



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104235186 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 24

(21) 申请号 201410242604. 7

(22) 申请日 2014. 06. 03

(30) 优先权数据

13/917, 334 2013. 06. 13 US

(71) 申请人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 D·J·凯恩

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 赵蓉民 张全信

(51) Int. Cl.

F16C 33/10 (2006. 01)

F16C 33/12 (2006. 01)

F16N 15/00 (2006. 01)

B64C 25/02 (2006. 01)

权利要求书2页 说明书12页 附图7页

(54) 发明名称

接头轴承润滑剂系统

(57) 摘要

本发明的名称是接头轴承润滑剂系统。所公开的一种轴承组件具有由包括锡的合金形成的耐磨表面；在经配置在使用过程中被耐磨材料接触的磨耗材料，磨耗材料具有平滑表面；以及包括对锡具有亲合力的一种或多种添加剂的润滑剂组合物。还提供赋予轴承组件超级润滑性能的方法。

1. 一种轴承组件 (10), 其包括:  
由包括锡的合金形成的耐磨表面 (45, 46);  
经配置在使用过程中被所述耐磨表面接触的磨耗材料 (44), 所述磨耗材料具有平滑表面; 以及  
包含对锡具有亲合力的一种或多种添加剂的润滑剂组合物 (50)。
2. 根据权利要求 1 所述的轴承组件 (10), 其中所述耐磨表面 (45, 46) 或所述磨耗材料 (44) 是调幅合金。
3. 根据权利要求 2 所述的轴承组件 (10), 其中所述调幅合金包括铜、镍和锡。
4. 根据权利要求 1 所述的轴承组件 (10), 其中所述耐磨表面 (45, 46) 具有操作耐磨材料, 所述操作耐磨材料具有测量的小于 3 微英寸 (uin) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 (Rq), 和 / 或小于 30uin 至大约 0 的最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或小于 20uin 至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz)。
5. 根据权利要求 4 所述的轴承组件 (10), 其中所述耐磨材料具有初始耐磨表面 (45, 46), 所述初始耐磨表面具有测量的大于 3 微英寸 (uin) 的均方根表面粗糙度 (Rq), 和 / 或大于 30uin 最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或大于 20uin 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz), 其中所述初始表面在负荷下通过操作转换为操作表面。
6. 根据权利要求 1 所述的轴承组件 (10), 其中所述磨耗材料 (44) 具有平滑表面, 所述平滑表面具有测量的小于 3 微英寸 (uin) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 (Rq), 和 / 或小于 30uin 至大约 0 的最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或小于 20uin 至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz)。
7. 根据权利要求 6 所述的轴承组件 (10), 其中 Rq 小于 1.5uin。
8. 根据权利要求 1 所述的轴承组件 (10), 其中所述一种或多种添加剂包括硼或硼酸盐。
9. 根据权利要求 1 所述的轴承组件 (10), 其中所述磨耗材料 (44) 的至少一部分表面包括碳化钨或硬铬。
10. 一种组件 (10), 其包括:  
相对于彼此可移动的一对构件, 该对构件包括限定其二者之间的空间的第一构件和第二构件, 所述第一构件或所述第二构件的至少一个是包含铜、镍和锡的调幅合金; 以及  
所述第一构件或所述第二构件的至少一个具有测量的小于 3 微英寸 (uin) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 (Rq), 和 / 或小于 30uin 至大约 0 的最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或小于 20uin 至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz); 以及  
设置在所述空间中的润滑剂组合物 (50), 所述润滑剂组合物包含一种或多种硼或硼酸盐添加剂。
11. 一种用于起落架组件中的转向架枢轴接头的轴承组件 (10), 所述轴承组件包括:  
限定其内开口的金属转向架组件 (14);  
可旋转地设置在所述转向架组件的所述开口中的销 (24), 所述销具有测量的小于 3 微英寸 (uin) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 (Rq), 和 / 或小于 30uin 至大约 0 的最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或小于 20uin 至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz); 以及  
由包括锡的调幅合金组成的转向架枢轴套管 (30), 所述转向架枢轴套管至少部分设

置在由所述转向架组件限定的所述开口中,所述转向架枢轴套管具有接近所述销的内表面(35),使得在所述转向架枢轴套管的所述内表面和所述销之间限定有空间,所述销或所述转向架枢轴的至少一个表面具有润滑剂组合物(50)的涂层,所述润滑剂组合物包含占据在所述枢轴套管和所述销之间限定的所述空间的硼和硼酸盐添加剂。

12. 一种提供轴承组件(10)的超级润滑性能的方法,其包括:

使包含对锡具有亲合力的一种或多种添加剂的润滑剂组合物(50)与磨耗表面(44)或耐磨表面(45,46)的至少一个表面接触,所述磨耗表面经配置在使用期间被所述耐磨表面接触,所述磨耗表面具有平滑表面,并且所述耐磨表面由包括锡的合金形成。

13. 根据权利要求12所述方法,还包括提供包括铜、镍和锡的调幅合金作为所述耐磨表面(45,46)或磨耗表面(44)。

14. 根据权利要求12所述方法,包括提供具有平滑表面的所述磨耗表面(44),所述平滑表面具有测量的小于3微英寸(uin)至大约0的均方根表面粗糙度(Rq),和/或小于30uin至大约0的最大表面粗糙度(Rmax)和/或小于20uin至大约0的平均最大高度表面粗糙度(Rz)。

15. 根据权利要求12所述方法,还包括提供具有初始耐磨表面的所述耐磨表面(45,46),所述初始耐磨表面具有测量的大于3微英寸(uin)的均方根表面粗糙度(Rq),和/或大于30uin的最大表面粗糙度(Rmax)和/或大于20uin的平均最大高度表面粗糙度(Rz),所述方法还包括在负荷下通过操作将所述初始耐磨表面破坏成操作耐磨表面,所述操作耐磨表面具有测量的小于3微英寸(uin)至大约0的均方根表面粗糙度(Rq),和/或小于30uin至大约0的最大表面粗糙度(Rmax)和/或小于20uin至大约0的平均最大高度表面粗糙度(Rz)。

## 接头轴承润滑剂系统

### 技术领域

[0001] 本公开涉及轴承组件,更具体地,涉及具有可相对于彼此移动的两个轴承构件的轴承组件以及用于这些组件的具体润滑剂组合物和金属材料。

### 背景技术

[0002] 一些跑道,例如,在俄罗斯或阿富汗,由于设计或其它原因,能够导致航天飞行器起落架的大量使用和寿命缩短。更具体地,在许多第三世界或遥远的城市,跑道遭受冻胀,其中冻土位移部分跑道。因此,部分跑道之间的位移导致跑道崎岖不平或粗糙。当飞行器着陆在这些粗糙的跑道上时,起落架枢轴接头吸收由于崎岖不平施加到着陆的飞行器的力。随着接头吸收力,接头的部件(例如,轴承)受热并且可受到热影响(例如,在部件中或其之间)。起落架接头中具有铅添加剂的润滑剂为此类接头提供一些保护,然而,由于铅添加剂对环境的影响,不再使用铅添加剂。

[0003] 还已使用聚四氟乙烯 (PTFE) 衬垫或具有 PTFE 颗粒的油脂,其通常设置在起落架接头以取代铅润滑剂,然而,停止使用 PTFE 以利于接头更频繁的润滑。即使有更频繁的润滑,在较冷的气候中,可能需要采用设置在起落架接头周围的加热帷罩,以加热起落架,从而允许泵入润滑剂。虽然如此,起落架中的部件是昂贵且耗时的,这可包括在一些情况下,由于一直需要润滑组件,每个月的更换。粗糙跑道问题及其对起落架的影响已出现几十年,而还未发现可接受的、长期的解决方案。

### 发明内容

[0004] 根据本公开,提供轴承组件。轴承组件包括耐磨表面 (wearing surface),该耐磨表面由包括锡的合金形成;磨耗材料 (wear material),该磨耗材料经配置在使用期间被耐磨表面接触,该磨耗材料具有平滑表面;以及润滑剂组合物,该润滑剂组合物包括对锡有亲和力的一种或多种添加剂。

[0005] 在第二实施方式中,提供组件。组件包括可相对于彼此移动的一对构件,该对构件包括限定其二者之间的空间的第一构件和第二构件,第一构件或第二构件的至少一个是包含铜、镍和锡的调幅 (spinodal) 合金;第一构件或第二构件的至少一个具有小于 3 微英寸 (uin) 至大约 0 的测量的均方根表面粗糙度 (Rq),和 / 或小于 30uin 至大约 0 的最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或小于 20uin 至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz);并且润滑剂组合物设置在该空间中,润滑剂组合物包含一种或多种硼或硼酸盐添加剂。

[0006] 在第三实施方式中,提供用于起落架组件中的转向架枢轴接头的轴承组件。轴承组件包括:限定其中开口的金属转向架组件;可旋转地设置在转向架组件的开口中的销,该销具有测量的小于 3 微英寸 (uin) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 (Rq),和 / 或小于 30uin 至大约 0 的最大表面粗糙度 (Rmax),和 / 或小于 20uin 至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz);以及由包括锡的调幅合金组成的转向架枢轴套管,该转向架枢轴套管至少部分设置在由转向架组件限定的开口中,转向架枢轴套管具有邻近销的内表面,以便在转向架枢

轴套管的内表面和销之间限定有空间,销或转向架枢轴套管的至少一个表面具有包含硼和硼酸盐添加剂的润滑剂组合物涂层,占据枢轴套管和销之间限定的空间。

[0007] 在第四实施方式中,将包含对锡具有亲合力的一种或多种添加剂的润滑剂组合物与磨损材料的至少一个表面或耐磨表面接触,该磨损材料经配置在使用期间被耐磨表面接触,该磨损材料具有平滑表面,并且该耐磨表面由包括锡的合金形成。

