



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116324233 B

(45) 授权公告日 2023. 09. 19

(21) 申请号 202180066162.3

(22) 申请日 2021.09.30

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 116324233 A

(43) 申请公布日 2023.06.23

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2023.03.27

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2021/036226 2021.09.30

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02023/053379 JA 2023.04.06

(73) 专利权人 帝伯爱尔株式会社  
地址 日本东京

(72) 发明人 佐藤智之 北诘丰 南乡哲哉

(74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司  
11332

专利代理师 吕琳 朴秀玉

(51) Int.Cl.  
F16J 9/26 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 102325918 A, 2012.01.18  
CN 106062441 A, 2016.10.26  
CN 110462198 A, 2019.11.15  
CN 112469930 A, 2021.03.09  
JP 2008297171 A, 2008.12.11  
JP 2013203905 A, 2013.10.07  
JP 2021095884 A, 2021.06.24  
US 6143142 A, 2000.11.07  
WO 2008149824 A1, 2008.12.11

审查员 许亭

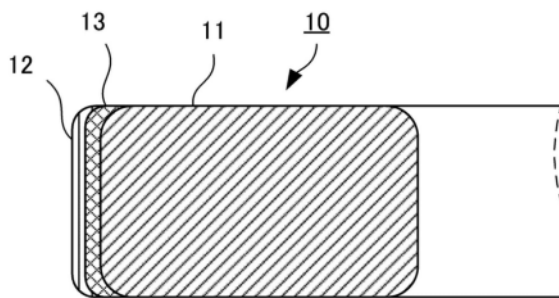
权利要求书1页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

滑动构件

(57) 摘要

本发明的问题在于提供一种通过DLC覆膜被包覆的滑动构件,该滑动构件不易产生由裂纹的进展而引起的滑动面的微小破坏,能抑制磨料磨损的增大。是除了测量有来自石墨结构的G谱带、来自石墨结构缺陷的D谱带之外,还测量有来自 $sp^3$ 键的S谱带的DLC覆膜,通过在外周面具有这些谱带满足特定的关系的DLC覆膜的滑动构件来解决该问题。



1. 一种滑动构件,是在外周滑动面具有类金刚石碳覆膜即DLC覆膜的滑动构件,其中,在拉曼分光光谱中,所述DLC覆膜具有:在 $1150\text{cm}^{-1}$ 附近具有峰的S谱带、在 $1400\text{cm}^{-1}$ 附近具有峰的D谱带以及在 $1580\text{cm}^{-1}$ 附近具有峰的G谱带,G谱带的峰强度与S谱带的峰强度之比 $I_G/I_S$ 为5.6以下,G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积之比 $A_G/A_S$ 为4.7以下,

G谱带的峰强度与S谱带的峰强度和D谱带的峰强度之和之比 $I_G/I_{S+D}$ 为1.1以下,G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积和D谱带的峰强度面积之和之比 $A_G/A_{S+D}$ 为0.76以下。

2. 根据权利要求1所述的滑动构件,其中,

G谱带的峰强度与S谱带的峰强度、D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比 $I_G/I_{S+D+G}$ 为0.50以下,G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积、D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比 $A_G/A_{S+D+G}$ 为0.43以下。

3. 根据权利要求1所述的滑动构件,其中,

所述DLC覆膜的D谱带的峰强度与S谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比 $I_D/I_{S+G}$ 为0.68以上,D谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比 $A_D/A_{S+G}$ 为0.9以上。

4. 根据权利要求1所述的滑动构件,其中,

所述DLC覆膜的D谱带的峰强度与S谱带的峰强度、D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比 $I_D/I_{S+D+G}$ 为0.41以上,D谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积、D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比 $A_D/A_{S+D+G}$ 为0.48以上。

5. 根据权利要求1所述的滑动构件,其中,

所述DLC覆膜的S谱带的峰强度与D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比 $I_S/I_{D+G}$ 为0.1以上,S谱带的峰强度面积与D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比 $A_S/A_{D+G}$ 为0.1以上。

6. 根据权利要求1所述的滑动构件,其中,

所述DLC覆膜的S谱带的峰强度与S谱带的峰强度、D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比 $I_S/I_{S+D+G}$ 为0.09以上,S谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积、D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比 $A_S/A_{S+D+G}$ 为0.09以上。

