



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112424450 A

(43) 申请公布日 2021.02.26

(21) 申请号 201980047079.4

(22) 申请日 2019.07.03

(30) 优先权数据

1811549.3 2018.07.13 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.01.13

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2019/067853 2019.07.03

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2020/011618 EN 2020.01.16

(71) 申请人 劳斯莱斯股份有限公司

地址 英国伦敦

(72) 发明人 里卡多·佩林

(74) 专利代理机构 上海弼兴律师事务所 31283

代理人 薛琦 高晓莉

(51) Int.Cl.

F01D 21/04 (2006.01)

F01D 25/24 (2006.01)

F04D 29/52 (2006.01)

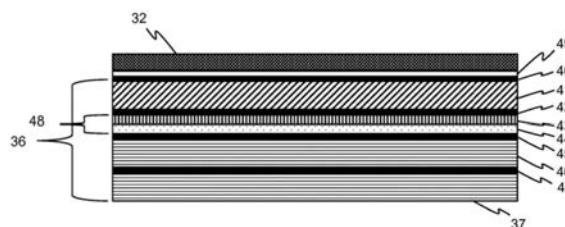
权利要求书2页 说明书22页 附图7页

(54) 发明名称

风扇轨道衬里

(57) 摘要

一种制造用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的方法,所述方法包括通过增材制造装置将纤维增强聚合物材料沉积到旋转心轴上以形成彼此一体的多孔撞击结构和支撑子层压件。



1. 一种制造用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的方法,所述方法包括:通过增材制造装置将纤维增强聚合物材料沉积到旋转心轴上,以形成彼此一体的多孔撞击结构和支撑子层压件。

2. 一种制造用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的方法,所述方法包括:通过增材制造装置将纤维增强聚合物材料沉积到风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件的内侧表面上、例如风扇容纳壳或风扇容纳预成型件的粘合剂涂覆的内侧表面上,以形成彼此一体的多孔撞击结构和支撑子层压件;并且可选地,在存在的情况下,使所述风扇轨道衬里预成型件和/或所述风扇容纳壳预成型件固化。

3. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,进一步包括:为所述风扇轨道衬里或所述风扇轨道衬里预成型件提供或制作数字模型;以及使用所述数字模型控制所述增材制造装置而使纤维增强聚合物材料沉积,以形成所述多孔撞击结构和所述支撑子层压件。

4. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:在形成在旋转心轴上的风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件周围铺叠风扇容纳壳预成型件;并且使所述风扇容纳壳预成型件固化,并且可选地,在存在的情况下,使所述风扇轨道衬里预成型件固化。

5. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,使所述纤维增强聚合物材料沉积包括使纤维增强聚合物材料沉积,以形成所述风扇轨道衬里或所述风扇轨道衬里预成型件的第一部分,并且所述方法进一步包括:

通过施加编织增强纤维片层和增强纤维毡层,在所述风扇轨道衬里或所述风扇轨道衬里预成型件的第一部分上形成防弹屏障层;以及

通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积在所述防弹屏障层上和周围,以形成所述风扇轨道衬里或所述风扇轨道衬里预成型件的第二部分,从而将所述防弹屏障层封装在所述风扇轨道衬里或所述风扇轨道衬里预成型件的第一部分与第二部分之间;以及

可选地,使所述风扇轨道衬里预成型件固化。

6. 一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里,所述风扇轨道衬里包括彼此一体地由纤维增强聚合物材料形成的多孔撞击结构和支撑子层压件,其中,所述风扇轨道衬里进一步包括防弹屏障,所述防弹屏障包括编织增强纤维片层和增强纤维毡层。

7. 根据权利要求6所述的风扇轨道衬里,其中,所述多孔撞击结构是蜂窝结构。

8. 根据权利要求6或权利要求7所述的风扇轨道衬里,其中,所述多孔撞击结构和所述支撑子层压件通过增材制造而彼此一体地形成。

9. 根据权利要求6至8中任一项所述的风扇轨道衬里,其中,所述纤维增强聚合物材料包括由以下材料中的一种或多种制成的增强纤维:碳、芳纶聚合物、超高分子量聚乙烯、PBO。