#### 附图说明

[0008] 现将参考附图,附图不必按比例绘制,其中:

[0009] 图 1 是沿图 3 的线 1-1 看到的根据本公开一个实施方式的轴承组件的横截面视图;

[0010] 图 2 是根据本公开一个实施方式的航天飞行器的起落架组件的侧视图;

[0011] 图 3 是沿图 2 线 3-3 看到的起落架组件的转向架枢轴接头轴承的横截面视图;

[0012] 图 4 是根据本公开一个实施方式的转向架枢轴套管的侧透视图;

[0013] 图 5 是根据本公开一个实施方式的转向架组件的横截面视图;

[0014] 图 6 是传统轴承组件的横截面视图;

[0015] 图 7 是根据本公开一个实施方式的轴承组件的横截面视图;

[0016] 图 8 是根据本公开一个实施方式的轴承组件的横截面视图;

[0017] 图 9 是对照以及本公开的材料和润滑剂组合物实施方式的平均峰值温度增量的图示;以及

[0018] 图 10 是对照以及本公开的材料和润滑剂组合物实施方式的峰值温度的图示。

#### 具体实施方式

[0019] 在传统的轴承/接头组件中,采用通常与耐磨材料(wearing material)结合的低密度添加剂,其中这种结合的强度在强和弱之间变化。同样,在传统的组件中,较高的粗糙度导致金属与金属接触,但更好地保持润滑剂。用相对较少的添加剂保持材料分开,零件以相对高的接触应力和较高的摩擦值接触,其中添加剂仅承载一些负荷。观察到将磨损材料变成包括锡的调幅合金——其与具有对锡有亲合力的一种或多种添加剂的润滑剂组合物结合,但不受任何理论约束,以产生超高密度、超强的耐磨层,该耐磨层通过具有承载大量负荷的一种或多种添加剂减少摩擦。虽然如此,磨损材料的高表面粗糙度在接口的位置提供边界层的断裂,从而在接口局部位置引起摩擦和/或升高的温度。虽然通过将耐磨材料转换为调幅合金实现改进,但通过使用具有一种或多种添加剂的润滑剂组合物实现进一步的改进,并且通过减少粗糙度提供更多的改进。本系统、组合物和方法通过改变耐磨材料的表面粗糙度对上述提供额外的改进和优点。

[0020] 即使在最极端的着陆条件下,本系统、组合物和方法提供抗发热的适合航天起落架的接近零摩擦的轴承组件和/或接头。因此,本轴承组件和/或接头防止或消除对航天飞行器的轴承组件和/或接头的—个或多个部件的损坏。本公开的轴承组件特别有利于在极端条件下应用,如在轴承组件受到相对较大的动态压力和振荡的条件下。例如,因为转向架枢轴接头轴承组件在着陆周期过程中可遭遇相对较大的动态压力和振荡,所以用于飞机起落架的转向架枢轴接头轴承组件是采用本公开教导的轴承组件的首选。当然,因为较长

的润滑和轴承寿命在范围广泛的应用中是明显的,所以本公开的轴承组件也可用于许多其它负荷条件不极端的应用中。因此,本公开提供这样的轴承组件,其具有改进的轴承寿命和对轴承部件要求较不频繁的维护周期,与传统油脂润滑剂相比具有更低的摩擦系数,以及因此延迟热积聚产生和轴承组件润滑性的损失。

[0021] 相比之下,在轴承构件之间使用无油脂涂层(即,由传统轴承教导的相对较厚的涂层或 TEFLON™)可随着涂层磨损导致轴承组件表面之间不希望的间隙。因此,与传统轴承组件和润滑技术相比,本公开的轴承组件具有明显的优势。

[0022] 如本文所用,“磨耗材料”包括“磨耗表面(wear surface)”,其在组成上与其相应的磨耗材料可相同或不同。例如,磨耗材料可包括导致在组成上与大块磨耗材料不同的磨耗表面的表面处理。术语“磨耗材料”和“磨耗表面”在本文中可互换使用,除非另外说明。同样地,如本文所用,“耐磨材料”包括“耐磨表面(wearing surface)”,其在组成上与其相应耐磨材料可相同或不同。术语“耐磨材料”和“耐磨表面”在本文中可互换使用,除非另外说明。

[0023] 作为轴承/接头组件的组分的调幅合金

[0024] 典型的轴承组件包括可相对于彼此移动的一对轴承构件(耐磨表面和磨耗表面)。在一个具体实例中,轴承或套管可为圆柱形外壳、带有或不带有凸缘、安装在与配合轴、销或螺栓结合的结构壳体内。具有固定接头的轴承通常用于周期和振荡运动,如用于起落架接头、控制表面铰链点和致动联接装置。

[0025] 此类轴承的优点很多。轴承是相对经济的替换原件,其通过提供免受磨损、腐蚀、变形和其它使用局限或故障引发损坏的保护,延长主要结构元件的使用寿命。轴承成功使用性能的两个基本考虑因素是强度和寿命。强度是轴承在静负荷下抗变形和结构故障的能力。轴承的寿命由在周期或振荡运动下其抗磨损、微振磨损、擦伤和咬合的能力确定。本公开的系统、组合物和方法提供此类轴承系统的改进,然而,其不限于轴承系统。

[0026] 在一个方面,轴承/接头组件的一种或多种组分包括调幅合金。调幅合金通常在称为溶混性区的其相位图中表现出异常,并且在溶混性区的非常窄的温度范围内,原子有序化出现在现有晶格结构内。例如,大多数铜基合金从固溶体硬化、冷加工、沉淀硬化或通过这强化机制的组合,发展高强度。然而,在三元铜-镍-锡合金中,通过有时也称为失稳分解的受控的热处理产生高机械强度,其中两个新的相形式晶体结构类似但化学组成不同。所得的这样的调幅合金的两相结构在明显低于溶混性区的温度下结构稳定。通常通过如下制备调幅合金:提供铸造或锻造材料、溶液热处理材料、允许材料的部分或完全均化和退火,随后是高速淬火以冻结细晶粒结构。随后,通过将材料温度升高到溶混性区内的温度,该材料然后老化变硬。

[0027] 在一个实施方式中,本系统、组合物和方法包括锡(Sn)调幅合金套管。在一个方面,套管可以是失稳铜-镍-锡(“Cu-Ni-Sn”)合金。失稳过程形成合金中Sn的基体,使得调幅合金中Sn的密度比非调幅合金中Sn的密度高。在进一步方面,插入套管的销具有平滑的外表面。在又进一步方面,本系统、组合物和方法还包括具有对锡(Sn)有亲合力的一种或多种添加剂的润滑剂组合物。在一个方面,耐磨材料和磨耗材料都是调幅合金,其具有相同或不同Cu-Ni-Sn组合物。合适的失稳铜-镍-锡合金名称和各个化学组成的重量百分比(不包括低合金元素)包括,例如,C72650(Cu(余量)、7.0%-8.0%的Ni、4.5%-5.5%

的锡) ;C72700(Cu(余量)、8.5% -9.5%的Ni、5.5% -6.5%的Sn) ;C72900(铜(余量)、14.5% -15.5%的Ni、7.5% -8.5%的Sn) ;C96900(铜(余量)、14.5% -15.5%的Ni、7.5% -8.5%的Sn) ;以及 C96970(Cu(余量)、8.5% -9.5%的Ni、5.5% -6.5%的Sn)。在本系统、组合物和方法的实践中有用的其它失稳铜-镍-锡合金可由工业规范指定,其包括例如 AMS4596、AMS4597、ASTM-B505、ASTM-B929、以及 ASTM B740,或是以下列商标名商购的材料,该商品名包括但不限于 ToughMet MoldMax XL<sup>®</sup>、Toughmet 3AT<sup>®</sup>、Toughmet 3TS<sup>®</sup>、Toughmet 2CX<sup>®</sup>、或 Toughmet 3CX<sup>®</sup> (Materion Corporation, Cleveland, OH)。

#### [0028] 润滑剂组合物

[0029] 润滑剂组合物可包含适用于应用在组件的接触构件之间的适当基本原料。基本原料可以是任何石油衍生润滑剂以及任何合成润滑剂,如有机硅、聚酯、聚 $\alpha$  烯烃(PAO)等。基本原料的粘度可调节,例如,作为油脂。润滑剂组合物可包含一种或多种硼或硼酸盐化合物。

[0030] 一种或多种硼和 / 或硼酸盐添加剂可由含硼化合物衍生。例如,可通过使硼化合物与油溶性或油分散性添加剂或化合物发生反应,制备含硼添加剂。合适的硼化合物包括氧化硼、氧化硼水合物、三氧化硼、三氟化硼、三溴化硼、三氯化硼、硼酸(如硼酸(boronic acid)、硼酸(boric acid)、四硼酸和偏硼酸)、硼化氢、硼胺和各种硼酸的酯类。含硼添加剂的额外实例包括硼酸化分散剂;硼酸化分散剂 VI 改进剂;碱金属或混合碱金属或碱土金属硼酸盐;硼酸化高碱性金属洗涤剂;硼酸化环氧化物;硼酸酯;硫化硼酸酯;和硼酸酯酰胺。