7. 根据权利要求1至6中任一项所述的滑动构件,其中,

所述DLC覆膜的氢含量为0.5at%以下。

8. 根据权利要求1至6中任一项所述的滑动构件,其中,

所述滑动构件为活塞环。

## 滑动构件

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种主要在内燃机中使用的滑动构件。

### 背景技术

[0002] DLC(类金刚石碳)覆膜是对应于石墨结构的碳原子 $sp^2$ 键和对应于金刚石结构的碳原子 $sp^3$ 键混在一起的无定形结构(非晶质结构)的膜。通过调整两者的键成分比,能够形成具有各种特性的DLC覆膜。

[0003] 具有优异的耐磨耗性、滑动特性的DLC覆膜被利用为滑动环境严酷的内燃机的滑动构件。作为内燃机的滑动构件,可以举出活塞环、汽缸套、凸轮轴等。

[0004] 作为DLC覆膜的特性,在专利文献1和专利文献2中公开了除了测量有来自石墨结构的G谱带、来自石墨结构缺陷的D谱带之外,还测量有来自 $sp^3$ 键的S谱带的DLC膜,该DLC膜提高耐热性、具有高硬度。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:日本特许第5713362号

[0008] 专利文献2:日本特许第6586578号

### 发明内容

[0009] 发明所要解决的问题

[0010] 关于DLC覆膜虽然进行了各种开发,但发明人等考虑到以下事实:由于内燃机复杂的使用环境,生成有来自润滑油成分和燃料成分的碳油泥等,由于夹存有该碳油泥等,有经DLC处理的滑动构件的DLC覆膜的耐磨耗性不足而磨损的情况。

[0011] 即,在具有以往所公开的DLC覆膜的滑动构件中,存在混入碳油泥等异物时的耐磨耗性(耐磨料磨耗性)不充分的问题。

[0012] 本发明人等推定,由于在夹存有碳油泥等异物的状态下进行滑动,有时会在DLC覆膜的滑动面产生微细的裂纹,由这种裂纹的进展产生滑动面的微小破坏,从而磨损增大。

[0013] 本发明是鉴于上述问题而完成的,提供一种即使在存在有碳油泥等异物的环境下也具有耐磨耗性(耐磨料磨耗性)的滑动构件。

[0014] 用于解决问题的方案

[0015] 本发明人等为了解决上述问题而反复研究,结果发现:是除了测量有来自石墨结构的G谱带、来自石墨结构缺陷的D谱带之外,还测量有来自 $sp^3$ 键的S谱带的DLC覆膜,在外周滑动面具有这些谱带满足特定关系的DLC覆膜的滑动构件,能够解决上述问题,从而完成本发明。具体而言,在上述拉曼分光光谱中存在的三个谱带中,发现S谱带的存在对DLC覆膜的耐磨耗性有很大的影响的新见解,而且,除了存在有S谱带之外,发现通过将S谱带、D谱带和G谱带的峰强度比和面积比设在特定的范围内,DLC覆膜的耐磨耗性变得良好。

[0016] 本发明是一种滑动构件,是在外周滑动面具有DLC覆膜的滑动构件,其中,在拉曼

分光光谱中,所述DLC覆膜具有:在 $1150\text{cm}^{-1}$ 附近具有峰的S谱带、在 $1400\text{cm}^{-1}$ 附近具有峰的D谱带以及在 $1580\text{cm}^{-1}$ 附近具有峰的G谱带,G谱带的峰强度与S谱带的峰强度之比( $I_G/I_S$ )为5.6以下,G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积之比( $A_G/A_S$ )为4.7以下。

[0017] 此外,优选的是,所述DLC覆膜的G谱带的峰强度与S谱带的峰强度和D谱带的峰强度之和之比( $I_G/I_{S+D}$ )为1.1以下,G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积和D谱带的峰强度面积之和之比( $A_G/A_{S+D}$ )为0.76以下。

[0018] 此外,优选的是,G谱带的峰强度与S谱带的峰强度、D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比( $I_G/I_{S+D+G}$ )为0.50以下,G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积、D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比( $A_G/A_{S+D+G}$ )为0.43以下。

[0019] 此外,优选的是,D谱带的峰强度与S谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比( $I_D/I_{S+G}$ )为0.68以上,D谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比( $A_D/A_{S+G}$ )为0.9以上。

[0020] 此外,优选的是,D谱带的峰强度与S谱带的峰强度、D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比( $I_D/I_{S+D+G}$ )为0.41以上,D谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积、D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比( $A_D/A_{S+D+G}$ )为0.48以上。