10. 根据权利要求6至9中任一项所述的风扇轨道衬里,包括两个多孔撞击结构,两个所述多孔撞击结构通过由支撑子层压件形成的隔膜层而彼此分开,并且可选地,其中,两个所述多孔撞击结构具有不同的泡孔密度。

11. 根据权利要求6至10中任一项所述的风扇轨道衬里,包括两个支撑面板子层压件,其中一个所述支撑面板子层压件形成所述风扇轨道衬里的内侧面,而另一个所述支撑面板子层压件形成所述风扇轨道衬里的外侧面,从而形成夹层结构,在所述夹层结构中所述多孔撞击结构位于两个所述支撑面板子层压件之间。

12. 一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置,所述风扇容纳布置包括风扇容纳壳以及根据权利要求6至11中任一项所述的风扇轨道衬里。

13. 一种数字设计模型,用于根据权利要求6至11中任一项所述的风扇轨道衬里。

14. 一种计算机程序,包括使增材制造装置执行根据权利要求1至5中任一项所述的方法和/或制作根据权利要求6至11中任一项所述的风扇轨道衬里的指令。

15. 一种非暂时性计算机可读介质,其存储根据权利要求13所述的数字设计模型和/或根据权利要求14所述的计算机程序。

16. 一种数据载波信号,其承载根据权利要求13所述的数字设计模型和/或根据权利要求14所述的计算机程序。

17. 一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里,所述风扇轨道衬里包括嵌入式防弹屏障,所述嵌入式防弹屏障包括编织增强纤维片层和增强纤维毡层,其中,可选地,所述编织增强纤维片层设置在所述增强纤维毡层外侧。

18. 根据权利要求17所述的风扇轨道衬里,进一步包括多孔撞击结构。

19. 根据权利要求18所述的风扇轨道衬里,包括两个多孔撞击结构,两个所述多孔撞击结构通过包括所述防弹屏障的隔膜层而彼此分开。

20. 根据权利要求17至19中任一项所述的风扇轨道衬里,其中,所述编织增强纤维片层和所述增强纤维毡层均包括由以下材料中的一种或多种制成的增强纤维:碳、芳纶聚合物、超高分子量聚乙烯、PBO。

21. 一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置,所述风扇容纳布置包括风扇容纳壳以及根据权利要求17至20中任一项所述的风扇轨道衬里。

22. 一种制造用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里的方法,所述方法包括:

例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积,以形成风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分;

通过施加编织增强纤维片层和增强纤维毡层,在所述风扇轨道衬里或所述风扇轨道衬里预成型件的第一部分上形成防弹屏障层;以及

例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积在所述防弹屏障层上和周围,以形成所述风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第二部分,从而将所述防弹屏障层包封在所述风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分与第二部分之间;以及,

可选地,使所述风扇轨道衬里预成型件固化。

风扇轨道衬里

技术领域

[0001] 本公开内容涉及风扇轨道衬里以及制造风扇轨道衬里的方法。

背景技术

[0002] 燃气涡轮发动机包括风扇,该风扇具有位于发动机前方的风扇叶片。风扇可以容纳在风扇容纳壳中。在运行期间的故障事件中,风扇叶片中的一个可能会从风扇上折断并撞击风扇容纳壳。这通常称为风扇叶片脱落(FBO)事件。在涡轮发动机风扇失去叶片后,由于风扇撞击,风扇容纳壳上的负载远高于正常飞行条件下承受的负载。在发动机停机期间(通常约为几秒钟),由于FBO的撞击所造成的损坏,裂纹可以在风扇容纳壳中迅速蔓延,这可能会导致容纳失效。

[0003] 通常在风扇容纳壳的内侧表面上设置风扇轨道衬里。风扇轨道衬里可以包括一层或多层比如蜂窝铝或泡沫铝等多孔材料,其可以被夹在支撑纤维增强层压件层之间并与其结合。风扇轨道衬里被设计成在FBO事件期间吸收撞击叶片的一些能量。

[0004] 包括与风扇容纳壳结合的风扇轨道衬里的风扇容纳布置的制造可能是复杂且耗时的。还已经观察到,复合风扇轨道衬里在固化时(例如,当与风扇容纳壳结合时)具有结构变形的趋势。实际上,风扇轨道衬里在风扇容纳布置的最终固化的时候收缩还可能导致周围的风扇容纳壳的结构扭曲。