[0031] 含硼添加剂包括硼酸化脂肪胺。硼酸化胺可通过使上述硼化合物的一种或多种与脂肪胺的一种或多种——例如具有 4-18 碳原子的胺——发生反应来制备。它们可通过使胺与硼化合物发生反应来制备。硼酸化脂肪环氧化物通常通过使上述硼化合物的一种或多种与至少一种环氧化物的反应产物来制备,所述至少一种环氧化物通常是具有 8-30 个碳原子,优选具有 10-24 个碳原子,更优选具有 12-20 个碳原子的脂族环氧化物。有用的脂族环氧化物实例包括庚基环氧化物和辛基环氧化物。也可使用环氧化物的混合物,例如具有 14-16 个碳原子和 14-18 个碳原子的商业环氧化物混合物。

[0032] 硼酸化分散剂可通过琥珀酰亚胺、琥珀酸酯、苄胺及其衍生物的硼酸化制备,其中的每一个可具有分子量为 700-3000 的烷基或链烯基。可使用其它分子量烷基或链烯基。这些添加剂的制造方法是本领域技术人员已知的。

[0033] 可使用脂族、无环、芳基、萘基和杂环基的硼酸酯,其通过使上述硼化合物的一种或多种与含有 6-30 或 8-24 个碳原子的醇、胺、杂环化合物和 / 或酸的一种或多种发生反应来制备。硼酸酯可以是硼酸化磷脂。制作此类硼酸酯或磷脂的方法在本领域是已知的。

[0034] 上述硼添加剂的烷基包括直链或支链,并且是例如甲基、乙基、正丙基、异丙基、正丁基、异丁基、仲丁基、叔丁基、正戊基、异戊基、正己基、正庚基、3- 庚基、正辛基、2- 乙基己基、正壬基、正癸基、十一烷基、正十二烷基、十三烷基、正十四烷基、十五烷基、正十六烷基、正十八烷基、正二十烷基、十七烷基、2- 乙基丁基、1- 甲基戊基、1, 3- 二甲基丁基、1, 1, 3, 3- 四甲基丁基、1- 甲基己基、异庚基、1- 甲基庚基、1, 1, 3- 三甲基己基和 1- 甲基十一烷基。

[0035] 上述硼添加剂的链烯基包括直链或支链,并且可以是不饱和形式的烷基,例如

烯丙基、丙-2-烯基、丁-2-烯基、2-甲基-丙-2-烯基、戊-2-烯基、己-2,4-二烯基、癸-10-烯基或二十-2-烯基。

[0036] 上述硼添加剂的环烷基包括例如环戊基、甲基环戊基、二甲基环戊基、环己基、甲基环己基、二甲基环己基、三甲基环己基、叔丁基环己基、环癸基、金刚烷基、环十二烷基、环庚基或环辛基。

[0037] 上述硼添加剂的芳烷基包括例如苄基、 $\alpha$ -苄基， $\alpha$ -二甲基苄基或2-苯基乙基。

[0038] 上述硼添加剂的芳基包括例如苯基或萘基。取代的芳基是例如被1-4个具有1-6个碳原子的烷基或羟基取代的芳基。

[0039] 上述硼添加剂的烷芳基例如邻-、间-或对-甲基苯基、2,3-二甲基苯基、2,4-二甲基苯基、2,5-二甲基苯基、2,6-二甲基苯基、3,4-二甲基苯基、3,5-二甲基苯基、2-甲基-6-乙基苯基、4-叔丁基苯基、2-乙基苯基、2,6-二乙基苯基、2,4-二叔丁基苯基或2,6-二叔丁基-4-甲基苯基。羟苯基可以是例如3-羟苯基。

[0040] 上述硼添加剂的烷基化的羟苯基例如单-或二烷基化的3-羟苯基，例如2-甲基-3-羟苯基、4-甲基-3-羟苯基、2-乙基-3-羟苯基、4-乙基-3-羟苯基、2-叔丁基-3-羟苯基、4-叔丁基-3-羟苯基、2-己基-3-羟苯基、4-己基-3-羟苯基、2,4-二甲基-3-羟苯基、2-甲基-4-叔丁基-3-羟苯基、以及其它相应的二烷基化的形式。

[0041] 上述硼添加剂的杂环基可以是4-、5-或6-元的杂环，其中一个或多个氧、氮、或硫原子与碳原子结合。该杂环基可被上述基团中的任何一个取代。

[0042] 例如，可使用合适的添加剂，如乙氧基化胺的硼酸化的衍生物和混合的醇、酰胺、胺、羟基酯、乙氧基化胺、乙氧基化酰胺和羟烷基、羟基链烯基烷基 (hydroxyalkenylalkyl) 或链烯基咪唑啉 (alkenylimidazolines) 的硼酸盐；混合的乙氧基化胺和酰胺、羟烷基咪唑啉、水解的羟烷基咪唑啉和羟基酯的硼酸盐；硼化剂与氮化烃基环氧化物发生反应的产物；通过使伯胺或氨与环氧烷或环氧化物发生反应，然后同时或随后使该中间物质与硼酸和/或硼酸盐反应所制备的含硼杂环化合物，所述硼酸和/或硼酸盐具有含超过三个碳原子的烷基自由基的N,N-二烷基氨基乙基。

[0043] 在一个方面，润滑剂组合中含硼量为0.1-5质量百分比（在一个方面，0.2-2质量百分比的硼）。在本公开每个方面的实施方式中，含铜化合物如羧酸铜，以及含锌化合物如二硫代氨基甲酸锌，大体上不存在于润滑剂组合中。

[0044] 在一个方面中，润滑剂组合物的一种或多种添加剂包含硼或硼酸盐添加剂，这种硼或硼酸盐添加剂对Sn具有亲合力。本文所用的术语“亲合力”通常指硼或硼酸盐添加剂与调幅合金的含Sn表面化学地、离子地、非离子地等相互作用的能力，该调幅合金可包括Sn和/或其它金属的天然氧化物、亚硝酸盐等。

[0045] 包含润滑剂组合物（其包括油脂）的具体硼酸盐包括链烯基酰胺硼酸盐和/或其它硼酸盐添加剂，其可以商标名例如 **VANLUBE®** (Vanderbuilt, Norwalk, CT)、或 **Rheolube 374A® grease** (Nye Lubricants Inc. of Fairhaven, MA)、或 **BRAYCOTE® 3214grease** (Castrol Industrial North American, Inc.) 商购获得。

[0046] 磨耗表面的表面处理

[0047] 在另一个单独或与之前的实施方式结合的实施方式中，轴承和/接头系统的磨耗表面构件设置有平滑的磨耗表面。平滑的磨耗表面可由碳化钨、硬铬或其它硬材料和/或



涂层形成。磨耗表面的表面平滑度可具有 3 微英寸 (uin) 或更小, 或 1.5uin 或更小的测量的粗糙度 (Rq) 的均方根 (RMS)。其它合适的表面粗糙度测量包括最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或平均最大高度表面粗糙度 (Rz)。尽管可使用那些方法, 只要所得的磨耗表面粗糙度如下:  $Rq < 3uin$ , 和 / 或  $Rmax < 30uin$ , 和 / 或  $Rz < 20uin$ , 但因为它们可能遗漏在 RMS 测量内包括的随机峰值, 所以这些其它粗糙度测量方法不是优选的。相比之下, 传统磨耗表面的表面, 例如示例性传统轴承系统的销, 通常为 4uin 至 8uinRa, 该表面明显更粗糙并且包括被测量忽略的更大高度的随机波峰, 其可突出穿过润滑剂的边界层, 从而导致磨损。通常认为需要示例性轴承系统中传统销的更粗糙的 4uin 至 8uinRa 表面, 使得可将润滑剂捕获 / 存储在由粗糙表面限定的微裂纹中。因此, 与本领域的传统知识相比, 本系统和方法避免过于平滑的磨耗表面, 因为认为过于平滑的表面将导致较少的润滑剂保留在耐磨表面和磨耗表面——例如, 销和套管——之间, 和 / 或如果各金属接触, 则允许它们焊接在一起。

[0048] 尽管不受限于任何特定理论, 但据信至少将耐磨材料变成这样的调幅合金: 其包括锡并且其表面粗糙度小于耐磨材料和磨耗表面之间的润滑剂的边界层厚度, 与具有对调幅合金的一种元素有亲合力的一种或多种添加剂的润滑剂组合物结合, 产生超高密度、超强的耐磨层, 该耐磨层将摩擦减少到基本为零, 并且即使在高应力条件下, 在该系统的非耐磨材料中的耐磨材料之间基本上不提供金属接触。本文在上文中使用的术语“边界层”是润滑剂组合物的平均厚度, 其在操作条件下将耐磨材料和磨耗表面分离, 并且包括一个或两个表面上的分子厚的薄膜。在某些方面, 边界层, 在一个或两个表面上有凹凸体存在的情况下, 承载相当大部分的负荷, 并且通过例如各表面上的润滑剂的边界层之间的排斥力保护凹凸体免受磨损和 / 或接触。

[0049] 在一个方面, 耐磨材料和磨耗表面都是调幅合金, 其中润滑剂组合物层在其二者之间, 润滑剂组合物包括对调幅合金的至少一种元素有亲合力的一种或多种添加剂。在上述实施方式的进一步方面, 耐磨材料是包括锡的调幅合金, 并且其具有  $Rq(RMS) < 3uin$  和 / 或  $Rmax < 30uin$  和 / 或  $Rz < 20uin$  的测量的表面粗糙度, 其与具有对 Sn 有亲合力的一种或多种添加剂的润滑剂组合物结合。

[0050] 此外, 对磨耗表面提供上述表面粗糙度的表面处理和方法包括, 但不限于硬材料, 其被研磨 / 抛光 / 磨平和 / 或电抛光为  $Rq(RMS) < 3uin$  和 / 或  $Rmax < 30uin$  和 / 或  $Rz < 20uin$  的测量的表面粗糙度。额外的材料或表面处理和 / 或涂层包括但不限于马氏体不锈钢 (例如细晶粒精炼的 440C 和 440C)、XD15NW<sup>®</sup> 合金 (AMS5925)、钴铬合金电镀、

