



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107849703 B

(45) 授权公告日 2021.10.15

(21) 申请号 201680035774.5

(72) 发明人 特洛伊·坎托拉

(22) 申请日 2016.04.19

詹姆士·R·托特

(65) 同一申请的已公布的文献号

罗伯特·R·阿哈罗诺夫

申请公布号 CN 107849703 A

(74) 专利代理机构 深圳中一联合知识产权代理有限公司 44414

(43) 申请公布日 2018.03.27

代理人 李艳丽

(30) 优先权数据

(51) Int.CI.

14/693,194 2015.04.22 US

C23C 28/00 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

C25D 7/00 (2006.01)

2017.12.18

F16J 1/16 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

F16J 9/26 (2006.01)

PCT/US2016/028227 2016.04.19

(56) 对比文件

(87) PCT国际申请的公布数据

JP 2003064463 A, 2003.03.05

W02016/172071 EN 2016.10.27

JP 5453533 B2, 2014.03.26

(73) 专利权人 费德罗-莫格尔有限责任公司

US 2012114971 A1, 2012.05.10

地址 美国密歇根州南菲尔德西十一英里公路27300

审查员 王天天

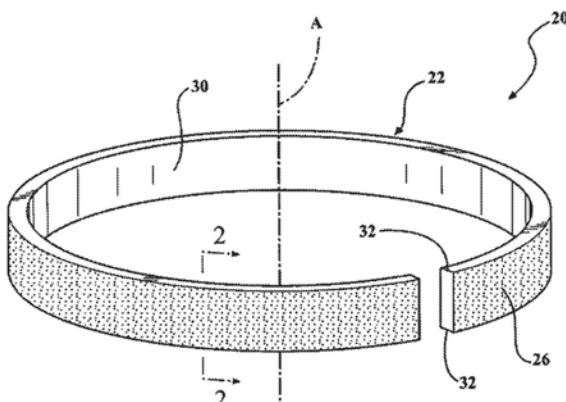
权利要求书3页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

带涂层的滑动元件

(57) 摘要

提供了诸如活塞环的滑动元件，包括基底、底涂层和相对薄的滑动涂层。底涂层通常通过 PVD、CVD、电镀沉积、电沉积或热喷涂工艺施加到基底的运行表面。滑动涂层包括聚合物基质和设置在整个基质中的硬质颗粒。在底涂层仍处于其被施加的状态下并且表面粗糙度为至少 $4.0 \mu\text{m}$ 时，将滑动涂层施加到底涂层。在滑动元件的使用期间，薄的滑动涂层用作牺牲的跑合层。此外，随着滑动涂层的聚合物基质磨损掉，硬质颗粒抛光底涂层的粗糙表面。因此，不需要在使用滑动元件之前抛光或研磨被施加的底涂层。



1. 一种滑动元件,包括:

基底;

施加到所述基底上的底涂层,所述底涂层具有厚度和至少 $4.0\mu\text{m}$ 的表面粗糙度 R_z ,所述底涂层处于被施加的状态下没有被抛光或研磨;

施加到所述底涂层上的滑动涂层,所述滑动涂层包括由至少一种聚合物形成的基质,所述滑动涂层包括设在所述基质中的硬质颗粒,所述硬质颗粒由氮化物、碳化物、硼化物、氧化物和金属中的至少一种形成,并且所述滑动涂层具有为所述底涂层的厚度的2%至60%的厚度,其中所述硬质颗粒具有至少 $600\text{HV}/0.5$ 的硬度和 $0.01\text{-}5.0\mu\text{m}$ 的粒度。

2. 根据权利要求1所述的滑动元件,其中,所述底涂层具有 $5.0\mu\text{m}\text{-}8.0\mu\text{m}$ 的表面粗糙度 R_z ,和 $0.6\mu\text{m}\text{-}0.8\mu\text{m}$ 的表面粗糙度 R_a 。

3. 根据权利要求1所述的滑动元件,其中,所述底涂层具有选自下列项中的至少一种的成分:铬(Cr)、氮化铬(CrN)、碳化铬(CrC)、氮氧化铬(CrON)、氮化钛(TiN)、氮化锆(ZrN)、氮化铝钛(AlTiN)、铬和氧化铝、铬和陶瓷、铬和金刚石、金刚石和类金刚石碳(DLC)。

4. 根据权利要求1所述的滑动元件,其中,所述滑动涂层的所述基质由聚酰胺酰亚胺组成,并且以基于所述滑动涂层总体积的至少40.0%体积的量存在;所述硬质颗粒以基于所述滑动涂层总体积的0.1-20.0%体积的量存在;并且,所述硬质颗粒包含基于所述滑动涂层总体积的0.1-15.0%体积的 Fe_2O_3 。

5. 根据权利要求4所述的滑动元件,其中,所述硬质颗粒包含基于所述滑动涂层总体积的3.0-5.0%体积的量的与 Fe_2O_3 不同的其它颗粒;

所述其它颗粒选自氮化物、碳化物、硼化物、氧化物和金属;

所述滑动涂层包含基于所述滑动涂层总体积的5.0-30.0%体积的量的固体润滑剂,并且所述固体润滑剂包括 MoS_2 、石墨、 WS_2 、六方氮化硼(h-BN)、PTFE和金属硫化物中的至少一种。

6. 根据权利要求1所述的滑动元件,其中,所述滑动元件是活塞环,并且具有面向并绕中心轴线周向地延伸的内表面,与所述内表面相对朝向的运行表面,以及一对各自连接所述内表面和所述运行表面的侧表面;并且所述底涂层被施加到所述运行表面。