发明内容

[0005] 根据第一方面,提供了一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里,该风扇轨道衬里包括彼此一体地由纤维增强聚合物材料形成的多孔撞击结构和支撑子层压件。

[0006] 由于多孔撞击结构和支撑子层压件是彼此一体地由纤维增强聚合物材料形成的,所以多孔撞击结构的热行为(即多孔撞击结构响应于加热和/或冷却的行为)可以基本上与支撑子层压件的热行为相同。例如,可能的情况是多孔撞击结构和支撑子层压件在加热或冷却时相对均匀地膨胀或收缩。可能的情况是多孔撞击结构(即形成多孔撞击结构的材料)的热膨胀系数与支撑子层压件(即形成支撑子层压件的材料)的热膨胀系数相似(例如相同)。可能的情况是热膨胀系数在整个多孔撞击结构和支撑子层压件上基本上是均匀的。例如,可能的情况是多孔撞击结构的热膨胀系数至多比支撑子层压件的热膨胀系数大10%(例如,至多5%、或至多3%、或至多1%),并且至多比支撑子层压件的热膨胀系数小10%(例如至多小5%、或至多小3%、或至多小1%)。因此,可以使风扇轨道衬里在加热或冷却时(例如,在固化循环期间)的结构扭曲减小(例如最小化)。

[0007] 多孔撞击结构可以是蜂窝结构。蜂窝结构可以包括在泡孔壁之间形成的多个泡孔。这些泡孔可以是基本上中空的。蜂窝结构可以被描述为至少部分地包封多个泡孔(例如,基本上中空的泡孔)的相连的泡孔壁的网状物。泡孔壁相对于泡孔尺寸可以是薄的。例如,泡孔壁的厚度可以不大于特征泡孔尺寸(例如,泡孔宽度)的10%(例如,不大于5%、或

不大于1%)。泡孔壁的厚度相对于多孔撞击结构也可以是薄的。这些泡孔可以规则地布置在网格上。这些泡孔可以是柱状的。这些泡孔可以是柱状的并且被布置成基本上彼此平行,即,使得每个柱状泡孔的纵向轴线基本上平行于各个其他柱状泡孔的纵向轴线。

[0008] 蜂窝结构可以呈六边形蜂窝结构。蜂窝结构可以包括横截面为六边形的柱状泡孔。蜂窝结构可以是膨胀的蜂窝结构(即“过度膨胀的”蜂窝结构)、增强的六边形蜂窝结构(即,通过附加泡孔壁增强的主要为六边形的蜂窝结构)或矩形蜂窝结构。蜂窝结构可以包括泡孔壁的周期性重复图案。重复图案可以是规则的。重复图案可以是分层的。重复图案可以形成具有两个或更多个、或三个或更多个、或四个或更多个泡孔形状不同的泡孔。

[0009] 多孔撞击结构的密度可以不大于约 $200\text{kg}/\text{m}^3$,例如,不大于约 $180\text{kg}/\text{m}^3$ 、或不大于约 $160\text{kg}/\text{m}^3$ 、或不大于约 $150\text{kg}/\text{m}^3$ 。多孔撞击结构的密度可以不小于约 $10\text{kg}/\text{m}^3$,例如,不小于约 $25\text{kg}/\text{m}^3$ 、或不小于约 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 。多孔撞击结构的密度可以从约 $10\text{kg}/\text{m}^3$ 至约 $200\text{kg}/\text{m}^3$,例如,从约 $25\text{kg}/\text{m}^3$ 至约 $180\text{kg}/\text{m}^3$ 、或从约 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 至约 $160\text{kg}/\text{m}^3$ 、或从约 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 至约 $150\text{kg}/\text{m}^3$ 。

[0010] 多孔撞击结构的相对密度R可以被定义为

$$[0011] \quad R = \frac{\rho^*}{\rho}$$

[0012] 其中, ρ^* 是多孔撞击结构的密度,并且 ρ 为形成多孔撞击结构(即多孔撞击结构壁)的固体材料(即纤维增强聚合物材料)的密度。多孔撞击结构的相对密度R可以不大于约0.5,例如,不大于约0.4、或不大于约0.3、或不大于约0.2。

