宜的混合物。

C<sub>6</sub>-C<sub>30</sub>直链或支链烃链的具体例子包括：烷基如己基、庚基、辛基、壬基、癸基、十一烷基、十二烷基、十三烷基、十四烷基、十五烷基、十六烷基、十七烷基、十八烷基、十九烷基、二十烷基、二十一烷基、二十二烷基、二十三烷基、二十四烷基、二十五烷基、二十六烷基、二十七烷基、二十八烷基、二十九烷基和三十烷基；以及烯基如己烯基、庚烯基、辛烯基、壬烯基、癸烯基、十一碳烯基、十二碳烯基、十三碳烯基、十四碳烯基、十五碳烯基、十六碳烯基、十七碳烯基、十八碳烯基、十九碳烯基、二十碳烯基、二十一碳烯基、二十二碳烯基、二十三碳烯基、二十四碳烯基、二十五碳烯基、二十六碳烯基、二十七碳烯基、二十八碳烯基、二十九碳烯基和三十碳烯基。上述烷基和烯基包括所有可能的异构体。另外，烯基的双键位置不受限制。

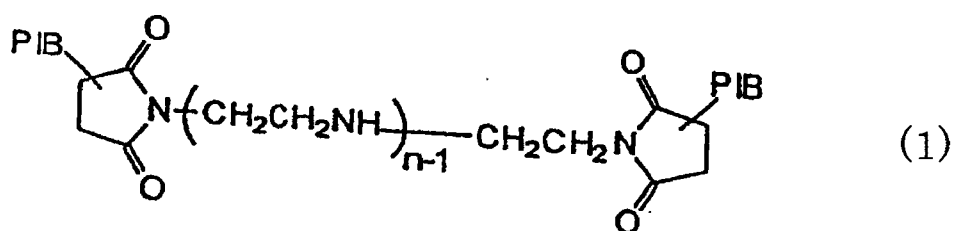
脂肪酸酯可以下列为例：具有上述C<sub>6</sub>-C<sub>30</sub>烃基或链的脂肪酸与单羟基或多羟基脂族醇的酯。这种脂肪酸酯的具体实例包括单油酸甘油酯、二油酸甘油酯、单油酸脱水山梨糖醇酯和二油酸脱水山梨糖醇酯。

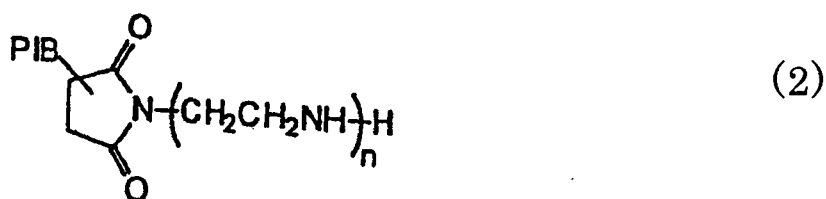
脂族胺可以以下为例：脂族单胺及其烯化氧的加合物、脂族多胺、咪唑啉化合物，以及它们的衍生物。这种脂族胺的具体实例包括：脂族胺化合物如月桂胺、月桂基二乙胺、月桂基

二乙醇胺、十二烷基二丙醇胺、棕榈基胺、硬脂胺、硬脂基四亚乙基五胺、油基胺、油基亚丙基二胺、油基二乙醇胺和N-羟基乙基油基咪唑啉(hydroxyethyloleyimidazoline); 上述脂族胺(C<sub>6</sub>-C<sub>28</sub>烷基或烯基胺)与烯化氧的加合物, 例如N,N-二聚氧化烯基-N-烷基胺; 以及通过使上述脂族胺与C<sub>2</sub>-C<sub>30</sub>一元羧酸(例如脂肪酸)或C<sub>2</sub>-C<sub>30</sub>多元羧酸(例如草酸、邻苯二甲酸、偏苯三酸和1,2,4,5-苯四酸)反应以中和或酰胺化全部或部分剩余氨基和/或亚氨基而制备的酸改性化合物。关于本发明, 优选使用N,N-二聚氧乙烯-N-油基胺。

加入润滑油中的基于脂肪酸酯的无灰摩擦改性剂和/或基于脂族胺的无灰摩擦改性剂的量没有特别限制, 优选0.05至3.0%, 更优选0.1至2.0%, 最优选0.5至1.4%, 基于润滑油的总质量。当基于脂肪酸酯的无灰摩擦改性剂和/或基于脂族胺的无灰摩擦改性剂的量少于0.05%时, 可能出现润滑油不能产生足够的摩擦降低效果。当基于脂肪酸酯的无灰摩擦改性剂和/或基于脂族胺的无灰摩擦改性剂的量超过3.0%时, 润滑油产生良好的摩擦降低效果, 但贮存稳定性和相容性不希望地劣化而产生沉淀。