[0021] 此外,优选的是,S谱带的峰强度与D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比( $I_S/I_{D+G}$ )为0.1以上,S谱带的峰强度面积与D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比( $A_S/A_{D+G}$ )为0.1以上。

[0022] 此外,优选的是,S谱带的峰强度与S谱带的峰强度、D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比( $I_S/I_{S+D+G}$ )为0.09以上,S谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积、D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比( $A_S/A_{S+D+G}$ )为0.09以上。

[0023] 此外,所述DLC覆膜优选实质上不含氢,其含有量优选为0.5at%以下,所述滑动构件优选为活塞环。

[0024] 发明效果

[0025] 根据本发明,能够提供一种通过DLC覆膜被包覆的滑动构件,该滑动构件不易产生由裂纹的进展而引起的滑动面的微小破坏,能抑制磨料磨耗的增大。

## 附图说明

[0026] 图1是示出在活塞环基材形成有具有基层的DLC覆膜的活塞环的剖面示意图。

[0027] 图2是示出往复动摩擦磨耗试验的概要的示意图。

[0028] 图3是在DLC覆膜表面产生的裂纹的放大图(代替附图的照片)。

[0029] 图4是示出对实施例1的DLC覆膜的洛氏压痕试验结果的激光显微镜图像(代替附图的照片)。

[0030] 图5是示出对比较例1的DLC覆膜的洛氏压痕试验结果的激光显微镜图像(代替附图的照片)。

## 具体实施方式

[0031] 以下,示出具体的实施方式并进行说明,但各实施方式是作为本发明的一个例子而被示出,不一定特定权利要求所涉及的发明,此外,在实施方式中说明的全部特征,并非

都是解决本发明的问题的方案所必需的。

[0032] 本发明的实施方式是在外周滑动面具有DLC覆膜的滑动构件。滑动构件可以在内燃机中使用,也可以在内燃机以外使用,但特别适合用于内燃机中使用的滑动构件。

[0033] 作为在内燃机中使用的滑动构件,可以举出活塞环、汽缸套、凸轮轴等,以下,作为滑动构件的典型例,使用活塞环进行说明。

[0034] 滑动构件所具有的DLC覆膜在拉曼分光光谱中具有在 $1150\text{cm}^{-1}$ 附近具有峰的S谱带、在 $1400\text{cm}^{-1}$ 附近具有峰的D谱带以及在 $1580\text{cm}^{-1}$ 附近具有峰的G谱带,G谱带的峰强度与S谱带的峰强度之比( $I_G/I_S$ )为5.6以下,G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积之比( $A_G/A_S$ )为4.7以下。

[0035] 拉曼分光光谱中的S谱带是来自 $\text{sp}^3$ 键的谱带。G谱带是来自石墨结构的谱带,D谱带是来自石墨结构缺陷的谱带。

[0036] 本发明人等发现:在拉曼分光光谱中存在有这三个谱带,且G谱带的峰强度与S谱带的峰强度之比( $I_G/I_S$ )为5.6以下、G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积之比( $A_G/A_S$ )为4.7以下的情况下,在DLC覆膜不易产生由裂纹的进展而引起的滑动面的微小破坏,能够抑制磨料磨耗的增大。

[0037] 在不存在S谱带的情况下,耐磨耗性不充分。此外,在( $I_G/I_S$ )超过5.6的情况下,在DLC覆膜容易产生裂纹,不具有充分的耐磨耗性,在G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积之比( $A_G/A_S$ )超过4.7的情况下,在DLC覆膜也容易产生裂纹,不具有充分的耐磨耗性。峰强度比( $I_G/I_S$ )优选为5.0以下,更优选为4.0以下。需要说明的是,下限没有特别限定,但可以为2.5以上。此外,峰强度面积比( $A_G/A_S$ )优选为4.1以下,更优选为3.0以下。需要说明的是,下限没有特别限定,但可以为1.6以上。

[0038] 此外,优选的是,G谱带的峰强度与S谱带的峰强度和D谱带的峰强度之和之比( $I_G/I_{S+D}$ )为1.1以下,G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积和D谱带的峰强度面积之和之比( $A_G/A_{S+D}$ )为0.76以下。需要说明的是,( $I_G/I_{S+D}$ )的下限没有特别限定,但可以为0.4以上, ( $A_G/A_{S+D}$ )的下限没有特别限定,但可以为0.2以上。