PRYROWEAR<sup>®</sup> 53 合金 (AMS6308)、Pyrowear<sup>®</sup> 675 合金 (AMS5930)、渗碳或氮化表面处理、52100 钢等。这些示例性材料和表面处理提供适用于实现和维持本文公开的系统、组合物和方法所要求的表面粗糙度的硬表面。

[0051] 在进一步方面, 上述的耐磨材料具有初始耐磨表面, 该初始耐磨表面具有测量的大于 3 微英寸 (uin) 的均方根表面粗糙度 (Rq), 和 / 或大于 30uin 的最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或大于 20uin 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz), 并且耐磨材料的原始耐磨表面在负荷下被操作“破坏”并成为具有上述特性的操作耐磨表面, 例如,  $Rq(RMS) < 3uin$  和 / 或  $Rmax < 30uin$  和 / 或  $Rz < 20uin$  的表面粗糙度。在该上下文中“操作”包括正常或预期条件下的正常操作以及该系统的设计参数或预期条件之外的操作。在一个方面, 初始耐磨表面的

均方根表面粗糙度 (Rq) 在 3 至约 20 微英寸 (uin) 之间。

[0052] 超级润滑轴承 / 接头设计

[0053] 在任一前述实施方式的一个方面, 提供超级润滑轴承 / 接头系统和向超级润滑轴承 / 接头系统提供超级润滑特性的方法, 其中诸如套管的耐磨材料包括提供调幅合金, 该调幅合金包含均匀分布在原子级 (例如, 在 Cu-Ni-Sn 中锡的纳米级排序) 的锡 (Sn)。超级润滑轴承 / 接头系统还可包括润滑剂组合物, 该润滑剂组合物包含对锡有亲合力的一种或多种添加剂, 如上述硼酸盐添加剂和 / 或其它硼酸盐添加剂。例如, 包含一种或多种添加剂的润滑剂组合物可以是 Braycote3214 和 Nye374A。超级润滑轴承 / 接头系统的磨耗表面制造成  $R_q(\text{RMS}) < 3\text{uin}$  和 / 或  $R_{\text{max}} < 30\text{uin}$  和 / 或  $R_z < 20\text{uin}$  的表面粗糙度 (或平滑度)。在可选的实施方式中, 超级润滑轴承 / 接头使用彼此抵靠的调幅合金以及上述润滑剂组合物, 将润滑剂组合物引到耐磨表面和磨耗表面之间作为一个表面上的单层或两个表面上的双层。获得所需表面粗糙度的方法包括但不限于研磨、珩磨、抛光和电抛光。

[0054] 在进一步方面, 耐磨材料具有初始耐磨表面, 该初始耐磨表面具有测量的大于 3 微英寸 (uin) 的均方根表面粗糙度 (Rq), 和 / 或大于 30uin 的最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或大于 20uin 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz), 并且耐磨材料的原始耐磨表面在负荷条件下被操作“破坏”并成为具有上述特性的操作耐磨表面, 例如,  $R_q(\text{RMS}) < 3\text{uin}$  和 / 或  $R_{\text{max}} < 30\text{uin}$  和 / 或  $R_z < 20\text{uin}$  的表面粗糙度。在该上下文中“操作”包括正常或预期条件下的正常操作以及该系统的设计参数或预期条件之外的操作。在一方面, 初始耐磨表面的均方根表面粗糙度 (Rq) 在 3 至约 20 微英寸 (uin) 之间, 其与表面粗糙度  $R_q(\text{RMS}) < 3\text{uin}$  和 / 或  $R_{\text{max}} < 30\text{uin}$  和 / 或  $R_z < 20\text{uin}$  的耐磨材料结合。

[0055] 尽管不受限于任何特定理论, 但据信当上述超级润滑轴承 / 接头系统的零件相对于彼此移动时, 即使在极限压力和速度下, 金属不接触, 并且实现极低的摩擦——摩擦等于或低于滚动元件轴承 (超级润滑性)。因此, 上述超级润滑轴承 / 接头系统可用于替换通常使用滚动元件轴承的移动零件。本系统、组合物和方法的实例应用包括例如旋转致动器履带滚轮 (Rotary Actuators Track Rollers)。在一个方面, 本公开提供金属-金属接触系统的基本上零摩擦的润滑。因为本公开系统、组合物和方法提供接近零摩擦的接触表面, 所以本公开对于接头是有用的, 如用于提供接头以替代滚柱轴承和滚珠轴承。在航天飞行器中, 此取代可产生许多设计, 由于加给目前使用的滚柱轴承或滚珠轴承的限制, 这些设计在之前是不可能的。

[0056] 因此, 在一个方面, 本公开提供超级润滑边界润滑的普通轴承接头设计。这种设计具有许多实际应用。因此, 包含 Sn 的调幅合金、包括对锡有亲合力的一种或多种硼添加剂的诸如油脂的润滑剂、和硬磨耗表面上限定的表面纹理的组合提供超级润滑接头系统。该系统能够防止和 / 或消除使用不规则表面跑道的起落架转向架枢轴接头的问题, 并且能有之前未能获得的普通接头的新的接头设计。

[0057] 现将参考附图在下文中更完全地描述本公开, 其中示出本公开的优选实施方式。然而, 本公开可以许多不同形式实施并且不应解释为限于本文公开的超级润滑的实施方式; 相反, 提供这些实施方式使得本公开将是充分和完整的, 并且将本公开的范围完全传达给本领域的技术人员。在全文中相同的数字表示相同的元件。

[0058] 图 1 示出轴承结构组件 10 (如沿图 3 的线 1-1 观看), 其中包含对锡有亲合力的一

种或多种添加剂的润滑剂组合物 50 应用在包括转向架组件 14 和转向架枢轴销 24 的轴承组件构件之间,从而当它们相对于彼此移动时,润滑构件。具体地,润滑剂组合物 50(厚度未按比例绘制)通常放置在组件 14 的内表面 37 和转向架销 24 的外表面 58 之间。

[0059] 可采用轴承结构组件 10 的一种应用是在航天飞行器的起落架设备上,更具体地,是在航天飞行器起落架的转向架枢轴接头轴承组件上。用于该应用类型的轴承组件通常包括轴承的移动表面之间相对较厚的油脂涂层。对于大多数情况这是可以接受的,因为动态轴承压力和移动表面的滑动速度相对较低。然而,粗糙的着陆条件,如跑道具有深的裂纹、裂缝、凹坑、和 / 或不平坦的表面,可由于快速冲击和极端振荡而导致转向架枢轴接头轴承组件上的过度使用和磨损,这些表面异常转移到轴承组件。在一些情况下,已发现这些粗糙条件创造的能量是正常条件下产生的能量的十 (10) 倍。该额外能量作为热被轴承组件吸收,这说明了当在这些环境下使用传统轴承组件时出现的一些或所有损坏。因此,在这些条件下产生的高温使在轴承组件的运动表面之间填充的油脂破裂,并因此失去其有效润滑性。为防止轴承组件故障,必须更频繁地执行耗时的维护,当飞行器在维护或修理时,除利润损失,这进一步增加维护航天飞行器的成本。在轴承组件部件之间施加的润滑剂组合物 50 更能抵抗动态轴承压力和极端条件下产生的热,从而减少或消除频繁的维护。

[0060] 在本公开示例性实施方式中,描述起落架组件。然而,本公开并不限于起落架组件,相反,其适用于本公开和所附权利要求范围内的任何接头或轴承组件。因此,以这种示例性方式,图 2 至图 5 示出航天飞行器起落架的一部分的金属轴承结构组件 10 的部分的不同视图。具有转向架枢轴接头的轴承结构组件 10 包括至少一个可旋转地连接到转向架枢轴销 24 的减震支柱 12。具体地,减震支柱 12 限定用于可旋转地接收转向架枢轴销 24 的开口。减震支柱 12 还包括延伸远离开口、称为内筒叉 26 的远端部分。所示轴承结构组件 10 还包括轴承组件部件 20,该轴承组件部件 20 包括可旋转地连接到转向架枢轴销 24 的转向架组件 14,其中至少两对轮 16 附接到转向架组件 14。通过使用本公开的系统和方法,对上述组件 10 的各种修改是可能的,事实上,是很可能的。同样,具有可采用金属润滑剂表面构造的可旋转地配置的部件的其它齿轮组件在本公开的范围之内。

[0061] 图 3 和图 4 示出轴承组件部件 20 的横截面视图。在这方面,转向架组件 14 可由金属形成,如 AMS4596 或 AMS4597 级 Cu-Ni-Sn 合金,尽管还可使用 Cu-Ni-Sn 比率的其它变化。在一个实施方式中可以是涂有碳化钨的销或镀铬销(例如,根据 AMS5709 应用)的转向架枢轴销 24 延伸穿过转向架组件 14 的腔体 34。可由调幅合金构成的一对转向架枢轴套管 30 设置在转向架组件 14 的相对端,以便枢轴套管 30 的凸缘表面 33 啮合转向架组件 14 的侧壁 23。此外,一对背对背的内圆筒枢轴套管 40 设置在接近内筒叉 26 附近,以便内圆筒组件(未示出)通过枢轴套管 30 和内圆筒枢轴套管 40 与转向架组件 14 分开。就这一点而言,当转向架枢轴销 24 在转向架组件 14 和减震支柱 12 内旋转时,转向架枢轴套管 30 和内圆筒枢轴套管 40 为转向架枢轴销 24 提供低摩擦支撑。花键垫圈 28 有助于将内圆筒枢轴套管 40 固定在枢轴销 24 周围,并且多对制动杆 42 大体上平行于转向架组件 14 延伸。