7. 根据权利要求6所述的滑动元件,其中,所述底涂层被施加到所述侧表面中的至少一者上。

8. 根据权利要求1所述的滑动元件,其中,所述基底是由铁基材料形成的活塞环,并且具有面向并绕中心轴线周向地延伸的内表面,与所述内表面相对朝向的运行表面,以及一对各自连接所述内表面和所述运行表面的侧表面;

所述底涂层被施加到所述运行表面和所述侧表面中的至少一者上;

所述底涂层具有 $5.0\mu\text{m}\text{-}8.0\mu\text{m}$ 的表面粗糙度 R_z ,和 $0.6\mu\text{m}\text{-}0.8\mu\text{m}$ 的表面粗糙度 R_a ;

所述底涂层具有不大于 $300\mu\text{m}$ 的厚度;

所述底涂层具有选自以下项中的至少一种的成分:铬(Cr)、氮化铬(CrN)、碳化铬(CrC)、氮氧化铬(CrON)、氮化钛(TiN)、氮化锆(ZrN)、氮化铝钛(AlTiN)、铬和氧化铝、铬和陶瓷、铬和金刚石、金刚石和类金刚石碳(DLC);

所述底涂层通过选自以下项的工艺来施加:物理气相沉积、化学气相沉积、电镀沉积、电沉积、电化学沉积和热喷涂工艺;

所述滑动涂层具有为所述底涂层厚度的10%至50%的厚度；

所述滑动涂层具有不大于50μm的厚度；

所述滑动涂层的所述基质由聚酰胺酰亚胺组成，并且以基于所述滑动涂层的总体积的至少40.0%体积的量存在；

所述硬质颗粒以基于所述滑动涂层的总体积的0.1至20.0%体积的量存在，所述硬质颗粒包含基于所述滑动涂层的总体积的0.1%至15.0%体积的量的Fe₂O₃和3.0%至5.0%体积的量的不同于Fe₂O₃的其它颗粒，并且所述其它颗粒选自氮化物、碳化物、硼化物、氧化物和金属；

所述滑动涂层包含基于所述滑动涂层的总体积的5.0-30.0%体积的量的固体润滑剂，并且所述固体润滑剂包括MoS₂、石墨、WS₂、六方氮化硼(h-BN)、PTFE和金属硫化物中的至少一种；并且

其中，当所述滑动元件用于内燃机中时，所述滑动涂层保持在所述滑动元件上的时间小于所述内燃机的总寿命的1%，并且所述底涂层在所述内燃机的整个寿命期间保持在所述滑动元件上。

9. 一种形成滑动元件的方法，包括以下步骤：

将底涂层施加到基底上，所述底涂层具有厚度和至少4.0μm的表面粗糙度Rz，所述底涂层处于被施加的状态下没有被抛光或研磨；和

将滑动涂层施加到所述底涂层上，所述滑动涂层包括由至少一种聚合物形成的基质，所述滑动涂层包括设置在所述基质中的硬质颗粒，所述硬质颗粒由氮化物、碳化物、硼化物、氧化物和金属中的至少一种形成，并且所述滑动涂层具有为所述底涂层的厚度的2%至60%的厚度，其中所述硬质颗粒具有至少600HV/0.5的硬度和0.01-5.0μm的粒度。

10. 根据权利要求9所述的方法，其中，所述底涂层为5.0μm-8.0μm的表面粗糙度Rz，和为0.6μm-0.8μm的表面粗糙度Ra。

11. 根据权利要求9所述的方法，其中，施加所述滑动涂层的步骤包括，当所述底涂层处于被施加的状态并且具有至少4.0μm的表面粗糙度Rz时，将所述滑动涂层施加到所述底涂层。

12. 根据权利要求9所述的方法，其中，将所述底涂层施加到所述基底的步骤包括选自以下项的工艺：物理气相沉积、化学气相沉积、电镀沉积、电沉积、电化学沉积和热喷涂工艺。

13. 根据权利要求12所述的方法，其中，所述底涂层具有选自以下项中的至少一种：铬(Cr)、氮化铬(CrN)、碳化铬(CrC)、氮氧化铬(CrON)、氮化钛(TiN)、氮化锆(ZrN)、氮化铝钛(AlTiN)、铬和氧化铝、铬和陶瓷、铬和金刚石、金刚石和类金刚石碳(DLC)。

14. 根据权利要求13所述的方法，其中，所述底涂层的成分由铬、铬和氧化铝、或者铬和金刚石组成；并且施加所述底涂层的步骤包括电镀沉积。

15. 根据权利要求13所述的方法，其中，所述底涂层的成分由铬和氮组成；并且施加所述底涂层的步骤包括物理气相沉积。

16. 根据权利要求13所述的方法，其中，所述底涂层的成分由类金刚石碳(DLC)组成；并且施加所述底涂层的步骤包括物理气相沉积、化学气相沉积或等离子体辅助化学气相沉积(PA-CVD)。

17. 根据权利要求13所述的方法,其中,所述底涂层的成分由铬和氮组成;并且施加所述底涂层的步骤包括物理气相沉积。

18. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述滑动涂层的基质由聚酰胺酰亚胺组成,并且以基于所述滑动涂层的总体积的至少40.0%体积的量存在;

所述硬质颗粒以基于所述滑动涂层的总体积的0.1-20.0%体积的量存在;所述硬质颗粒包含基于所述滑动涂层的总体积的0.1-15.0%体积的量的 Fe_2O_3 和3.0-5.0%体积的量的不同于 Fe_2O_3 的其它颗粒;所述其它颗粒选自氮化物、碳化物、硼化物、氧化物和金属;并且

所述滑动涂层包含基于所述滑动涂层的总体积的5.0-30.0%体积的量的固体润滑剂,并且所述固体润滑剂包括 MoS_2 、石墨、 WS_2 、六方氮化硼(h-BN)、PTFE和金属硫化物中的至少一种。

19. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述滑动元件是活塞环,并且所述滑动元件具有面向并绕中心轴线周向地延伸的内表面,与所述内表面相对朝向的运行表面,以及一对各自连接所述内表面和所述运行表面的侧表面;并且所述底涂层被施加到所述运行表面。

20. 根据权利要求9所述的方法,包括,提供所述基底,其中,所述基底是由铁基材料形成的活塞环,并且具有面向并绕中心轴线周向地延伸的内表面,与所述内表面相对朝向的运行表面,以及一对各自连接所述内表面和所述运行表面的侧表面;

其中,所述底涂层具有5.0 μm -8.0 μm 的表面粗糙度 R_z ,和0.6 μm -0.8 μm 的表面粗糙度 R_a ,所述底涂层具有选自以下项中的至少一种的成分:铬(Cr)、氮化铬(CrN)、碳化铬(CrC)、氮氧化铬(CrON)、氮化钛(TiN)、氮化锆(ZrN)、氮化铝钛(AlTiN)、铬和氧化铝、铬和陶瓷、铬和金刚石、金刚石和类金刚石碳(DLC);

其中,所述滑动涂层的所述基质由聚酰胺酰亚胺组成,并且以基于所述滑动涂层的总体积的至少40.0%体积的量存在;所述硬质颗粒以基于所述滑动涂层的总体积的0.1至20.0%体积的量存在;所述硬质颗粒包含基于所述滑动涂层的总体积的0.1-15.0%体积的量的 Fe_2O_3 和3.0-5.0%体积的量的不同于 Fe_2O_3 的其它颗粒;所述其它颗粒选自氮化物、碳化物、硼化物、氧化物和金属;所述滑动涂层包含基于所述滑动涂层的总体积的5.0-30.0%体积的量的固体润滑剂;并且,所述固体润滑剂包括 MoS_2 、石墨、 WS_2 、六方氮化硼(h-BN)、PTFE和金属硫化物中的至少一种;

施加所述底涂层的步骤包括,将所述底涂层施加到所述运行表面和至少一个所述侧表面;

将所述底涂层施加到所述基底上的步骤包括选自以下项的工艺:物理气相沉积、化学气相沉积、电镀沉积、电沉积、电化学沉积和热喷涂工艺;

施加所述底涂层的步骤包括,将所述底涂层施加到所述基底的表面,直到所述底涂层具有不大于300 μm 的厚度;

施加所述滑动涂层的步骤包括,当所述底涂层处于被施加的状态下并且具有至少4.0 μm 的表面粗糙度 R_z 时,将所述滑动涂层施加到所述底涂层;并且

施加所述滑动涂层的步骤包括,施加所述滑动涂层,直到所述滑动涂层具有不大于50 μm 的厚度;并且

施加所述滑动涂层的步骤包括,将所述滑动涂层施加至达到所述底涂层的厚度的10%至50%的厚度。

带涂层的滑动元件

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2015年4月22日提交的美国实用专利申请No.14/693,194的优先权，该申请的全部内容通过引用结合于本文中。

[0003] 发明背景

1. 技术领域

[0004] 本发明涉及带涂层的滑动元件，例如活塞环，以及制造该带涂层的滑动元件的方法。

[0005] 2. 相关技术

[0006] 发动机应用的滑动元件典型地由带有改性表面的多层材料组成，以优化滑动特性。例如，滑动元件可以包括可能基于铅、锡或铝的金属层，其通过电镀工艺、蒸发或离子镀施加。非金属滑动层也是已知的，例如具有被改性以实现某些性能、负载能力和耐磨性的人造树脂基材的那些。

[0007] 尽管由已知涂层提供的负载能力很高，但是如果超过负载能力极限，则可能导致滑动功能的故障。基底材料的相关暴露于是可导致咬死(seizure)，导致滑动元件完全失效。

[0008] 树脂基滑动涂层已经被使用多年以减轻机械结构中的摩擦。通常，在需要无进一步润滑即可容易移动的金属、塑料和橡胶部件上涂覆有涂层。在典型的应用中，负载相当低，并且边界条件(如温度和介质)是非关键的。从各种出版物，特别是EP 0 984 182 A1中已知，发动机应用，例如曲轴轴承，也是可利用182A1的，发动机应用，例如曲轴轴承，也可以用这种滑动元件。在该文献中，描述了具有聚酰亚胺(PI)、聚酰胺酰亚胺(PAI)、环氧树脂或酚醛树脂基质的覆盖物，其中可以加入 Fe_3O_4 以减轻磨损。

[0009] DE 196 14 105 A1揭示了由聚四氟乙烯(PTFE)或热塑性含氟聚合物制成的基质材料、 Fe_2O_3 和固体润滑剂组成的耐磨损和抗气蚀的塑料滑动层。该材料用于轴承，例如用作减震器的导向元件，并且由于其结构和软的含氟聚合物基质而仅仅适用于低滑动速度和低负载。

[0010] EP 1 775 487 A2公开了一种滑动轴承，其具有金属载体材料，以及施加到该金属载体材料上的铝合金和塑料滑动层。为了提高塑料滑动层的结合强度和抗气蚀性，提出了这样的材料，其具有由PI、PAI、聚苯并咪唑(PBI)、工程聚合物(EP)和功能聚合物(FP)制成的粘合剂，以及固体润滑剂，比如 MoS_2 、石墨、PTFE和BN。

发明内容

[0011] 本发明提供一种具有高的峰值负载能力并具有改善的耐磨性的滑动元件。滑动元件可以在高温和高滑动速度下使用，例如在内燃机内的运动部件上使用。滑动元件包括基底，施加到基底上的底涂层以及施加到底涂层上的滑动涂层。底涂层具有厚度和至少 $4.0\mu\text{m}$ 的表面粗糙度(R_z)。滑动涂层包括由至少一种聚合物形成的基质。滑动涂层还包括设在基