聚丁烯基琥珀酰亚胺的实例包括由下列通式(1)和(2)表示的化合物。





在式(1)和(2)的每一个中， $n$ 表示1至5，优选2至4的整数以获得良好的清洁的效果。此外，PIB表示衍生自聚丁烯的聚丁烯基。聚丁烯可以在氟化硼催化剂或氯化铝催化剂的存在下，以使聚丁烯获得数均分子量900至3500，优选1000至2000的方式，通过聚合高纯异丁烯或1-丁烯和异丁烯的混合物而制备。当聚丁烯的数均分子量小于900时，可能不能获得足够的清洁效果。当聚丁烯的数均分子量超过3500时，聚丁烯的低温流动性可能不希望地劣化。在生产聚丁烯基琥珀酰亚胺时，聚丁烯可以在纯化后使用，该纯化通过任何合适的处理(例如吸附过程或清洗过程)除去产生于上述聚丁烯生产催化剂的痕量氟和氯残余物。氟和氯残余物的量优选控制到小于或等于50ppm，更优选小于或等于10ppm，最优选小于或等于1ppm。

聚丁烯基琥珀酰亚胺的生产方法没有特别限制。例如，聚丁烯基琥珀酰亚胺可以通过以下方式制备：使上述聚丁烯的氯化物或者已去除氟和氯残余物的聚丁烯与马来酸酐在100-200℃下反应形成聚丁烯基琥珀酸酯，然后使如此形成的聚丁烯基琥珀酸酯与多胺(如二亚乙基三胺、三亚乙基四胺、四亚乙基五胺或五亚乙基六胺)反应。

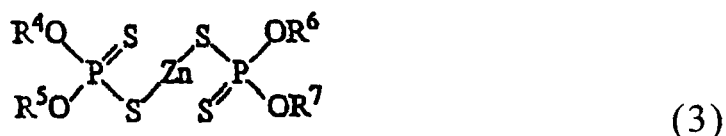
聚丁烯基琥珀酰亚胺衍生物可以由以下示例：使式(1)或(2)的聚丁烯基琥珀酰亚胺与硼化合物或含氧有机化合物反应以中和或酰胺化全部或部分剩余的氨基和/或酰亚胺基而得到的硼或酸改性的化合物。其中优选使用含硼的聚丁烯基琥珀酰亚胺，尤其是含硼的双(聚丁烯基)琥珀酰亚胺。

上述硼化合物可以是硼酸、硼酸盐或硼酸酯。硼酸的具体实例包括原硼酸、偏硼酸和过硼酸。硼酸盐的具体实例包括：包括硼酸铵的铵盐，如偏硼酸铵、四硼酸铵、五硼酸铵和八硼酸铵。硼酸酯的具体实例包括：硼酸和烷醇(优选 $C_1$ - $C_6$ 烷醇)的酯，例如硼酸单甲酯、硼酸二甲酯、硼酸三甲酯、硼酸单乙酯、硼酸二乙酯、硼酸三乙酯、硼酸单丙酯、硼酸二丙酯、硼酸三丙酯、硼酸单丁酯、硼酸二丁酯和硼酸三丁酯。在这里，在含硼的聚丁烯基琥珀酰亚胺中以质量计的氮和硼的含量比(B/N)通常是0.1至3，优选0.2至1。

上述含氧有机化合物可以由以下示例： $C_1$ - $C_{30}$ 的一元羧酸，例如甲酸、乙酸、乙醇酸、丙酸、乳酸、丁酸、戊酸、己酸、庚酸、辛酸、壬酸、癸酸、十一烷酸、十二烷酸、十三烷酸、十四烷酸、十五烷酸、十六烷酸、十七烷酸、硬脂酸、油酸、十九烷酸和二十烷酸； $C_2$ - $C_{30}$ 多元羧酸，例如乙二酸、邻苯二甲酸、偏苯三酸和1,2,4,5-苯四酸，及其酸酐和酯； $C_2$ - $C_6$ 烯化氧；以及羟基(聚)氧化烯碳酸酯。

加入用于本发明的润滑油中的聚丁烯基琥珀酰亚胺和/或其衍生物的量没有特别限制，并且优选0.1-15%，更优选1.0-12%，基于润滑油的总质量。当聚丁烯基琥珀酰亚胺和/或其衍生物的量低于0.1%时，可能出现不能获得足够的清洁效果。当聚丁烯基琥珀酰亚胺和/或其衍生物的量超过15%时，其变得不经济。另外，这样大量的聚丁烯基琥珀酰亚胺和/或其衍生物趋于引起破乳能力的劣化。