[0062] 如图 3 所示,枢轴套管 30 介于转向架组件 14 和转向架枢轴销 24 之间。如图 4 所示,每个枢轴套管 30 通常为管状,并且优选地限定多个润滑分布槽 36,该槽 36 接收油脂并将油脂分布在转向架枢轴销 24 和枢轴套管 30 之间,使得枢轴销 24 相对于转向架组件 14 可旋转。每个枢轴套管 30 还包括外表面 32——其以压入配合或干涉配合方式设置在转向

架组件 14 的内表面 31 附近,使得枢轴套管 30 不相对于转向架组件 14 移动。密封件 38 布置在润滑分布槽 36 附近,以便防止油脂或其它润滑剂漏出。根据一个实施方式,密封件 38 由弹性体形成,尽管其它材料也可用于形成该密封件。如所示的,每个枢轴套管 30 啮合转向架组件 14 的侧壁 23 和相邻的内圆筒枢轴套管 40,以进一步密封枢轴套管和转向架组件 14。

[0063] 根据一个实施方式,枢轴套管 30 的内表面 35 涂有润滑剂组合物 50。还可以将本润滑剂组合物 50 相对薄的涂层涂覆到枢轴套管 30(例如,耐磨材料)的内表面 35 和枢轴销 24 的外表面(例如,磨耗表面)上。可选地,只有枢轴销 24 的外表面可以涂有本润滑剂组合物 50,虽然在一个方面,只有枢轴套管 30 的内表面 35 可包括本润滑剂组合物 50,如图 7 和图 8 所示。有利地,由枢轴套管 30 和枢轴销 24 限定的空间被本润滑剂组合物 50 占据,从而提供对极端动态轴承压力和温度的高抵抗力。

[0064] 包括本润滑剂组合物 50 相对薄的涂层的调幅合金连同本文公开所公开的磨耗表面的表面粗糙度的组合是意料不到的和令人惊讶的,并且与关于润滑和此类系统的方法与传统知识相反。就这一点而言,已发现将本润滑剂组合物 50 相对薄的涂层——如大约 0.005 英寸——涂覆到枢轴套管 30 和枢轴销 24 之间,与测量的小于 3 $\mu$ in 的表面粗糙度  $R_q$ (RMS) 和 / 或小于 30 $\mu$ in 的  $R_{max}$  和 / 或小于 20 $\mu$ in 的  $R_z$  结合,允许动态轴承压力急剧增加到接近提供基本上超级润滑功能和接近零摩擦的基轴承材料的可允许压力水平。更具体地,本润滑剂组合物 50 相对薄的涂层具有 0.01 或更小的摩擦系数,而通常在此类系统中采用的传统油脂润滑剂具有大约 0.20 或更高的摩擦系数。

[0065] 因此,根据本公开的轴承组件部件 20 在极端条件下可操作更长,如当在轴承接收剧烈振荡和滑动速度的非常粗糙的跑道上着陆航天飞行器时。具体地,根据本公开的轴承组件部件 20 充分减少了摩擦产生的热,从而大大减少或消除转向架组件 14 或内筒叉 26 组件的损坏。

[0066] 根据本公开的轴承组件 20 的另一个优点是本润滑剂组合物 50 的组合可应用到现有轴承组件中,如那些发现于航天飞行器的起落架组件,而不必重新设计或以其它方式改变组件。因此,现有齿轮组件,例如,航天飞行器的起落架,可用本公开系统的轴承材料-润滑剂-表面粗糙度容易地改装,如在本公开的轴承组件部件 20 中,这比重重新设计、改变或更换组件或轴承配置便宜得多。此外,与传统轴承相比,在相似条件下运行,本公开的轴承组件部件 20 不需要更频繁的维护,这大大减少维护工时、停机时间和总运行成本。实际上,已发现与传统油脂润滑的轴承相比,通过将本公开的系统、组合物和方法应用在大型喷汽飞行器或其它航天飞行器的起落架组件中的转向架枢轴接头轴承,经测试,实现使用寿命的提高。另外,本系统、组合物和方法适用于低温操作,例如  $-65^{\circ}$  F,并且适用于高温条件,例如  $200-350^{\circ}$  F。

[0067] 现参考图 6,所示传统接头组件具有表面粗糙度约为 4-8 微英寸 Ra 的标准磨耗表面 44,其与具有与耐磨材料相关的低密度添加剂 47 的耐磨表面 43 啮合,其中粘合强度在强和弱之间变化。磨耗表面 44 的高表面粗糙度导致较高的金属与金属的接触。

[0068] 现参考图 7,示出改进的接头组件,其具有与图 6 所示的相同的磨耗表面 44 和表面粗糙度,但其中耐磨材料 45 是含锡的调幅合金,并且具有润滑剂组合物 50,该润滑剂组合物 50 具有对锡有亲合力的含硼添加剂。该配置产生超高密度、超强耐磨层,该耐磨层通过

使添加剂承载大量负荷减少摩擦。该接头组件比图 6 所描绘的接头组件具有高的多的耐磨性和更低的摩擦。虽然如此,磨耗表面 44 的高表面粗糙度可突破某些区域中的表面之间的润滑剂边界层,从而产生一些摩擦和 / 或热。

[0069] 现参考图 8, 示出进一步改进的接头组件, 其具有被平滑为小于大约 3 英寸 (uin) 的测量的表面粗糙度的耐磨表面 46, 其中耐磨表面 46 是含锡的调幅合金, 并且具有润滑剂组合物 50, 该润滑剂组合物具有对锡有亲合力的含硼添加剂。该配置也产生超高密度、超强耐磨层, 该耐磨层通过使添加剂承载更多负荷减少摩擦。该接头组件比图 7 所描绘的接头组件具有更高的耐磨性和更低的摩擦, 因为耐磨表面 46 的更平滑的表面粗糙度消除或防止两个表面之间的润滑剂边界层的突破, 从而在使用中减少或消除摩擦至接近零水平和 / 或热。图 8 所描绘的实施方式可进一步修正, 使得两个接触面都是调幅合金并且一个或两个接触面可包含润滑组合物 50。

[0070] 现参考图 9 和 10, 经由高能滑动磨损测试, 使用负荷和速度高达大约 106PSI-feet/min PV (压力 × 速度) 以模拟大约 500 个起飞或着陆周期, 确定不同材料 / 润滑剂示例的平均峰值和峰值温度 (° F)。平均峰值增量和峰值温度通过图表在图 9 和图 10 中分别示出。比较实施例 70 表示研磨为 7-8 微英寸 Ra (测量的粗糙度情况的算数平均值) 的传统铝 - 镍 - 青铜耐磨材料 / 磨耗表面, 其采用达到约 230° F 的平均峰值温度增量的极端磨损油脂 (例如, ROYCO 11MS<sup>®</sup> 油脂)。比较实施例 74 表示与研磨为 7-8 微英寸 Ra 的磨耗表面结合的铜 - 镍 - 锡耐磨材料, 其采用达到大约 140° F 的平均峰值温度增量的包含油脂 (例如, BRAYCOTE 3214<sup>®</sup> 油脂) 的硼添加剂。实施例 80 表示本公开的实施方式, 其中铜 - 镍 - 锡耐磨材料与研磨为小于 3 微英寸 Rq、30 微英寸 Rmax、和 20 微英寸 Rz 的磨耗表面结合, 其采用达到大约 10° F 的平均峰值温度增量和小于约 0.01 $\mu$  至约 10<sup>-3</sup> $\mu$  的摩擦系数的含硼油脂 (例如, BRAYCOTE 3214<sup>®</sup> 油脂)。因此, 含锡调幅合金 / 具有小于 3 微英寸的测量的表面粗糙度的磨耗表面 / 包含对锡具有亲合力的添加剂的润滑剂例如含硼添加剂的结合, 提供轴承系统的改进性能、超级润滑的特性、接近零摩擦的系统。

[0071] 使用与套管材料结合的上述润滑剂组合物减少或消除了至少一些飞行器的粗糙跑道问题。该实现解决了已耗费飞机制造商及其用户大量费用和时间分配的二十多年的问题。本公开的其它应用包括其在吊桥 / 平旋桥、以及其它极低摩擦轴承中的使用——其中改变为本公开的系统可大大减少操作所述系统需要的摩擦。

[0072] 获得上述说明和相关的附图给出的教导的益处的本公开所属领域技术人员可以想到本公开的许多修改和其它实施方式。因此, 应当理解, 本公开不限于所公开的具体实施方式, 并且旨在将修改和其它实施方式包含在所附权利要求的范围内。例如, 本公开的教导, 即轴承组件部件 20, 其具有相对薄的润滑剂组合物 50 和耐磨材料的规定的平均表面粗糙度, 其以结合的方式用于轴承组件的内部构件和外部构件之间限定的空间中, 可应用于除需要较低摩擦轴承的航空航天工业外的许多工业。此外, 本公开的教导可应用于范围广泛的应用, 包括将所述组合应用到螺母和螺栓组合, 或类似的应用。虽然本文采用特定术语, 但它们仅用于一般和描述性意义而不是为了限制性的目的。