[0039] 此外,优选的是,G谱带的峰强度与S谱带的峰强度、D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比( $I_G/I_{S+D+G}$ )为0.50以下,G谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积、D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比( $A_G/A_{S+D+G}$ )为0.43以下。需要说明的是, ( $I_G/I_{S+D+G}$ )的下限没有特别限定,但可以为0.3以上, ( $A_G/A_{S+D+G}$ )的下限没有特别限定,但可以为0.19以上。

[0040] 通过满足上述范围,在DLC覆膜不易产生由裂纹的进展而引起的滑动面的微小破坏,能够抑制磨料磨耗的增大,因此优选。

[0041] 此外,优选的是,D谱带的峰强度与S谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比( $I_D/I_{S+G}$ )为0.68以上,D谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比( $A_D/A_{S+G}$ )为0.9以上。需要说明的是, ( $I_D/I_{S+G}$ )的上限没有特别限定,但可以为1.4以下, ( $A_D/A_{S+G}$ )的上限没有特别限定,但可以为2.3以下。

[0042] 而且,优选的是,D谱带的峰强度与S谱带的峰强度、D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比( $I_D/I_{S+D+G}$ )为0.41以上,D谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积、D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比( $A_D/A_{S+D+G}$ )为0.48以上。需要说明的是, ( $I_D/I_{S+D+G}$ )

的上限没有特别限定,但可以为0.6以下, ( $A_D/A_{S+D+G}$ ) 的上限没有特别限定,但可以为0.7以下。

[0043] 通过满足上述范围,在DLC覆膜不易产生由裂纹的进展而引起的滑动面的微小破坏,能够抑制磨料磨耗的增大,因此优选。

[0044] 此外,优选的是,S谱带的峰强度与D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比 ( $I_S/I_{D+G}$ ) 为0.1以上,S谱带的峰强度面积与D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比 ( $A_S/A_{D+G}$ ) 为0.1以上。需要说明的是, ( $I_S/I_{D+G}$ ) 的上限没有特别限定,但可以为0.15以下, ( $A_S/A_{D+G}$ ) 的上限没有特别限定,但可以为0.14以下。

[0045] 此外,优选的是,S谱带的峰强度与S谱带的峰强度、D谱带的峰强度和G谱带的峰强度之和之比 ( $I_S/I_{S+D+G}$ ) 为0.09以上,S谱带的峰强度面积与S谱带的峰强度面积、D谱带的峰强度面积和G谱带的峰强度面积之和之比 ( $A_S/A_{S+D+G}$ ) 为0.09以上。需要说明的是, ( $I_S/I_{S+D+G}$ ) 的上限没有特别限定,但可以为0.13以下, ( $A_S/A_{S+D+G}$ ) 的上限没有特别限定,但可以为0.13以下。

[0046] 通过满足上述范围,在DLC覆膜不易产生由裂纹的进展而引起的滑动面的微小破坏,能够抑制磨料磨耗的增大,因此优选。

[0047] 通过调整DLC覆膜的制造方法,能够使上述拉曼分光光谱的S谱带、D谱带和G谱带的峰强度以及峰强度面积为所期望的值。更具体而言,在使用过滤阴极真空电弧 (FCVA: Filtered Cathodic Vacuum arc) 法形成DLC覆膜的情况下,可以举出将施加的脉冲偏置电压例如设为-500V~-2500V,优选设为-700V~-2500V。此外,除此之外,通过调节DLC覆膜成膜时的基板温度、腔室的压力(真空度)、电弧电流、靶的纯度等,能够得到所期望的值。

[0048] 以下,关于本发明的具体的方式,以滑动构件为活塞环的情况为例进行说明。

[0049] 图1所示的活塞环10被装接在形成于活塞上的活塞环槽(未图示)中,通过活塞的往复运动在汽缸内径(未图示)的内周面滑动的同时进行往复运动。

[0050] 活塞环10可以用作顶环、第二环和油环中的任一个活塞环。需要说明的是,在应用于油环的情况下,能够应用于由油环主体和线圈扩张器构成的两件式结构油环的油环主体以及由两个环段(也称为侧轨)和扩张器垫片构成的三件式结构油环的环段中的任一个。需要说明的是,在一种方式中,活塞环被装接于铝合金制活塞上,被用作针对铸铁制汽缸内径的活塞环,但活塞、汽缸的材质并不限于此。

[0051] 活塞环基材11只要是以以往用作活塞环基材的材质即可,对材质没有特别限定。例如,优选使用不锈钢材、弹簧钢材等,具体而言,优选使用马氏体系不锈钢、硅铬钢等。