上述二硫代磷酸锌的实例包括由如下通式(3)表示的化合物：



在通式(3)中,  $\text{R}^4$ 、 $\text{R}^5$ 、 $\text{R}^6$ 和 $\text{R}^7$ 各自表示 $\text{C}_1$ - $\text{C}_{24}$ 烃基。该 $\text{C}_1$ - $\text{C}_{24}$ 烃基优选 $\text{C}_1$ - $\text{C}_{24}$ 直链或支链烷基、 $\text{C}_3$ - $\text{C}_{24}$ 直链或支链烯基、 $\text{C}_5$ - $\text{C}_{13}$ 环烷基或直链或支链烷基环烷基、 $\text{C}_6$ - $\text{C}_{18}$ 芳基或直链或支链烷基芳基, 或 $\text{C}_7$ - $\text{C}_{19}$ 芳基烷基。上述烷基或烯基可以是伯、仲或叔类。

$\text{R}^4$ 、 $\text{R}^5$ 、 $\text{R}^6$ 和 $\text{R}^7$ 的具体实例包括: 烷基如甲基、乙基、丙基、丁基、戊基、己基、庚基、辛基、壬基、癸基、十一烷基、十二烷基、十三烷基、十四烷基、十五烷基、十六烷基、十七烷基、十八烷基、十九烷基、二十烷基、二十一烷基、二十二烷基、二十三烷基和二十四烷基; 烯基如丙烯基、异丙烯基、丁烯基、丁二烯基、戊烯基、己烯基、庚烯基、辛烯基、壬烯基、癸烯基、十一碳烯基、十二碳烯基、十三碳烯基、十四碳烯基、十五碳烯基、十六碳烯基、十七碳烯基、十八碳烯基(油基)、十九碳烯基、二十碳烯基、二十一碳烯基、二十二碳烯基、二十三碳烯基和二十四碳烯基; 环烷基, 例如环戊基、环己基和环庚基; 烷基环烷基如甲基环戊基、二甲基环戊基、乙基环戊基、丙基环戊基、乙基甲基环戊基、三甲基环戊基、二乙基环戊基、乙基二甲基环戊基、丙基甲基环戊基、丙基乙基环戊基、二丙基环戊基、丙基乙基甲基环戊基、甲基环己基、二甲基环己基、乙基环己基、丙基环己基、乙基甲基环己基、三甲基环己基、二乙基环己基、乙基二甲基环己基、丙基甲基环己基、丙基乙基环己基、二丙基环己基、丙基乙基甲基环己基、甲基环庚基、二甲基环庚基、乙基环庚基、丙基环庚基、乙基甲基环庚基、三甲基环庚基、二乙基环庚基、乙基二甲基环庚

基、丙基甲基环庚基、丙基乙基环庚基、二丙基环庚基和丙基乙基甲基环庚基；芳基如苯基和萘基；烷芳基如甲苯基、二甲苯基、乙基苯基、丙基苯基、乙基甲基苯基、三甲基苯基、丁基苯基、丙基甲基苯基、二乙基苯基、乙基二甲基苯基、四甲基苯基、戊基苯基、己基苯基、庚基苯基、辛基苯基、壬基苯基、癸基苯基、十一烷基苯基和十二烷基苯基；以及芳烷基，例如苄基、甲基苄基、二甲基苄基、苯乙基、甲基苯乙基和二甲基苯乙基。上述烃基包括所有可能的异构体。

适于 $R^4$ 、 $R^5$ 、 $R^6$ 和 $R^7$ 的上述烃基包括所有相当多的直链或支链结构。链烯基的双键位置、烷基与环烷基的键合位置和烷基与芳基的键合位置不受限制。在上述烃基中，特别优选的一类是具有碳数1至18的直链或支链烷基、具有碳数6至18的芳基和直链或支链烷芳基。

二硫代磷酸锌的具体实例包括二异丙基二硫代磷酸锌、二异丁基二硫代磷酸锌、二仲丁基二硫代磷酸锌、二仲戊基二硫代磷酸锌、二正己基二硫代磷酸锌、二仲己基二硫代磷酸锌、二辛基二硫代磷酸锌、二正癸基二硫代磷酸锌、二-2-乙基己基二硫代磷酸锌、二-正癸基二硫代磷酸锌、二-正十二烷基二硫代磷酸锌、二-异十三烷基二硫代磷酸锌及其混合物。