[0073] 进一步, 本公开包括根据下列条款的实施方式。

[0074] 条款 1. 轴承组件, 包括: 由包括锡的合金形成的耐磨表面; 经配置在使用过程中

被耐磨表面接触的磨耗材料,磨耗材料具有平滑表面;以及包含对锡具有亲合力的一种或多种添加剂的润滑剂组合物。

[0075] 条款 2. 根据条款 1 所述的轴承组件,其中耐磨表面或磨耗材料是调幅合金。

[0076] 条款 3. 根据条款 2 所述的轴承组件,其中调幅合金包括铜、镍和锡。

[0077] 条款 4. 根据条款 1 所述的轴承组件,其中耐磨表面具有操作耐磨表面,该操作耐磨表面具有测量的小于 3 微英寸 ( $\mu\text{in}$ ) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 ( $R_q$ ),和 / 或小于 30 $\mu\text{in}$  至大约 0 的最大表面粗糙度 ( $R_{\text{max}}$ ) 和 / 或小于 20 $\mu\text{in}$  至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 ( $R_z$ )。

[0078] 条款 5. 根据条款 4 所述的轴承组件,其中耐磨材料具有初始耐磨表面,该初始耐磨表面具有测量的大于 3 微英寸 ( $\mu\text{in}$ ) 的均方根表面粗糙度 ( $R_q$ ),和 / 或大于 30 $\mu\text{in}$  的最大表面粗糙度 ( $R_{\text{max}}$ ) 和 / 或大于 20 $\mu\text{in}$  的平均最大高度表面粗糙度 ( $R_z$ ),其中初始表面在负荷下通过操作转换为操作表面。

[0079] 条款 6. 根据条款 1 所述的轴承组件,其中磨耗材料具有平滑表面,该平滑表面具有测量的小于 3 微英寸 ( $\mu\text{in}$ ) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 ( $R_q$ ),和 / 或小于 30 $\mu\text{in}$  至大约 0 的最大表面粗糙度 ( $R_{\text{max}}$ ) 和 / 或小于 20 $\mu\text{in}$  至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 ( $R_z$ )。

[0080] 条款 7. 根据条款 6 所述的轴承组件,其中  $R_q$  小于 1.5 $\mu\text{in}$ 。

[0081] 条款 8. 根据条款 1 所述的轴承组件,其中一种或多种添加剂包括硼或硼酸盐。

[0082] 条款 9. 根据条款 1 所述的轴承组件,其中磨耗材料的至少一部分表面包括碳化钨或硬铬。

[0083] 条款 10. 组件,包括:相对于彼此可移动的一对构件,该对构件包括限定其二者之间的空间的第一构件和第二构件,第一构件或第二构件的至少一个是包含铜、镍和锡的调幅合金;并且第一构件或第二构件的至少一个具有测量的小于 3 微英寸 ( $\mu\text{in}$ ) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 ( $R_q$ ),和 / 或小于 30 $\mu\text{in}$  至大约 0 的最大表面粗糙度 ( $R_{\text{max}}$ ) 和 / 或小于 20 $\mu\text{in}$  至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 ( $R_z$ );并且润滑剂组合物设置在该空间中,润滑剂组合物包含一种或多种硼或硼酸盐添加剂。

[0084] 条款 11. 用于起落架组件中的转向架枢轴接头的轴承组件,该轴承组件包括:限定其内开口的金属转向架组件;可旋转地设置在转向架组件的开口中的销,该销具有测量的小于 3 微英寸 ( $\mu\text{in}$ ) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 ( $R_q$ ),和 / 或小于 30 $\mu\text{in}$  至大约 0 的最大表面粗糙度 ( $R_{\text{max}}$ ) 和 / 或小于 20 $\mu\text{in}$  至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 ( $R_z$ );以及由包括锡的调幅合金组成的转向架枢轴套管,该转向架枢轴套管至少部分设置在由转向架组件限定的开口中,转向架枢轴套管具有接近销的内表面,使得在转向架枢轴套管内表面和销之间限定有空间,销或转向架枢轴套管的至少一个表面具有润滑剂组合物的涂层,该润滑剂组合物包含占据在枢轴套管和销之间限定的空间的硼和硼酸盐添加剂。

[0085] 条款 12. 提供轴承组件的超级润滑性能的方法,其包括:将包含对锡具有亲合力的一种或多种添加剂的润滑剂组合物与磨耗表面或耐磨表面的至少一个表面接触,该磨耗表面经配置在使用期间被耐磨表面接触,该磨耗表面具有平滑表面,并且该耐磨表面由包括锡的合金形成。

[0086] 条款 13. 根据条款 12 的所述的方法,还包括提供,作为耐磨表面或磨耗表面的调幅合金,该调幅合金包含铜、镍和锡。

[0087] 条款 14. 根据条款 12 所述的方法,包括提供具有平滑表面的磨耗表面,该平滑表面具有测量的小于 3 微英寸 (uin) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 (Rq),和 / 或小于 30uin 至大约 0 的最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或小于 20uin 至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz)。

[0088] 条款 15. 根据条款 12 所述的方法,还包括提供具有初始耐磨表面的耐磨表面,该初始耐磨表面具有测量的大于 3 微英寸 (uin) 的均方根表面粗糙度 (Rq),和 / 或大于 30uin 最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或大于 20uin 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz),该方法还包括在负荷下通过操作将初始耐磨表面破坏成操作耐磨表面,该操作耐磨表面具有测量的小于 3 微英寸 (uin) 至大约 0 的均方根表面粗糙度 (Rq),和 / 或小于 30uin 至大约 0 的最大表面粗糙度 (Rmax) 和 / 或小于 20uin 至大约 0 的平均最大高度表面粗糙度 (Rz)。