[0013] 可能的情况是多孔撞击结构的平均泡孔直径(即泡孔尺寸)不大于约20mm,例如不大于约15mm、或不大于约10mm、或不大于约7mm。可能的情况是多孔撞击结构的平均泡孔直径不小于约0.1mm,例如,不小于约1mm、或不小于约2mm、或不小于约3mm。可能的情况是多孔撞击结构的平均泡孔直径是从约0.1mm至约20mm,例如,从约1mm至约15mm、或从约1mm至约10mm、或从约3mm至约10mm。

[0014] 对于具有蜂窝结构的多孔撞击结构(该蜂窝结构具有柱状泡孔壁),最大平面内泡孔直径可以被定义为是在通过垂直于泡孔壁的泡孔的截面上测得的相对的泡孔壁之间的最大直线距离。对于具有蜂窝结构的多孔撞击结构(该蜂窝结构具有柱状泡孔壁),最小平面内泡孔直径可以被定义为是在通过垂直于泡孔壁的泡孔的截面上测得的相对的泡孔壁之间的最小直线距离。

[0015] 可能的情况是多孔撞击结构的最大平面内泡孔直径不大于约20mm,例如,不大于约15mm、或不大于约10mm、或不大于约7mm。可能的情况是多孔撞击结构的最大平面内泡孔直径不小于约0.1mm,例如,不小于约1mm、或不小于约2mm、或不小于约3mm。可能的情况是多孔撞击结构的最大平面内泡孔直径是从约0.1mm至约20mm,例如,从约1mm至约15mm、或从约1mm至约10mm、或从约3mm至约10mm。

[0016] 可能的情况是多孔撞击结构的最小平面内泡孔直径不大于约20mm,例如,不大于约15mm、或不大于约10mm、或不大于约7mm。可能的情况是多孔撞击结构的最小平面内泡孔直径不小于约0.1mm,例如,不小于约1mm、或不小于约2mm、或不小于约3mm。可能的情况是多孔撞击结构的最小平面内泡孔直径是从约0.1mm至约20mm,例如,从约1mm至约15mm、或从约1mm至约10mm、或从约5mm至约10mm。

[0017] 多孔撞击结构可以包括基本上中空的泡孔。可能的情况是多孔撞击结构中的大部

分(例如,全部)泡孔是基本上中空的。

[0018] 可能的情况是多孔撞击结构中的一些、例如大部分(例如,全部)泡孔填充有气体。例如,可能的情况是多孔撞击结构中的一些、例如大部分(例如,全部)泡孔填充有空气。可能的情况是多孔撞击结构的泡孔中的至少一些(例如,大部分或基本上全部)是气体填充的泡孔,例如,空气填充的泡孔。

[0019] 支撑子层压件可以是固体的。支撑子层压件可以是纤维增强聚合物材料的固体层。支撑子层压件可以是固体纤维增强聚合物材料的整体板件。

[0020] 支撑子层压件可以包括增强纤维的基本上二维的(例如,平面的)布置。应当理解,尽管风扇轨道衬里的形状通常是弯曲的(例如,环形的或圆柱形的),但是可以局部地(即在切向上)限定增强纤维布置在其中的二维平面。例如,增强纤维可以沿着风扇轨道衬里轴向地布置,或者围绕风扇轨道衬里的圆周布置,或者沿所述轴向取向或周向取向中间的方向进行布置。然而,增强纤维通常不沿径向方向或具有实质径向分量的方向对齐。

[0021] 支撑子层压件可以是基本上单向的,即,支撑子层压件中的增强纤维可以主要在相同的方向上取向。可替代地,支撑子层压件可以是多轴的,即支撑子层压件中的增强纤维可以被布置成纤维取向不同的两层或更多层。例如,支撑子层压件可以包括第一层和第二层,其中,在第一层中,增强纤维主要在第一方向上取向,并且其中,在第二层中,增强纤维在与第一方向不同的第二方向上取向。

[0022] 风扇轨道衬里可以包括防弹屏障。防弹屏障可以被构造成在使用时使撞击抛射物(比如在FBO事件期间的撞击风扇叶片)减速并且减小撞击抛射物穿透周围的风扇容纳壳的可能性。