质中的硬质颗粒，并且该硬质颗粒由氮化物、碳化物、硼化物、氧化物和金属中的至少一种形成。滑动涂层的厚度为底涂层的厚度的2%至60%。

[0012] 本发明的另一方面提供一种制造滑动元件的方法。该方法包括，将底涂层施加到基底上；并将滑动涂层施加到底涂层上。

[0013] 在使用滑动元件期间，当滑动涂层沿着另一部件滑动时，该滑动涂层用作牺牲的跑合层(run-in layer)。此外，随着滑动涂层的聚合物基质磨损，硬质颗粒抛光或降低底涂层的表面粗糙度。因此，在使用滑动元件之前不再需要抛光或研磨被施加的底涂层。

附图说明

[0014] 通过参考以下详细描述并结合附图，将更容易理解本发明的其它优点，在附图中：

[0015] 图1是根据一个示例性实施例的带涂层的活塞环的透视图；

[0016] 图2是图1的带涂层的活塞环沿着线2-2的截面图；

[0017] 图3A-4B是根据一示例性实施例的带涂层的活塞环的光学显微镜图像；

[0018] 图5是示出了将本发明的示例性滑动元件与比较的滑动元件的摩擦系数进行比较的实验结果的曲线图；和

[0019] 图6A-6C显示了沿着在实验之后的本发明的实施例的滑动元件的磨斑的SEM图像。

能够实现的实施例的描述

[0021] 本发明的一个方面提供了一种滑动元件20，其包括基底22、底涂层24和施加到其上的滑动涂层26。滑动元件20通常用于内燃机应用，优选为处于高峰值负载下的流体润滑的应用。例如，滑动元件20可以用作曲轴、活塞裙或活塞环的轴承。图1和图2示出了其中滑动元件20包括活塞环的示例性实施例。

[0022] 滑动元件20的基底22通常由金属形成，但也可以由非金属形成。在该示例性实施例中，基底22由诸如铸铁或钢的铁基材料形成。基底22还具有至少一个运行表面(running surface)28，底涂层24和滑动涂层26被施加到该运行表面28。在图1和图2的示例性实施例中，基底22是活塞环，其呈现面向并绕中心轴线A周向地延伸的内表面30，运行表面28相对内表面30面向，并且一对侧表面32将内表面30和运行表面28相互连接。侧表面32可以彼此平行地延伸，如图1和图2所示。或者，侧表面32可以以一定角度设置，以提供拱顶石(Keystone)状构造(未示出)。此外，如图1和图2所示，运行表面28和内表面30可以彼此平行。作为备选，运行表面28和/或内表面30可以是成角度的、凸的或凹的。

[0023] 底涂层24被施加到基底22的至少运行表面28上，但是也可以施加到一个或多个其它的表面。在该示例性实施例中，底涂层24被施加到基底22的运行表面28和侧表面32二者上。

[0024] 底涂层24由能够保护基底22使其不会在滑动元件20使用过程中擦伤和磨损的材料形成。底涂层24的成分可以包括金属，或者非金属如陶瓷，或者金属和非金属的混合物。例如，底涂层24的成分可以选自以下中的一种或多种：铬(Cr)，氮化铬(CrN)，碳化铬(CrC)，氮氧化铬(CrON)，氮化钛(TiN)，氮化锆(ZrN)，氮化铝钛(AlTiN)，铬和氧化铝，铬和陶瓷，铬和金刚石，金刚石，类金刚石碳(DLC)，以及它们的多个层。

[0025] 可以使用各种不同的方法将底涂层24施加到基底22。例如，底涂层24可以通过选自以下项的工艺来施加：物理气相沉积(PVD)，化学气相沉积(CVD)，电镀沉积，电沉积，电化

学沉积和热处理,例如热喷涂。物理气相沉积工艺的实例包括,等离子体辅助物理气相沉积(PA-PVD),阴极电弧沉积,溅射,和电子束蒸发。化学气相沉积工艺可以包括等离子体辅助化学气相沉积(PA-CVD)。

[0026] 在一个示例性实施例中,底涂层24由铬构成并通过电镀沉积施加。在另一个实施例中,底涂层24由铬和氧化铝组成,例如称为铬陶瓷涂层(CKS[®])的材料,并且通过电镀沉积或电化学沉积来施加。在另一个实施例中,底涂层24由嵌入细裂纹网络中的铬和金刚石颗粒组成,例如称为GOETZE金刚石涂层(GDC[®])的材料,并通过电镀沉积或电化学沉积施加。在另一个实施例中,底涂层24完全由铬构成,并通过电镀沉积施加。在另一个实施例中,底涂层24由铬和氮组成,并通过物理气相沉积施加。在另一个实施例中,底涂层24由金刚石或类金刚石碳(DLC)组成,并通过物理气相沉积、化学气相沉积或等离子体辅助化学气相沉积(PA-CVD)来施加。

[0027] 用于将底涂层24施加到基底22上的工艺方法使底涂层24在其被施加的状态下具有至少4.0μm的表面粗糙度(R_z)。在本实施例中,底涂层24具有为5.0μm-8.0μm的表面粗糙度(R_z),和为0.6μm-0.8μm的表面粗糙度(R_a)。通常,底涂层24也被施加到不大于50μm的厚度 t_1 。然而,对于电镀层,厚度可达300μm。底涂层24不经受抛光、研磨,或经过任何其它处理,其中,表面粗糙度在施加滑动涂层26之前被减小。当施加滑动涂层26时,底涂层24保持被施加的状态。