[0089] 条款 16. 根据条款 12 所述的方法,包括提供一种或多种硼或硼酸盐添加剂作为对锡具有亲合力的一种或多种添加剂。

[0090] 条款 17. 根据条款 12 所述的方法,还包括提供具有包括碳化钨或硬铬的表面的磨耗材料。

[0091] 条款 18. 根据条款 12 所述的方法,还包括提供具有测量的小于 1.5 微英寸 (uin) 的均方根表面粗糙度 (Rq) 的磨耗材料。

[0092] 条款 19. 根据条款 12 所述的方法,还包括对航天飞行器的部件配置轴承组件。

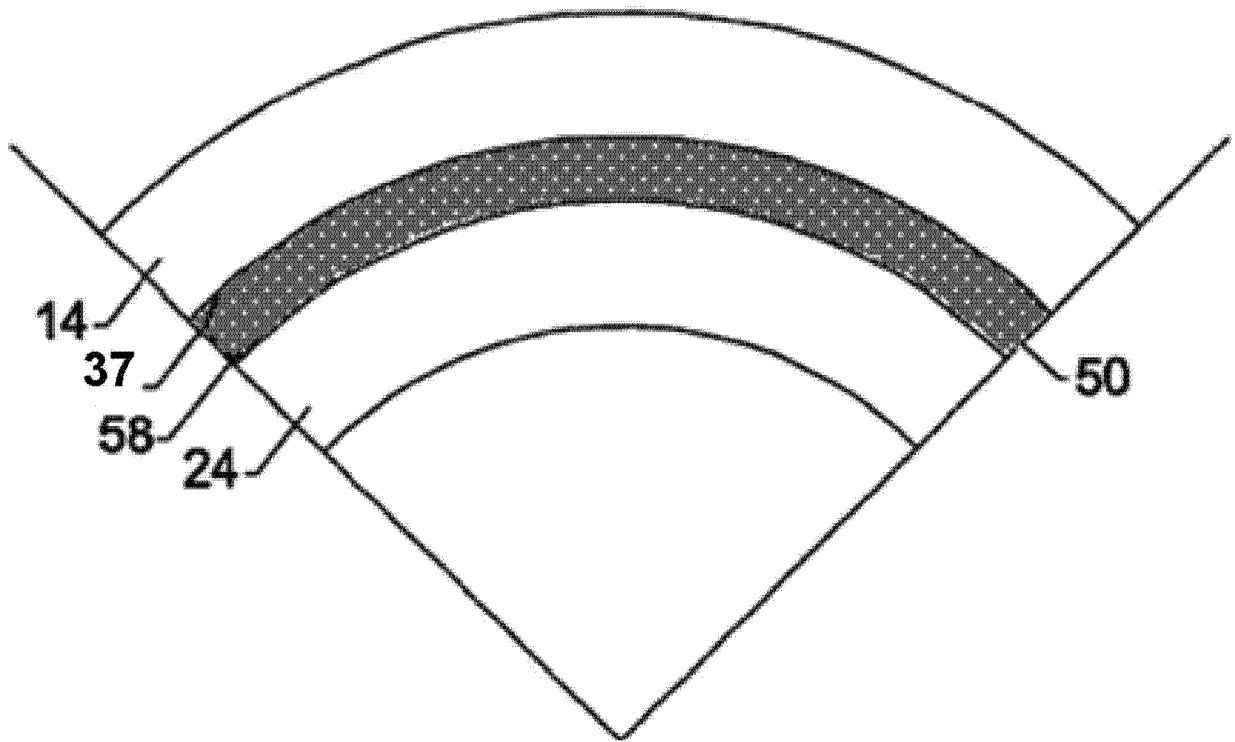


图 1



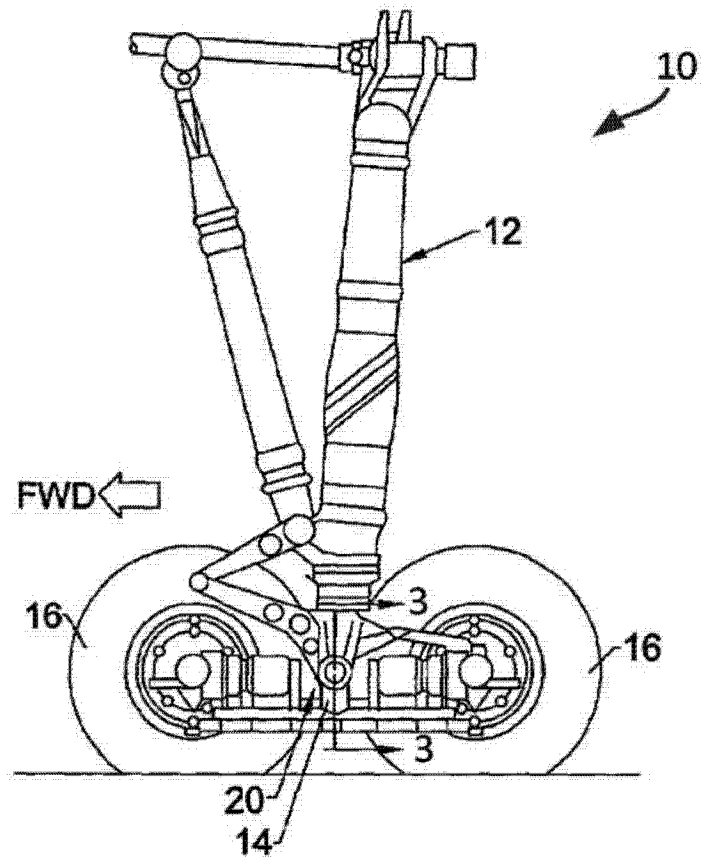


图 2