[0052] 图1的活塞环10在活塞环基材11的经平滑化处理的外周面具备包含Cr、Ti、或Si等的基层13,其上具有DLC覆膜12。通过具备基层13,能够提高DLC覆膜12与活塞环基材11的密合性。

[0053] 基层13的膜厚优选为0.2 $\mu$ m以上且2.0 $\mu$ m以下。通过设定这样的膜厚,能够进一步提高DLC覆膜12与活塞环基材11的密合性。需要说明的是,也可以不具备基层13,在活塞环基材11的经平滑化处理的外周面上直接成膜DLC覆膜12。

[0054] 对DLC覆膜12成膜前的活塞环基材11的外周面的平滑化处理的方法没有特别限定,但优选实施磨削处理或抛光处理等,调整表面粗糙度。需要说明的是,在活塞环基材11的外周面的表面粗糙度小的情况下,也可以不进行平滑化处理。

[0055] DLC覆膜12优选选自氢含量为0.5at%以下(实质上为无氢)的a-C和ta-C。

[0056] DLC覆膜12除去基层外膜厚优选为1 $\mu$ m以上。上限没有特别限定,但如果成膜过厚则恐怕会导致生产率降低、成本增加,因此优选为30 $\mu$ m以下,更优选为20 $\mu$ m以下。

[0057] DLC覆膜12除了满足上述拉曼分光光谱的S谱带、D谱带以及G谱带的参数之外,以下对作为覆膜的优选物性进行说明。

[0058] [纳米压痕硬度]

[0059] DLC覆膜12的纳米压痕硬度没有特别限定,但可以为15.0GPa以上且30.0GPa以下,也可以是28.0GPa以下,也可以是26.0GPa以下。通常,若考虑耐磨耗性,则优选覆膜的硬度较高,但在覆膜的硬度过高的情况下,汽缸内径滑动面攻击性存在变高的倾向、以及由于DLC覆膜是形成于活塞环外周面的覆膜因此会产生在向活塞的组装作业时等的伴随变形的情况下的覆膜破坏,因此在本实施方式中优选设为不过于硬的上述范围。

[0060] [杨氏模量]

[0061] DLC覆膜12优选杨氏模量为335GPa以下,更优选为310GPa以下。若杨氏模量超过335GPa,则由碳油泥等产生的沉积物或由滑动产生的磨损粉末、粉尘等异物穿过DLC覆膜表面时,DLC覆膜的最表面层会出现脆性破坏而损耗增大。另一方面,对下限没有特别限定,但杨氏模量为120GPa以上时,不易发生膜内部的剥离。

[0062] 纳米压痕硬度和杨氏模量测量使用Fisher Instruments制纳米压痕测量仪,型号HM-2000,并使用维氏压头,在压入载荷为100mN,直至最大压入载荷的时间为30s(秒)的条件下进行。根据载荷-压入深度曲线求出杨氏模量。需要说明的是,测量值是在一个活塞环的周向上在活塞环的接缝口相反侧的位置和从接缝口分别向两侧90°的位置的共计三处的各位置上分别四个点总计十二个点的测量值的平均值。

[0063] 本实施方式的硬质碳覆膜的制造方法没有特别限定。作为一个例子,可以举出使用过滤阴极真空电弧(FCVA:Filtered Cathodic Vacuum arc)法来形成覆膜的方法。FCVA法可以在单一条件下形成DLC覆膜,也可以通过使施加的脉冲偏置电压发生变化,或不使脉冲偏置电压发生变化地多次成膜来形成DLC覆膜。在通过FCVA法制造DLC覆膜的情况下,施加的脉冲偏置电压比通常大,例如为-500V~-2500V,优选为-700V~-2500V,更优选为-1000V~-2500V。

[0064] [实施例]

[0065] 接着,使用实施例、比较例对本发明进行进一步详细说明。需要说明的是,本发明并不限于以下实施例。

[0066] (实施例/比较例)

[0067] 在将活塞环基材设置在装置内的状态下,将装置内真空排气减压后,加热基材。之后,对基材,通过FCVA法适当变更脉冲偏置电压、基板温度、腔室的压力(真空度)、电弧电流、靶的纯度等,得到了具有实施例1~6和比较例1~4的硬质碳覆膜的活塞环。

[0068] 针对得到的活塞环的硬质碳覆膜,在以下条件下测量拉曼分光光谱。需要说明的是,测量值是在一个活塞环的周向上活塞环的接缝口两侧(0°、360°)、接缝口的相反侧的位置以及从接缝口分别向两侧90°的位置共计五处的测量值的平均值。