[0028] 当底涂层24仍然处于其被施加的状态并且因此具有至少4.0μm的表面粗糙度(R_z)时,将滑动涂层26直接设置在底涂层24上。滑动涂层26可以通过各种不同的方法施加。例如,滑动涂层26可以通过化学或物理方法作为液体或粉末材料施加,并且可以形成为连续的薄膜。在一个实施例中,将滑动涂层26施加到底涂层24的工艺包括溶剂蒸发或通过UV辐射硬化。在其中基底22为活塞环的示例性实施例中,滑动涂层26优选地被施加到不大于50μm、更典型地小于20μm的厚度 t_2 。

[0029] 滑动涂层26的厚度小于底涂层24的厚度。在示例性实施例中,滑动涂层26的厚度仅为底涂层24的厚度的2%至60%。更典型地,滑动涂层26的厚度是底涂层24的厚度的10%至50%,或底涂层24的厚度的25%至45%。例如,滑动涂层26的厚度可以在5μm至25μm的范围内,并且底涂层24可以具有在20μm至60μm范围内的厚度。然而,可以根据滑动元件20的特定应用或其他因素,来调节每个涂层24,26的厚度,并且因此调节厚度比。图3A和3B是以两种不同的放大率显示的施加到滑动元件20、特别是活塞环运行表面28的底涂层24上的滑动涂层26的光学显微镜图像,其中滑动涂层26的厚度为底涂层24的厚度的约41%。在该示例中,滑动涂层26的厚度为13μm,底涂层24的厚度为32μm。图4A和4B是以两种不同的放大率显示的施加到滑动元件20(特别是活塞环的侧表面32,没有底涂层24)上的滑动涂层26的光学显微镜图像,其中滑动涂层26的厚度为约9μm。

[0030] 滑动涂层26通常被施加到基底22的与底涂层24相同的表面上。然而,滑动涂层26可以施加到基底22的不包括底涂层24的另一表面,或者可以是基底22的只包括底涂层24的表面。在其中基底22为活塞环的示例性实施例中,底涂层24和滑动涂层26二者都被施加到运行表面28和侧表面32。

[0031] 滑动涂层26具有由至少一种聚合物形成的基质。可以使用各种类型的树脂和塑料

来形成聚合物基质，包括可交联的粘合剂、热塑性塑料和塑料。例如，聚合物基质可以包括聚酰胺酰亚胺(PAI)、聚酰亚胺(PI)、环氧树脂、聚苯并咪唑(PBI)、硅氧烷树脂、不饱和聚酯树脂、硅酮、聚丙烯酸酯、聚醚醚酮(PEEK)和聚醚砜(PES)中的至少一种。也可以使用熔点高于230°C的其它高熔点的热塑性材料。在示例性实施例中，聚合物基质由聚酰胺酰亚胺(PAI)组成，并且以基于滑动涂层26总体积的至少40.0%体积的量存在。

[0032] 滑动涂层26还包括设置在整个基质中的硬质颗粒。硬质颗粒的存在量通常为基于滑动涂层26总体积的0.1至20.0%体积。硬质颗粒也优选具有至少600HV/0.5的硬度，和0.01-5.0μm的粒度。在该示例性实施例中，硬质颗粒包括基于滑动涂层26总体积的0.1-15.0%体积的 Fe_3O_4 ，和3.0-5.0%体积的不同于 Fe_3O_4 的其它颗粒。其它颗粒选自氮化物、碳化物、硼化物、氧化物和金属。其它硬质颗粒的实例包括SiC、 Si_3N_4 、 B_4C_3 、立方BN、 TiO_2 或 SiO_2 ；以及由Ag、Pb、Au、SnBi和/或Cu制成的金属粉末。

[0033] 滑动涂层26通常还包括固体润滑剂，其量为基于滑动涂层26总体积的5.0-30.0%体积。固体润滑剂包括MoS₂、石墨、WS₂、六方氮化硼(h-BN)、PTFE和金属硫化物中的至少一种。

[0034] 本发明的另一方面提供了一种形成滑动元件20的方法。该方法包括，将底涂层24施加到基底22上，并将滑动涂层26施加到底涂层24上。将底涂层24施加到基底22的步骤包括选自以下项的工艺：物理气相沉积(PVD)、化学气相沉积(CVD)、电镀沉积、电沉积、电化学沉积和热喷涂工艺。施加底涂层24的步骤还包括，将底涂层24施加到基底22的表面，直到底涂层24具有不大于300μm、但通常不大于50μm的厚度。施加滑动涂层26的步骤包括，在底涂层24处于被施加的状态下并且具有至少4.0μm的表面粗糙度时，将滑动涂层26施加到底涂层24。施加滑动涂层26的步骤还包括，施加滑动涂层26，直到滑动涂层26具有不大于50μm的厚度。

[0035] 底涂层24和滑动涂层26的组合一起提高了滑动元件20的性能，并且还降低了总体制造成本和时间。在其中滑动涂层26和底涂层24被施加到活塞环的运行表面28上的示例性实施例中，滑动涂层26用作牺牲性跑合层，并且可以提高底涂层24的耐擦性能。当滑动涂层26沿着或者抵靠着发动机的气缸孔(未示出)运动或滑动时，滑动涂层26的聚合物基质被磨损并且硬质颗粒抛光或降低底涂层24的表面粗糙度。由于滑动涂层26的较小厚度和成分，滑动涂层26比底涂层24更快地磨损。通常，滑动涂层26保持在滑动元件20上的时间小于发动机总寿命的1%，而底涂层24被设计成在发动机的整个寿命期间保持在滑动元件20上。