润滑油中加入的二硫代磷酸锌的量没有特别限制。为了产生更高的摩擦降低效果，基于润滑剂的总重量以磷元素计，二硫代磷酸锌优选以小于或等于0.1%，更优选以小于或等于0.06%的量，最优选以最少有效量包含。当基于润滑剂的总重量以磷元素计的二硫代磷酸锌的量超过0.1%时，可能发生抑制基于脂肪酸酯的无灰摩擦改性剂和/或基于脂族胺的无灰摩擦改性剂的作用，特别是在滑动表面。

二硫代磷酸锌可以通过任何已知方法制备。例如，二硫代

磷酸锌可以通过使具有上述 $R^4$ 、 $R^5$ 、 $R^6$ 和 $R^7$ 烃基的醇或酚与五硫化二磷( $P_2S_5$ )反应形成二硫代磷酸,然后用氧化锌中和由此形成的二硫代磷酸来制备。在这里,二硫代磷酸锌的分子结构根据用作用于二硫代磷酸锌生产的原材料的醇或酚而不同。要理解的是可以以适当的比例混合至少两种由上述通式(3)表示的二硫代磷酸锌以便使用。

上述润滑油在其存在于DLC和DLC之间或DLC和铁基构件之间的滑动表面的情况下可以显示极其优良的低摩擦特性。为了提高尤其对于内燃机润滑油(组合物)所需的性能,当用于内燃机时,润滑剂可以含有其它添加剂,例如金属洗涤剂、抗氧化剂、粘度指数改进剂、除了上述基于脂肪酸酯的无灰摩擦改性剂和/或基于脂族胺的无灰摩擦改性剂之外的摩擦改性剂、除了上述聚丁烯基琥珀酰亚胺和/或其衍生物之外的无灰分散剂、抗磨损剂或极压剂、防锈剂、非离子表面活性剂、破乳剂、金属减活剂和/或消泡剂。这些添加剂可以单独使用或以其两种或多种的混合物的形式使用,以满足所需的润滑油性能。

金属洗涤剂可以是通常用于润滑油的任何金属洗涤剂化合物。可用的金属洗涤剂的具体实例包括碱金属或碱土金属的磺酸盐、酚盐、水杨酸盐和环烷酸盐;及其两种或多种的混合物。碱金属的实例包括钠(Na)盐和钾(K),碱土金属的实例包括钙(Ca)和镁(Mg)。关于本发明,磺酸钠和磺酸钙、苯酚钠和苯酚钙以及水杨酸钠和水杨酸钙适合使用。

金属洗涤剂的总碱值和量可以根据所需的润滑油的性能选择。金属洗涤剂的总碱值,通常是0至500mgKOH/g,优选150至400mgKOH/g,根据所谓的高氯酸方法测量。基于润滑油的总质量,金属洗涤剂的量通常是0.1至10%。

抗氧化剂可以是通常用于润滑油的任何抗氧化剂化合物。

关于本发明的抗氧化剂的具体实例包括：酚类抗氧化剂，例如4,4'-亚甲基双(2,6-二叔丁基苯酚)和十八烷基-3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸酯；氨基抗氧化剂，例如苯基- $\alpha$ -萘胺、烷基苯基- $\alpha$ -萘胺和烷基二苯胺；及其两种或多种的混合物。基于润滑油的总质量，抗氧化剂的量通常是0.01至5%。

粘度指数改进剂可以由下列示例：非分散型粘度指数改进剂，如一种或多种选自各种甲基丙烯酸单体的共聚物及该共聚物的氢化物；分散型粘度指数改进剂，如甲基丙烯酸酯的共聚物(包括氮化合物)。还可以使用作为粘度指数改进剂的乙烯和 $\alpha$ -烯烃(如丙烯、1-丁烯和1-戊烯)的共聚物及其氢化物、聚异丁烯及其氢化物、苯乙烯和二烯的氢化共聚物、苯乙烯和马来酸酐的共聚物以及聚烷基苯乙烯。

粘度指数改进剂的分子量需要考虑到剪切稳定性而选择。例如，对于分散或非分散型聚甲基丙烯酸酯，粘度指数改进剂的数均分子量，理想的是5,000至1,000,000，更理想的是100,000-800,000；对于聚异丁烯及其氢化物，其为800至5,000；对于乙烯/ $\alpha$ -烯烃共聚物或其氢化物，其为800至300,000，更理想的是10,000至200,000的范围。上述粘度指数改进化合物可以单独使用或以其两种或多种的混合物的形式使用。基于润滑油的总质量，粘度指数改进剂的量优选0.1至40.0%。

除了上述基于脂肪酸酯的无灰摩擦改性剂和/或基于脂族胺的无灰摩擦改性剂之外的摩擦改性剂可以由下列示例：无灰摩擦改性剂如硼酸酯、高级醇和脂族醚，以及金属摩擦改性剂如二硫代磷酸钼、二硫代氨基甲酸钼和二硫化钼。