[0069] 装置名:株式会社堀场制作所制XploRAPLUS。

[0070] 激光光源:532nm。

- [0071] 激光强度:1mW。
- [0072] 光斑直径:1 $\mu$ m。
- [0073] 衍射光栅:1200line/mm。
- [0074] 解析得到的拉曼分光光谱的波形,结果汇总于表1。
- [0075] [表1]

[0076]

	峰强度比						峰强度面积比					
	G/S	G/(S+D)	G/(S+D+G)	D/(S+G)	D/(S+D+G)	S/(S+D+G)	G/S	G/(S+D)	G/(S+D+G)	D/(S+G)	D/(S+D+G)	S/(S+D+G)
实施例1	2.59	0.44	0.31	1.33	0.57	0.14	1.86	0.24	0.19	2.24	0.69	0.13
实施例2	2.74	0.51	0.34	1.17	0.54	0.14	1.90	0.30	0.23	1.85	0.65	0.12
实施例3	3.34	0.64	0.39	0.98	0.49	0.13	2.56	0.42	0.30	1.43	0.59	0.13
实施例4	3.56	0.72	0.42	0.87	0.46	0.13	2.87	0.51	0.34	1.18	0.54	0.12
实施例5	4.87	0.91	0.48	0.75	0.43	0.11	4.02	0.67	0.40	1.00	0.50	0.11
实施例6	5.56	1.07	0.50	0.68	0.41	0.10	4.82	0.76	0.43	0.90	0.48	0.10
比较例1	6.55	1.17	0.54	0.61	0.38	0.09	5.83	0.90	0.47	0.80	0.44	0.09
比较例2	6.67	1.19	0.54	0.60	0.38	0.09	5.70	0.91	0.48	0.79	0.44	0.09
比较例3	6.46	1.20	0.54	0.59	0.37	0.09	5.68	0.92	0.48	0.78	0.44	0.09
比较例4	7.78	1.38	0.58	0.53	0.35	0.08	7.32	1.10	0.52	0.68	0.40	0.07

[0077] 接着,对实施例1、实施例3~6以及比较例1的DLC覆膜进行评价。首先,通过往复动摩擦磨耗试验机进行的磨耗量测量试验按如下实施。

[0078] 图2示出销盘式往复动摩擦磨耗试验的概要。首先,将马氏体系不锈钢用作公称直

径86mm、滑动方向的宽度为1.2mm的活塞环基材,在其外周面将上述各实施例、比较例的DLC覆膜成膜,准备加工了外周滑动面的活塞环。从该活塞环的接缝口相反侧的位置和两侧成90°的三处的各位置切出周长20mm的活塞环构件以供测试。对切出的活塞环构件进行最终精加工,最终精加工后的活塞环构件的表面粗糙度的粗糙度曲线为平台状,最大高度Rz为1.0 $\mu$ m,并作为上试验片100。

[0079] 下试验片110是与JIS FC250相当的材料,制作看作硬度为HRB100、碳化物析出为3%的片状石墨铸铁制汽缸内径的宽度为17mm、长度为70mm、厚度为14mm的板,通过#600砂纸进行最终表面精加工,表面粗糙度在最大高度Rz为1.2 $\mu$ m。

[0080] 以下示出磨耗量测量试验的试验条件。在上试验片100和下试验片110的滑动面上,在试验时间1小时内,浓缩了在发动机实机运转中生成的碳油泥等的发动机润滑油0W-20供油150 $\mu$ L(微升)。

[0081] <试验条件>

[0082] • 行程:50mm。

[0083] • 载荷:50N。

[0084] • 速度:300cycle/min。

[0085] • 下试验片的温度:80 $^{\circ}$ C(使用设于可动块120的下试验片加热用加热器122)。

[0086] • 试验时间:60min。

[0087] 磨耗量(n=3的平均值)的测量结果示于表2。需要说明的是,表2的磨耗量是将比较例1的值设为1的相对值。

[0088] [表2]

	磨耗量 (相对值)
实施例1	0.05
实施例3	0.11
实施例4	0.15
实施例5	0.32
实施例6	0.67
比较例1	1.00

[0090] 接着,将实施例1、实施例3~6以及比较例1的DLC覆膜成膜在SKD11材料板上,按如下实施洛氏压痕试验和划痕试验。结果如表3所示。需要说明的是,通过实施洛氏压痕试验和划痕试验,对裂纹的产生状况(长度、产生数量等)进行评价,可以确认裂纹越多、裂纹越长,磨耗量也越多。