[0036] 在带涂层的滑动元件20在内燃机中使用期间，滑动涂层26摩擦气缸孔或另一配对物，导致滑动涂层26的聚合物磨损并使暴露的硬质颗粒摩擦气缸孔或另一配对物。随着聚合物磨损掉，底涂层24暴露给摩擦气缸孔和配对物的硬质颗粒。硬质颗粒和底涂层24之间的摩擦随着硬质颗粒摩擦气缸孔或配对物而抛光底涂层24。随着时间的推移，底涂层24的表面粗糙度通过硬质颗粒摩擦气缸孔或配对物而显着地降低到可接受的水平。因此，可以实现光滑的底涂层24，而无需在内燃机中使用滑动元件20之前单独抛光、研磨或以其它方式降低底涂层24的表面粗糙度。此外，当将滑动涂层26施加到侧表面32时，滑动涂层24可以延缓底涂层24和/或基底22抵靠活塞(未示出)的环形槽的磨损。最后，滑动涂层26在被施加于外径(OD)运行表面28和侧表面32时，将提供初始密封机制以在活塞上方容纳工作气体，并且当部件形成更紧密的抵靠接触时保持改进的密封。

[0037] 实验

[0038] 进行实验,以比较本发明的滑动元件20与比较的滑动元件的摩擦系数。这两个滑动元件包括相同的基底,每个基底由KV4铸铁材料组成,并且以活塞环($\Phi 107\text{mm}$)的形式提供。基底包括围绕中心轴线周向延伸的内表面和相对面向的运行表面。由沉积的铬和氮(CrN)组成的底涂层24通过物理气相沉积(PVD)施加到这两个基底的运行表面上。然后,将包括PAI基质和 Fe_2O_3 硬质颗粒的滑动涂层26施加到本发明的滑动元件20的底涂层24上,但不施加到比较的滑动元件上。

[0039] 然后,将滑动元件进行Cameron&Plint试验方案。滑动元件的带涂层的运行表面抵靠由压实的石墨铸铁形成的气缸套($\Phi 118\text{mm}$)运行。在试验过程中,对滑动元件施加400N的载荷(F_N),190°C的温度,10Hz的频率,v=13.5mm的行程和5W30的润滑油。将该载荷施加到滑动元件上达4小时。

[0040] 图5是图示了Cameron&Plint试验结果的图,其包括本发明的滑动元件20的带涂层的运行表面所提供的摩擦系数,相比于由比较的滑动元件的带涂层的运行表面所提供的摩擦系数。该试验结果表明,本发明的包括底涂层24和滑动涂层26组合的滑动元件20,在整个测试持续时间内实现了更低的摩擦系数。

[0041] 图6A-6C是显示了沿着在Cameron&Plint实验之后的本发明的滑动元件20的带涂层的运行表面的磨斑的SEM图像。在实验期间,随着滑动涂层26磨损掉,滑动涂层26的硬质颗粒开始抵靠气缸套摩擦并抛光底涂层24的表面。图6C被大大地放大,以清楚地显示在Cameron&Plint试验之后的部分磨损的涂层24,26。