除了上述聚丁烯基琥珀酰亚胺和/或其衍生物之外的无灰分散剂可以由下列示例：各自具有数均分子量900至3,500的聚丁烯基的聚丁烯苄胺和聚丁烯基胺，具有数均分子量小于900

的聚丁烯基的聚丁烯基琥珀酰亚胺和其衍生物。

抗磨损剂或极压剂可以由下列示例：二硫化物、硫化油脂 (fats and oils)、烯烴硫化物、具有1至3个C<sub>2</sub>-C<sub>20</sub>烴基的磷酸酯、硫代磷酸酯、亚磷酸酯、硫代亚磷酸酯及这些酯的胺盐。

防锈剂可以由下列示例：烷基苯磺酸酯、二壬基萘磺酸酯、烯基琥珀酸的酯和多元醇的酯。

非离子表面活性剂和破乳剂可以由下列示例：非离子聚亚烷基二醇表面活性剂如聚氧乙烯烷基醚、聚氧乙烯烷基苯基醚和聚氧乙烯烷基萘基醚。

金属减活剂可以由下列示例：咪唑啉化合物、嘧啶衍生物、噻唑和苯并三唑。

消泡剂可以由下列示例：硅氧烷、氟硅氧烷和氟代烷基醚。

除了基于脂肪酸酯的无灰摩擦改性剂和/或基于脂族胺的无灰摩擦改性剂之外的每种摩擦改性剂、除了聚丁烯基琥珀酰亚胺和/或其衍生物之外的无灰分散剂、抗磨损剂或极压剂、防锈剂和破乳剂通常含量为0.01至5%，基于润滑油的总质量，金属减活剂通常含量为0.0005至1%，基于润滑油的总质量。

另外，可以将其主要组分为含有羟基的化合物的润滑剂供应至本发明的滑动构件和铁基或铝基材料之间的滑动表面，因而获得进一步提高的摩擦降低效果。润滑剂的实例为醇，优选甘油或乙二醇。

接着，将详细讨论根据本发明的高强度齿轮的生产方法。

根据本发明的高强度齿轮的生产方法的特征在于进行下列步骤1和2：

步骤1：

将要处理的基础齿轮(齿轮主体)相对于碳靶旋转，其中具有氢含量不大于10atm%的第一DLC膜形成于齿轮的部分或全

部啮合表面(滑动表面)。

步骤2:

该基础齿轮(齿轮主体)处于停止旋转的状态或以低转速旋转的状态,其中第二DLC膜形成于至少部分第一DLC膜的表面。

对于上述内容,尤其是在步骤2,要通过离子电镀法涂覆该膜的对象仅为一个齿,因此成膜可以在短时间内完成。另外,与将对象旋转的情况相比,其中每个齿轮齿的基部(base section)(难以涂覆有膜)面向该靶的时间长,因此基部也趋向于容易涂覆有第二DLC膜。在步骤1中要处理的齿轮的旋转速度根据齿轮的形状和尺寸而变化,其中优选将旋转速度设定在约1至约10r.p.m的范围内。在步骤2中,在通过离子电镀法成膜后,可以完成空气研磨(aero-lap)处理。此时,控制离子电镀法特有的小滴的大小和量,因而使齿轮在润滑油中也显示特别优良的低摩擦特性。

用于实施例和比较例的实验

参考下列实施例并与比较例对比,本发明将更容易理解;然而,这些实施例意欲说明本发明,并不视为限制本发明的范围。

### 1. 成膜设备

将由Kobe Steel, Ltd.生产的电弧电子电镀(下文称为“AIP”) /非平衡磁控溅射(下文称为“UBMS”)综合设备用作成膜设备。

上述设备的成膜室部分示意性地示于图1。借助扩散泵将真空室1保持在真空下,其中可以将氩气或甲烷气体适当地引入真空室中。设置多个蒸发源2。可以选择AIP或UBMS作为成膜方法,可以选择石墨或金属作为靶材料。另外,将蒸发源2连接到电源7。将要处理部分设定在用于要处理部分的固定器5中,以便在该部分上的成膜在靶或蒸发源2前面在其上各自放置固定

器5的可旋转台3、4的旋转下完成。固定器5提供有来自偏压电源6的偏压。

## 2. 处理条件

在碱清洁后，将样品基础齿轮(齿轮主体)在真空度 $10^{-4}$ 至 $10^{-5}$ Pa下在Ar为0.6Pa的大气气体中进行离子清洁。在清洁后，将铬层形成于样品基础齿轮上作为基底。铬层的厚度在每个齿轮的顶部(tip section)和基部变化，其中在齿轮的节圆周围的部分的厚度为 $0.2\mu\text{m}$ 。