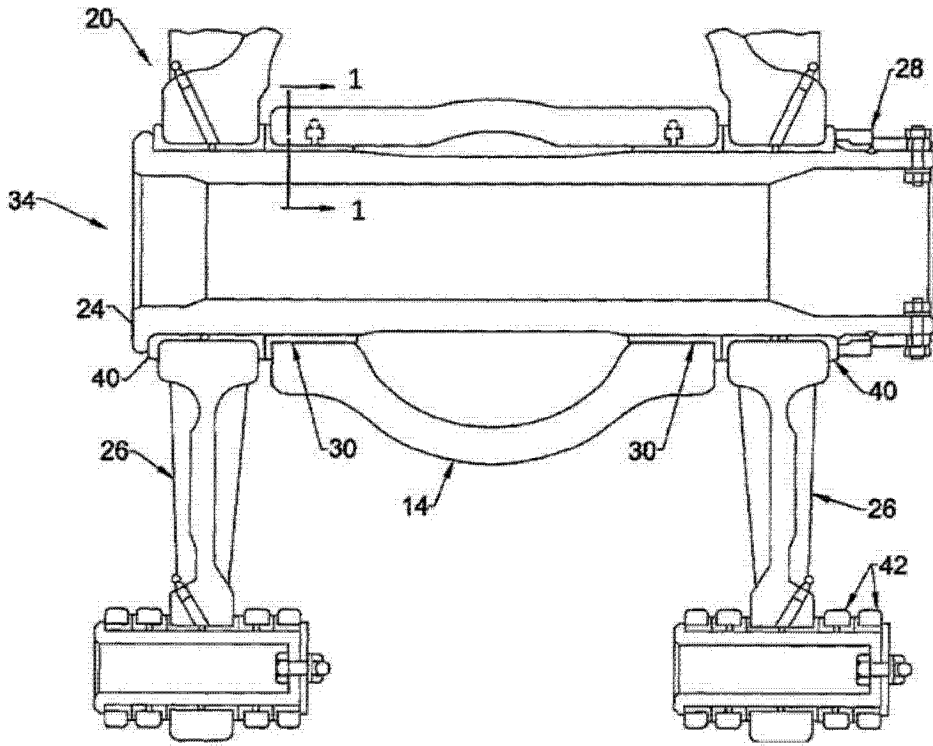


图 3

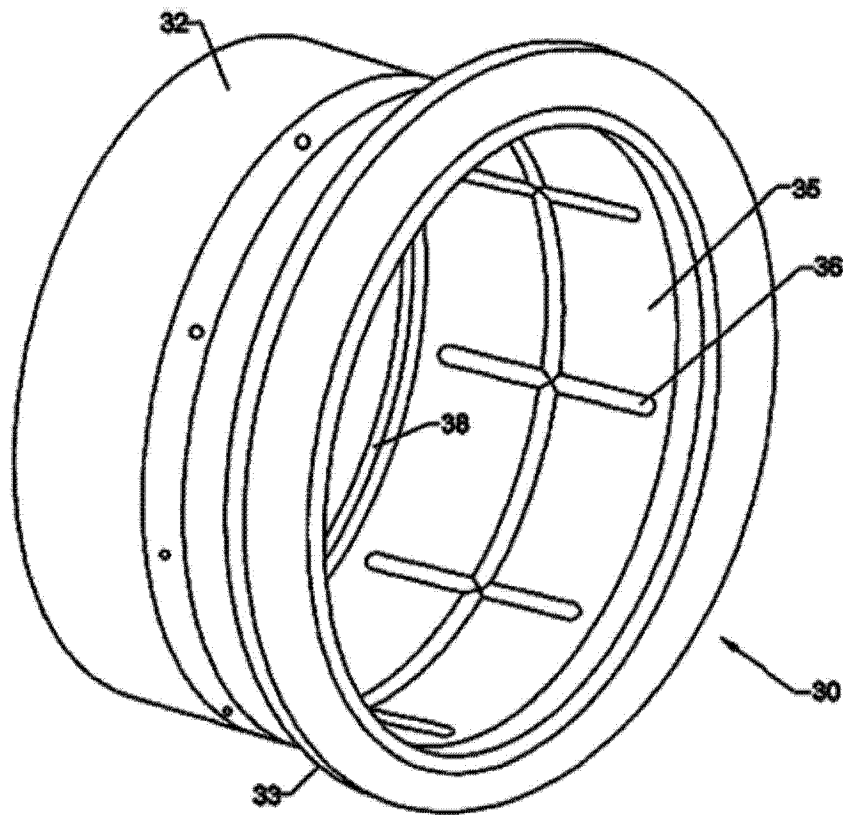


图 4

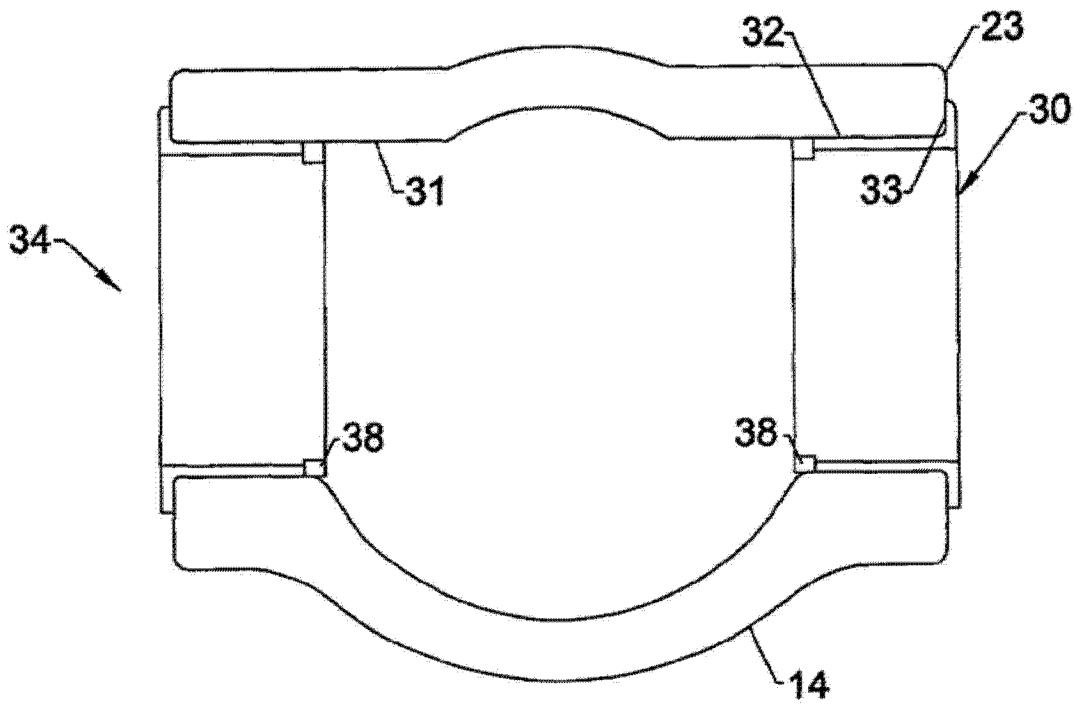


图 5

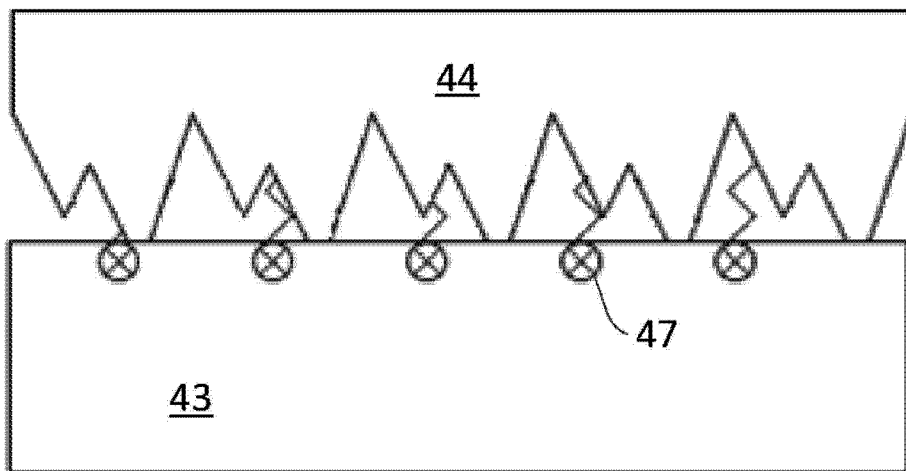


图 6

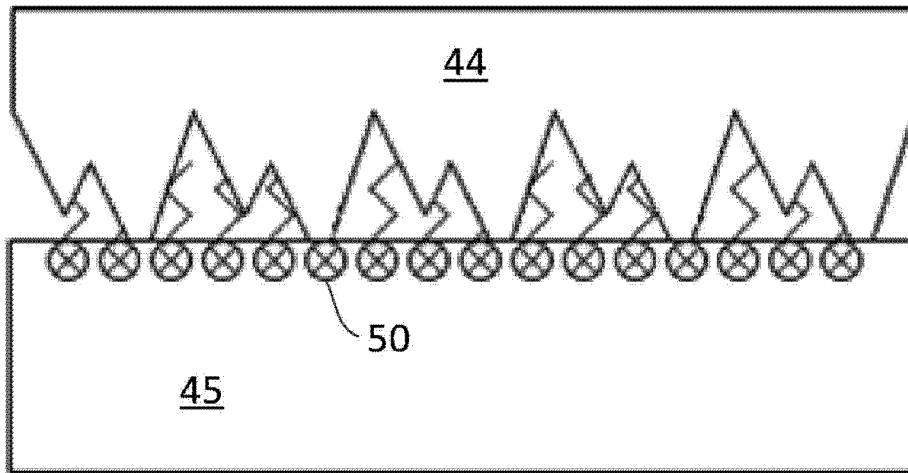


图 7

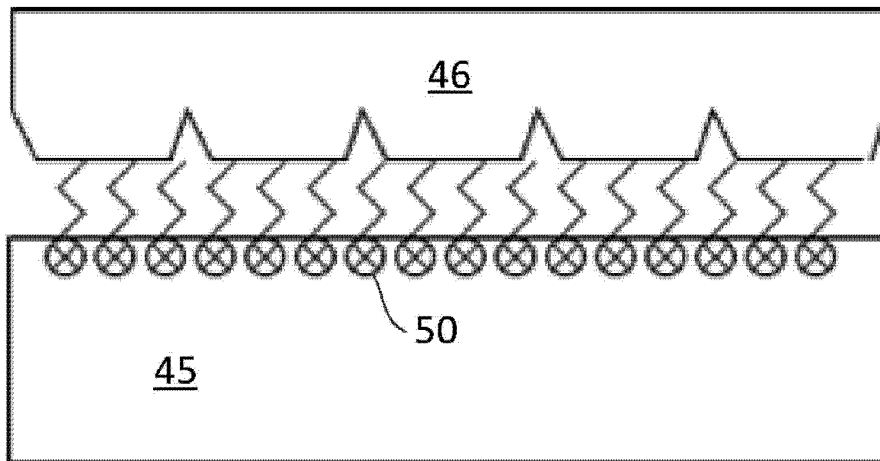


图 8

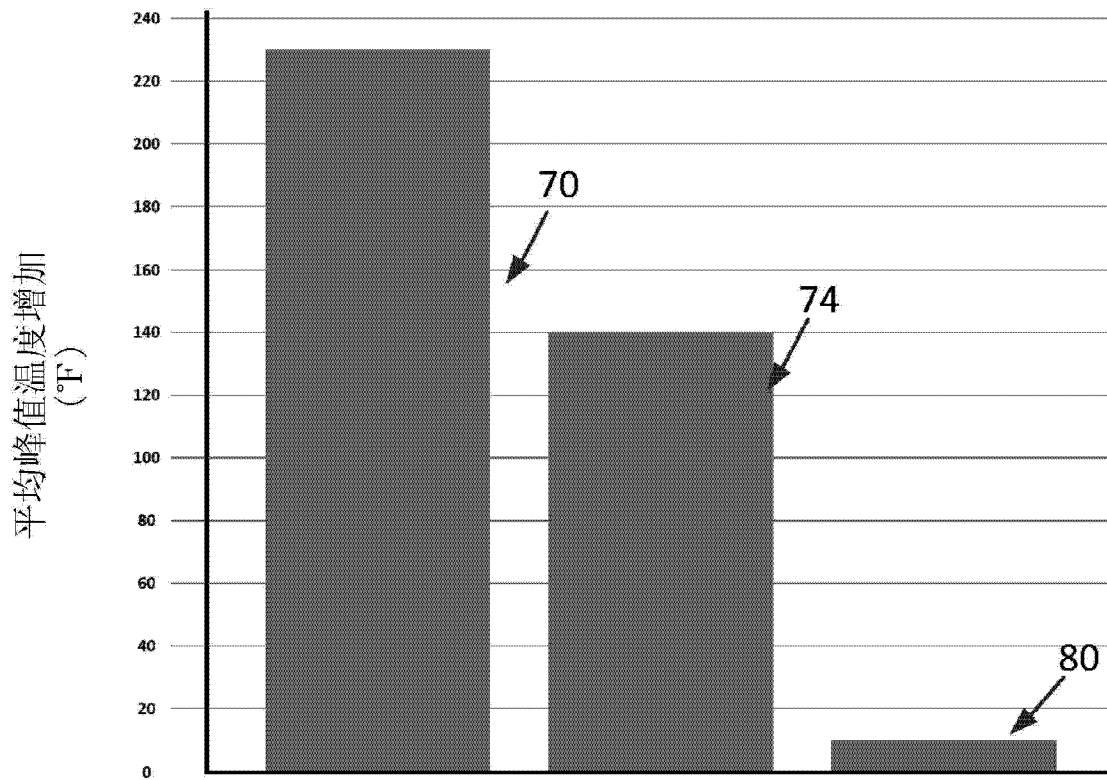


图 9

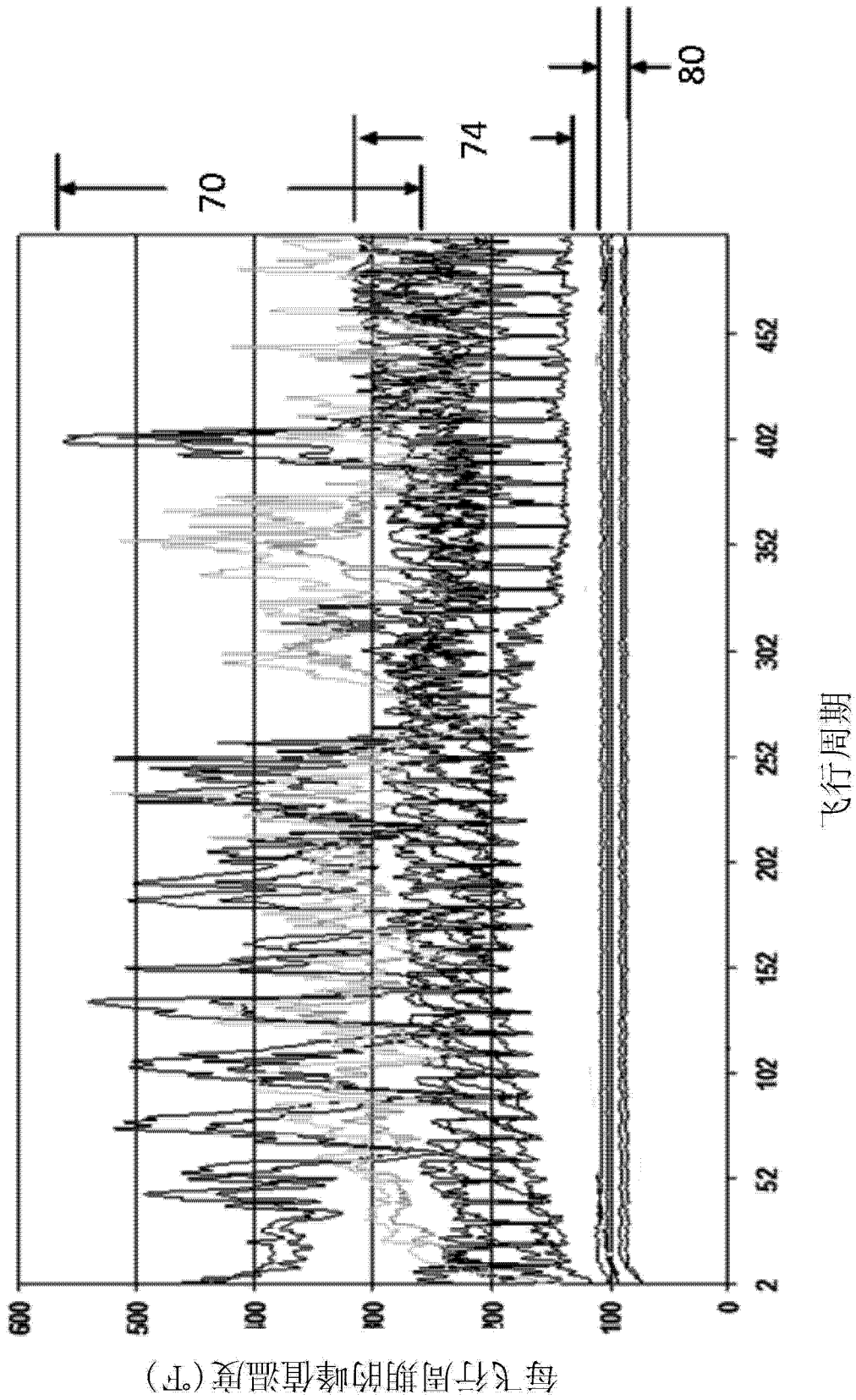


图 10