[0042] 显然,根据上述教导,本发明的许多修改和变化是可能的,并且可以在所附权利要求书的范围内以不同于以上具体描述的其它方式实施。

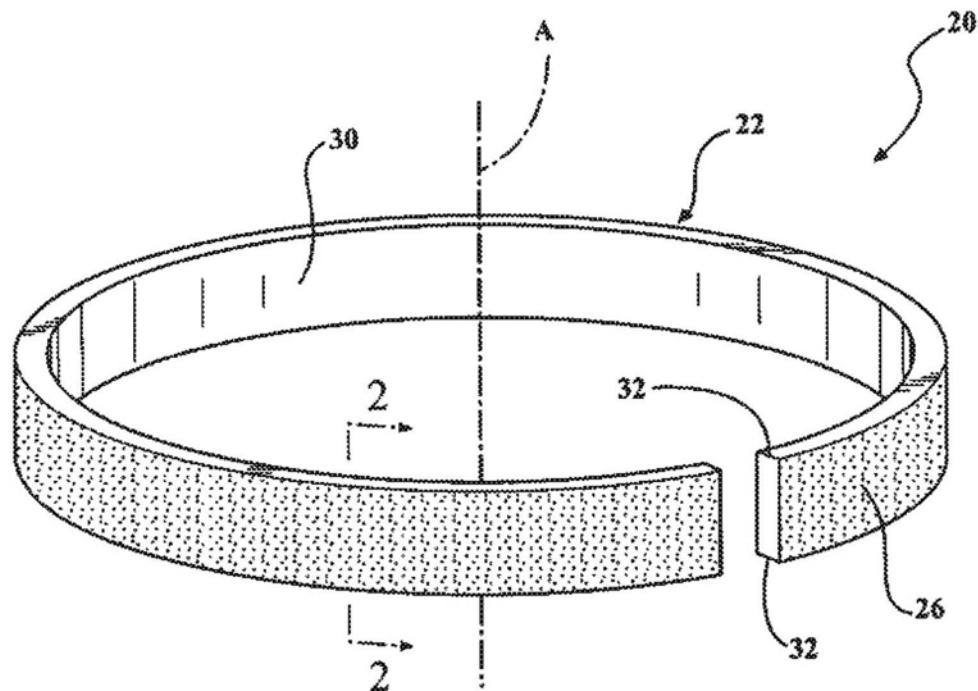


图1

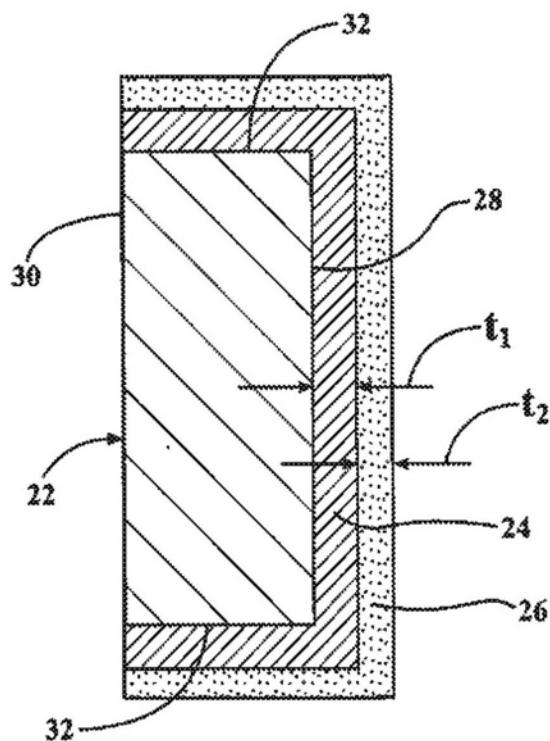


图2

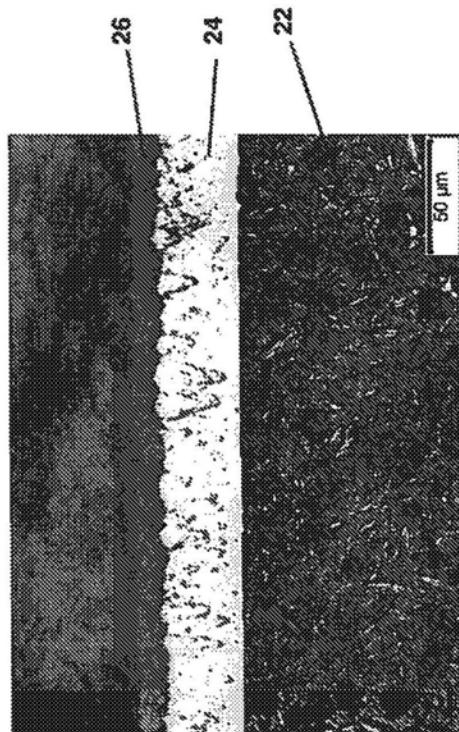


图3A

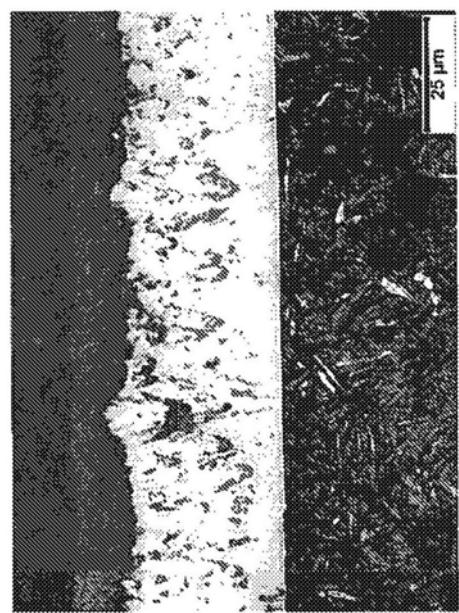


图3B