其后，将DLC膜形成于该铬层上。如表1所示，将具有氢含量不大于10atm%的DLC膜通过UBMS形成于除部分比较例的样品基础齿轮之外的几乎所有的样品基础齿轮的所有齿上，其中该DLC膜具有厚度 $1\mu\text{m}$ 。

其后，将可旋转台3、4的每一个的旋转在面向AIP蒸发源的位置停止，完成对于下层的成膜。在部分实施例和比较例中，可旋转台3、4旋转，因而完成在样品基础齿轮的所有齿上的成膜。

在所有实施例中，将非基于烃的气体引入真空室1中。在部分比较例中，将偏压变化，因而形成被层压的硬和软层，或者形成添加金属或其类似物的DLC膜。另外，将甲烷气体引入室1从而检验该气体引入的作用。

## 3. 试验

为了检查DLC膜的剥离强度和摩擦性能，使用如示意性地示于图2的发动机台架摩擦试验仪进行齿轮单元试验。在该齿轮单元试验中，三个小齿轮(pinion gears)9与圆盘8上的环形齿轮啮合以形成齿轮单元，其中该圆盘沿D方向旋转驱动。三(第一、第二和第三)步操作在齿轮单元上进行，每一步操作为10分钟。第一、第二和第三操作分别处于旋转速度1000r.p.m.和输入扭矩20Nm的条件下、旋转速度3000r.p.m.和输入扭矩60Nm的条件下

以及旋转速度5000r.p.m.和输入扭矩90Nm的条件下。

剥离强度通过观察齿轮单元试验后齿轮的啮合表面关于DLC膜是否剥离来检验。以齿轮传动损失(gear loss)比的形式检验摩擦性能,该齿轮传动损失比是齿轮单元的齿轮传动损失相对于不具有DLC膜的齿轮单元(比较例1)的齿轮传动损失的比例,假定不具有DLC膜的齿轮单元(比较例1)的齿轮传动损失为1。为了提高齿轮传动损失的测量灵敏性,齿轮单元具有下列说明并使用行星齿轮通过两阶段减速而驱动。

齿轮(基础齿轮)的说明:

小齿轮的数量: 3个; 模量: 0.87; 齿的数量: 24(小齿轮)和60(圆盘的齿轮); 以及螺纹的螺旋角: 25°。

齿轮的材料(基础齿轮):

将根据JIS的材料SCM420H选为齿轮的材料。在齿轮切割后,将该齿轮进行渗碳和淬火处理并进行回火以具有表面硬度720Hv(维氏硬度)。要涂覆有DLC膜的齿轮是小齿轮,其中每个小齿轮的啮合表面在研磨时具有表面粗糙度(Ra)0.07。相对构件(圆盘的齿轮)具有表面粗糙度(Ra)0.2。

试验油:

将Nissan Motor Co., Ltd.的纯自动传动油“Matic-D(商品名)”用作用于齿轮单元的润滑油,其中传动油的供应在100℃下以每分钟4升的流速进行。

表面硬度:

成膜后的第一和第二DLC膜(下层和表面上层)的表面硬度通过由Digital Instruments, Inc.生产的超轻载荷薄膜硬度试验仪并根据以上讨论的“纳米压痕试验”来测量。

对其成膜条件示于表1中的实施例1至4和比较例1至10进行上述试验。实施例和比较例的试验结果示于表1。

表1

	下层 (第一DLC膜)						上层 (第二DLC膜)						结果	
	成膜方法	偏压 (V)	硬度 (GPa)	添加材料	甲烷气体	成膜方法	偏压 (V)	硬度 (GPa)	甲烷气体	DLC膜形成区域	DLC膜表面粗糙度	试验后剥离	齿轮传动损失比	
实施例1	UBMS	-80	22	-	-	AIP	-100	71	-	部分	0.19	Nil	0.79	
实施例2	UBMS	-160	28	-	-	AIP	-200	73	-	部分	0.18	Nil	0.75	
实施例3	UBMS	-240	21	-	-	AIP	-150	87	-	部分	0.14	Nil	0.72	
实施例4	UBMS	-200	27	-	-	AIP	-170	86	-	全部齿	0.12	Nil	0.68	
比较例1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	
比较例2	UBMS	-40	11	-	-	-	-	-	-	-	0.09	剥离	1.15	
比较例3	UBMS	-300	13	-	-	-	-	-	-	-	0.08	剥离	1.06	
比较例4	UBMS	-100	13	-	10%	AIP	-200	72	10%	部分	0.16	Nil	0.92	
比较例5	UBMS	-160	6	Cr	-	-	-	-	-	-	0.10	Nil	0.98	
比较例6	UBMS	-200	10	W	-	-	-	-	-	-	0.12	Nil	1.02	
比较例7	UBMS	-100	5	Si	-	-	-	-	-	-	0.11	Nil	0.97	
比较例8	UBMS	-200	25	-	-	UBMS	-50	10	-	全部齿	0.07	部分剥离	0.98	
比较例9	AIP	-240	23	-	-	-	-	-	-	-	0.25	剥离	1.11	
比较例10	UBMS	-200	25	-	-	AIP	-350	56	10%	全部齿	0.29	部分剥离	0.91	