[0091] 此外,图3示出在实机运转中在DLC覆膜表面产生的裂纹的电子显微镜图像,图4和图5分别示出针对实施例1和比较例1的DLC覆膜的表示洛氏压痕试验结果的激光显微镜图像。

[0092] <洛氏压痕试验>

[0093] 依据ISO26443,将顶端半径为0.2mm的金刚石压头以载荷150kgf压入DLC覆膜,用

激光显微镜观察DLC覆膜表面。放大压痕的上下左右四个视野(透镜倍率为50倍),计算在各个视野内最长的三条裂纹(从长到短的顺序)的长度的平均值。对一个样品测量三次,采用其平均值(n=12)。结果如表3所示。

[0094] <划痕试验>

[0095] 使用Anton Paar制划痕试验机,载荷固定在1N,以10mm/min的速度水平移动2mm。用电子显微镜观察划痕试验的结果,对裂纹的产生进行评价(n=3)。评价基准如下,结果如表3所示。

[0096] A:划痕试验后的DLC覆膜表面没有产生裂纹。

[0097] B:划痕试验后的DLC覆膜表面产生裂纹,但其数量较少。

[0098] C:划痕试验后的DLC覆膜表面产生一定数量的裂纹。

[0099] D:划痕试验后的DLC覆膜表面产生相当多的裂纹。

[0100] [表3]

[0101]

	洛氏压痕试验后 裂纹长度 ( $\mu\text{m}$ )	划痕试验后裂纹 产生评价
实施例1	61.4	A
实施例3	59.2	B
实施例4	66.7	B
实施例5	96.0	C
实施例6	145.0	C
比较例1	164.9	D