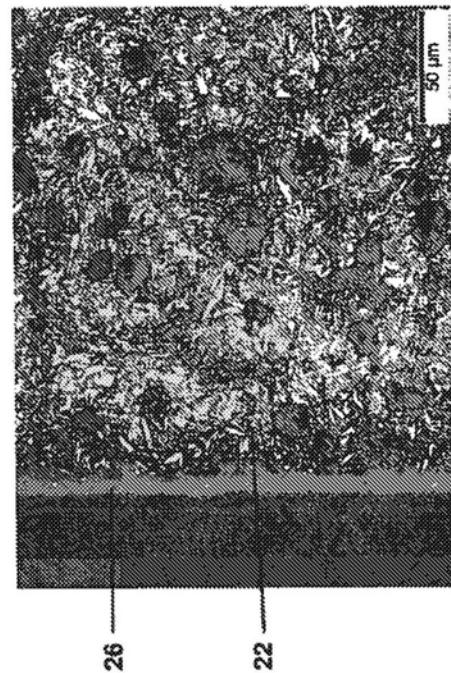


图4A

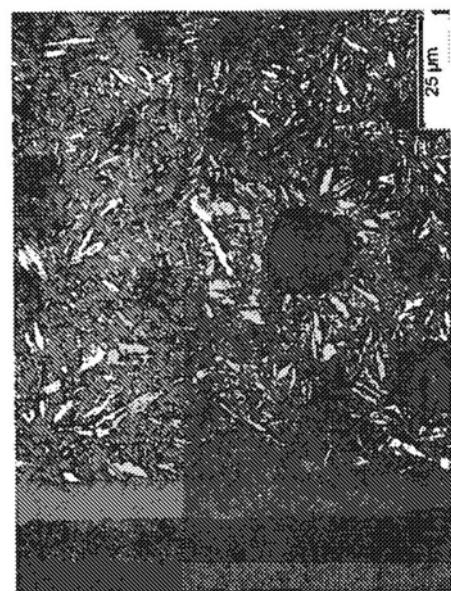


图4B

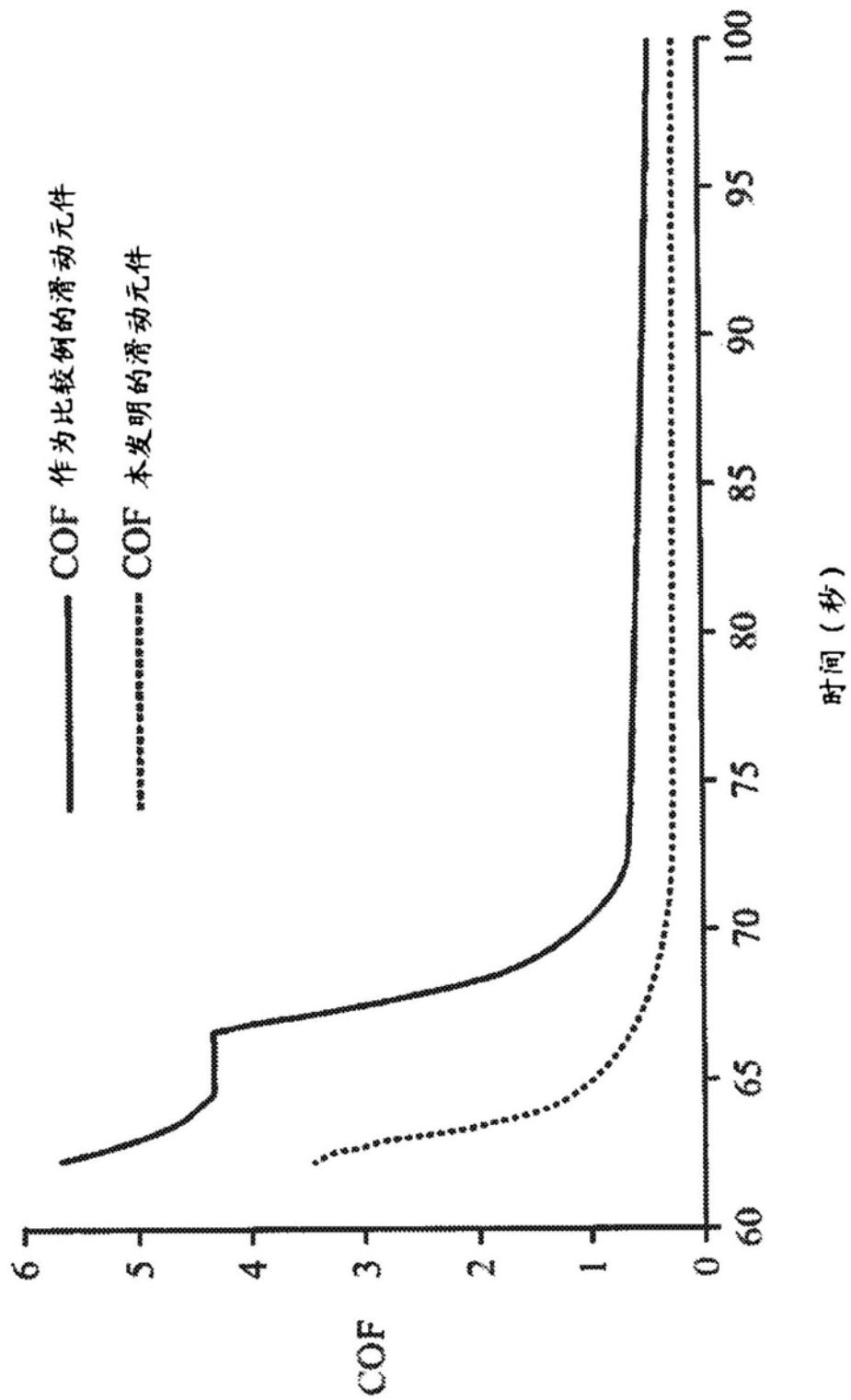


图5

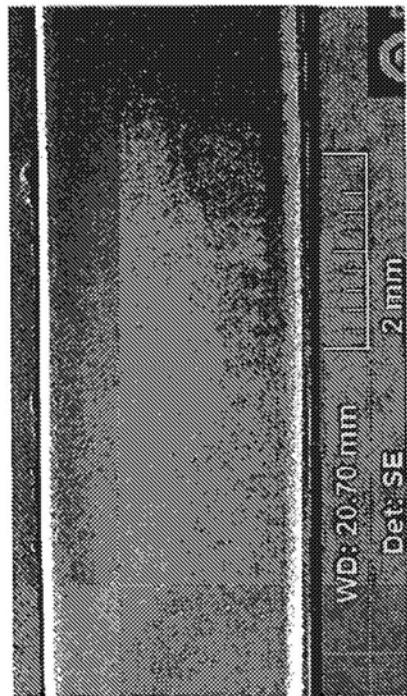


图6A

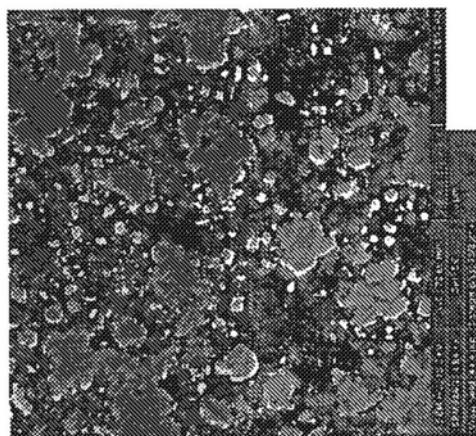


图6B

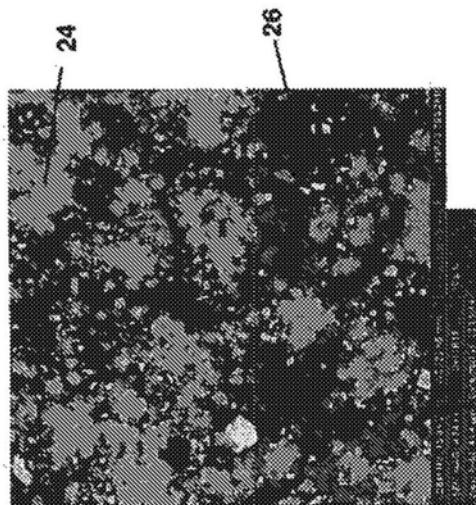


图6C