注：“-”表示没有实施

从表1的试验结果意识到,在作为根据本发明的高强度齿轮的实施方案的实施例1至4中,在试验后DLC膜并未剥离,同时齿轮传动损失与不具有DLC膜的比较例1相比大大降低。特别是在实施例4中,所有齿涂覆有上层(第二)DLC膜,因此显示优良的齿轮传动损失降低效果。然而,因为由于在成膜期间等离子体的不点火而引起的实施例4中的成膜速度变低,因此在其中部分齿涂覆有上层(第二)DLC膜的实施例1至3中能够获得实际上足够的齿轮传动损失降低效果。

将相对齿轮的啮合表面研磨并将其成形为镜面抛光面,其看起来非常有助于齿轮传动损失的降低。因此,关于在其上形成上层DLC膜的DLC膜形成区域,将上层DLC膜形成于邻近两个齿的面对两个啮合面的面(驱动表面和被驱动表面)上是足够的。因为,齿轮的一个齿的一个啮合面能够与相对齿轮的所有齿啮合,因而显示足够的研磨效果。意料中的是:如果在目标齿的成膜期间在邻近用于成膜的目标齿的一个齿或多个齿上进行成膜,剥离强度和齿轮传动损失降低效果也不降低。

在比较例2和3中,由于偏压的设定是不适当的,因此齿轮的硬度不能满足本发明的表面硬度的范围。结果,在试验后失去DLC膜,同时不能降低齿轮传动损失。

在比较例4中,由于加入甲烷气体,所以具有氢含量不大于10atm%的DLC膜的硬度变得太低,因此不发生DLC膜的剥离;然而,齿轮传动损失不能如此降低。

在比较例5至7中,尽管将金属(作为添加的材料)加入,但表面硬度低,同时表面粗糙度大,因此,在油中难以显示齿轮传动损失降低效果。

在比较例8中,软DLC膜作为上层形成;然而,在油中不能获得齿轮传动损失的降低。

在比较例9中，由于具有氢含量不大于10atm%的DLC膜不能通过UBMS作为下层形成，因此作为上层的DLC膜难以在下层上形成，因而其被剥离。

在比较例10中，在上层形成期间引入甲烷气体，同时小滴的量过剩以致降低表面粗糙度。结果，上层的剥离出现，同时齿轮传动损失不会如此降低。

正如将从上文所理解的，根据本发明，将齿轮在其啮合表面涂覆有两种类金刚石碳膜，因而在润滑油中也显示低摩擦特性的摩擦系数进一步降低。因此，可以获得齿表面疲劳强度优良的高强度齿轮。

日本专利申请P2006-207697(2006年7月31日提交)的整个内容在此引入以作参考。

尽管通过参考本发明的某些实施方案和实施例在上文已描述本发明，但是本发明不限于上述实施方案和实施例。根据上述教导，本领域熟练技术人员会想到上述实施方案和实施例的改进和变化。本发明的范围参考下列的权利要求而限定。