[0102] 附图标记说明

[0103] 10:活塞环;11:活塞环基材;12:DLC覆膜;13:基层;100:上试验片;110:下试验片;120:可动块;122:下试验片加热用加热器。

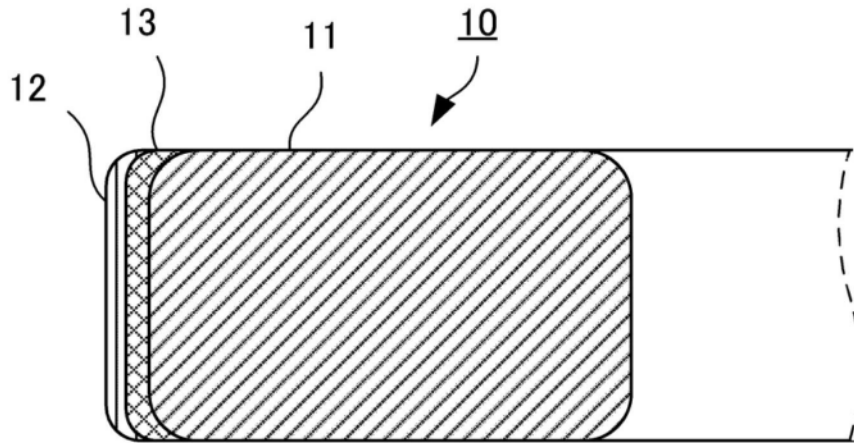


图1

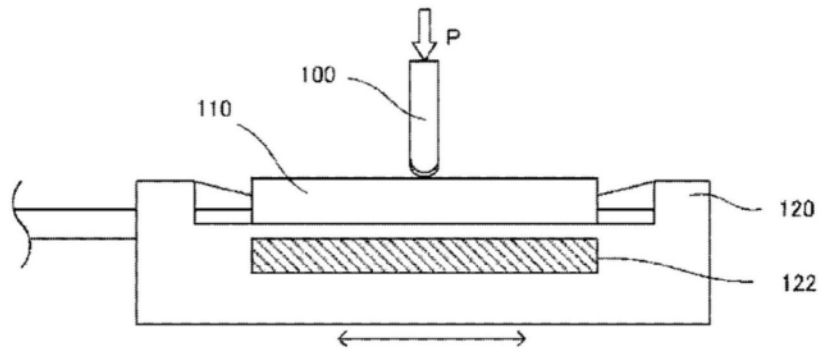


图2

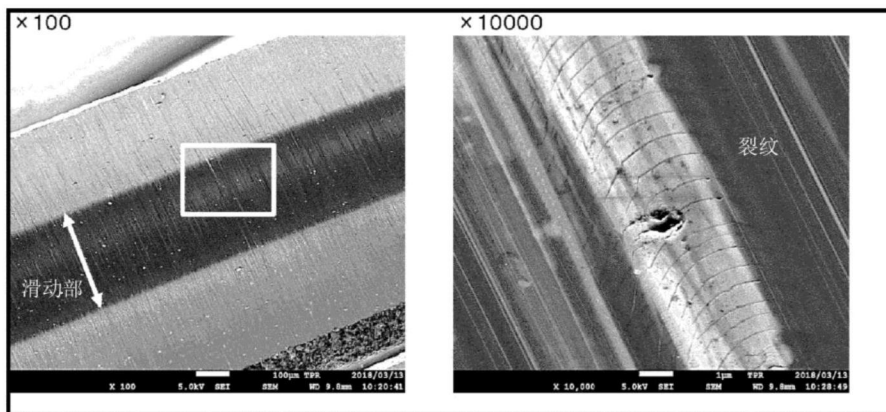


图3

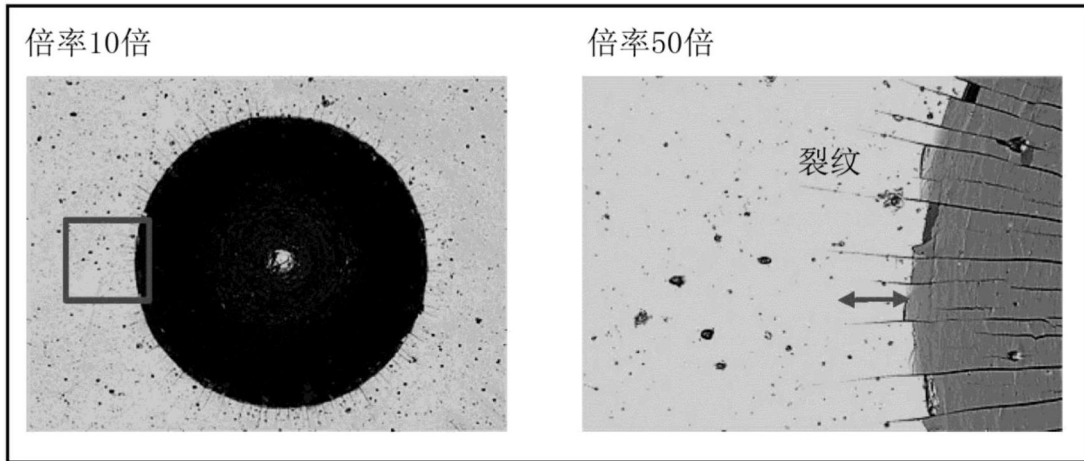


图4

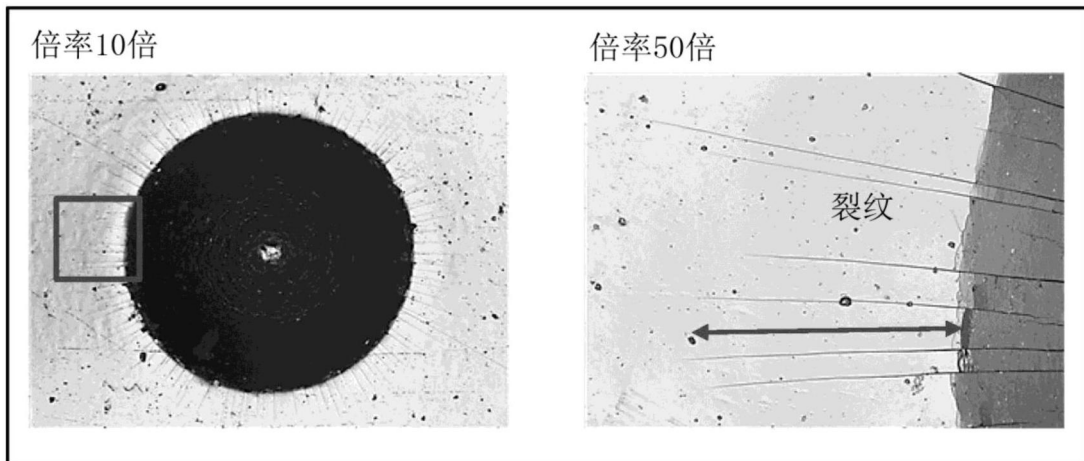


图5