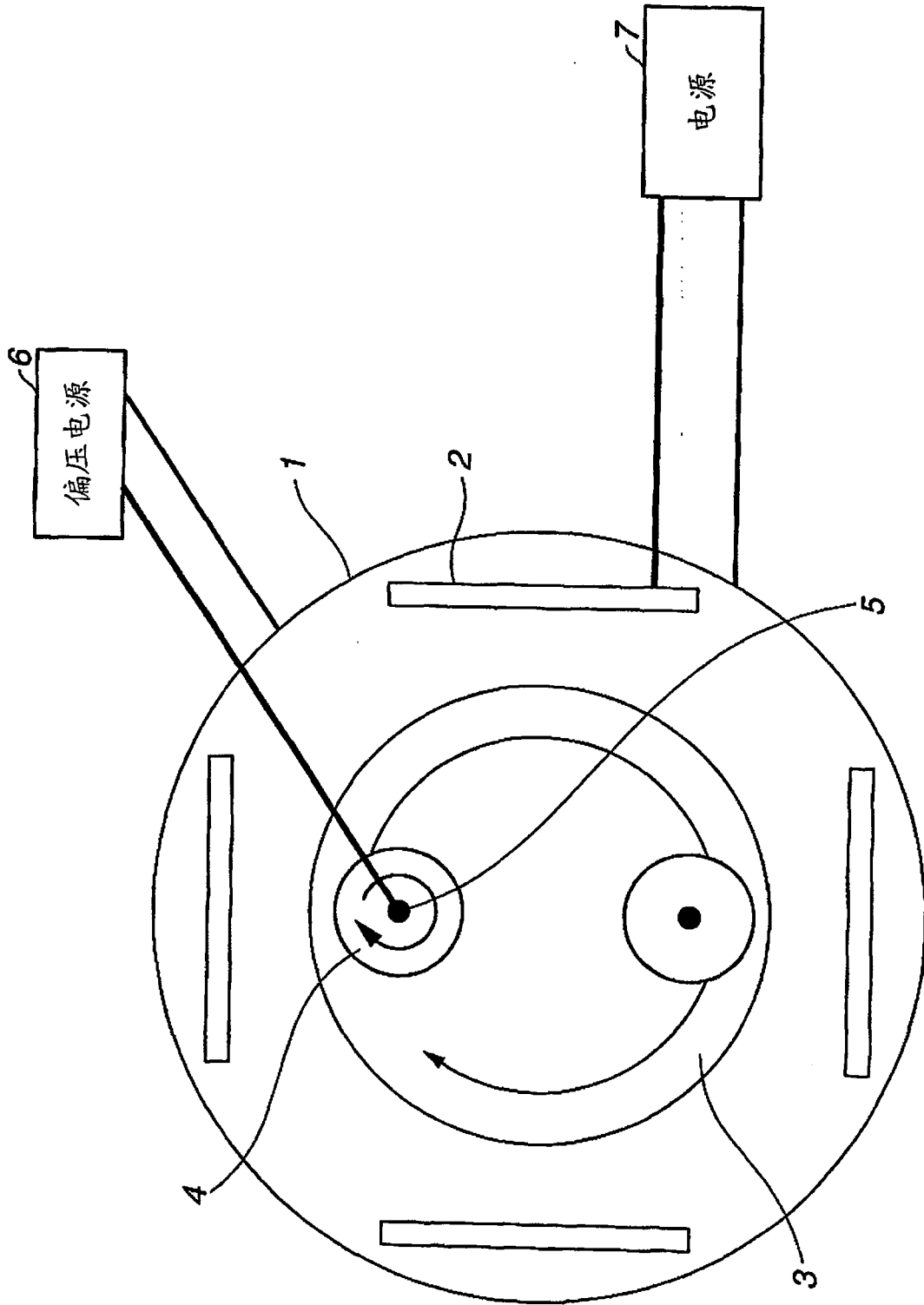


图 1

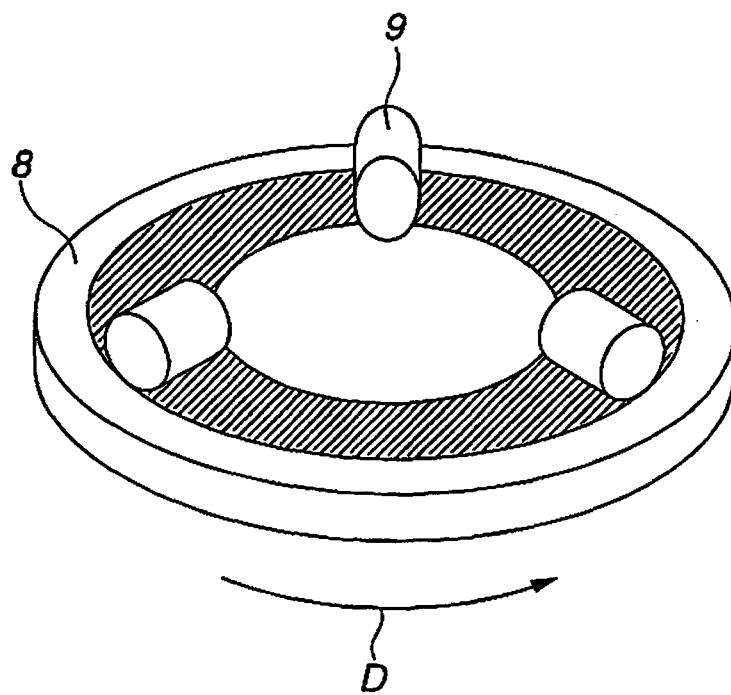


图 2