[0023] 防弹屏障可以包括一个或多个增强纤维片层。

[0024] 防弹屏障可包括编织增强纤维片层。应当理解,编织增强纤维片层是由增强纤维编织的通过使经纱和纬纱增强纤维以重复图案交织而成的织物片层。编织增强纤维片层可以具有以下编织物中的一种或多种:平纹、斜纹、段纹、席纹、纱罗、充纱罗。编织增强纤维片层可以为防弹屏障提供强度。

[0025] 防弹屏障可以包括增强纤维毡层。应当理解,增强纤维毡是由随机取向和/或消光的增强纤维形成的纺织物。增强纤维毡可以由连续或不连续的(例如,长的或短切的)增强纤维形成。增强纤维毡层可以改善防弹屏障在抛射物撞击时吸收能量的能力。增强纤维毡层还可以在撞击抛射物的尖锐边缘周围形成柔化毯,从而有效地钝化那些尖锐边缘。

[0026] 防弹屏障可以包括编织增强纤维片层和增强纤维毡层。增强纤维毡层可以设置在编织增强纤维片层的内侧。编织增强纤维片层和增强纤维毡层可以彼此直接接触。可替代地,编织增强纤维片层和增强纤维毡层可以彼此间隔开。可以在编织增强纤维片层和增强纤维毡层之间设置气隙。在比如风扇叶片等抛射物撞击时,增强纤维毡层可以吸收撞击能量并且使撞击抛射物的尖锐边缘柔化,从而使抛射物减速并降低抛射物穿透编织增强纤维片层的可能性。

[0027] 防弹屏障可以包括多于一个编织增强纤维片层。防弹屏障可以包括多于一层的增强纤维毡。风扇轨道衬里可以包括多于一个的防弹屏障。

[0028] 防弹屏障可以被嵌入风扇轨道衬里内。防弹屏障或至少增强纤维毡层可以被周围的材料完全包封。防弹屏障(特别是增强纤维毡层)的包封可以减少增强纤维毡层对水分的

吸收。

[0029] 多孔撞击结构和支撑子层压件可以通过增材制造而彼此一体地形成。应当理解，术语“增材制造”是指用于构建三维部件结构的计算机控制的材料沉积，并且可以与通过机械加工来顺序地去除材料以得到所需部件结构的“减材制造”形成对比。增材制造有时可以被称为“3D打印”。

[0030] 增材制造包含被称为“熔融沉积成型”(FDM)或“熔丝制造”(FFF)的方法，其中通过附加地分层施加材料来制造部件，通常是通过经由挤出机头进送塑料或金属丝，以将熔融材料沉积到基材上。因此，多孔撞击结构和支撑子层压件可以通过熔融沉积成型或熔丝制造而彼此一体地形成。

[0031] 多孔撞击结构和支撑子层压件可以通过增材制造(例如，FDM或FFF)而彼此一体地形成，使得形成多孔撞击结构的材料与形成支撑子层压件的材料相连续。

[0032] 多孔撞击结构和支撑子层压件可以通过增材制造(例如，FDM或FFF)而彼此一体地形成，使得在多孔撞击结构与支撑子层压件之间不存在可辨别的界面(例如，在对通过风扇轨道衬里剖切的截面进行观察时)。

[0033] 多孔撞击结构和支撑子层压件可以通过增材制造(例如，FDM或FFF)而彼此一体地形成，使得增强纤维在多孔撞击结构与支撑子层压件之间延伸。

[0034] 应当理解，纤维增强聚合物材料通常包括悬置在聚合物基质材料中的增强纤维。

[0035] 聚合物基质材料可以是热塑性聚合物(即热塑性件)。可替代地，聚合物基质材料可以是热固性聚合物(即热固性件)。

[0036] 聚合物基质材料可以包括以下材料中的一种或多种(例如，由以下材料的一种或多种组成)：环氧胶(即环氧树脂)、聚酯、乙烯基酯、聚酰胺(例如，脂族或半芳香族聚酰胺，例如尼龙)、聚丙烯酯、聚碳酸酯、丙烯腈丁二烯苯乙烯、聚醚醚酮(PEEK)、聚醚酰亚胺(PEI)。

[0037] 纤维增强聚合物材料可以包括碳增强纤维。纤维增强聚合物材料可以是碳纤维增强聚合物(CFRP)。

[0038] 纤维增强聚合物材料可以包括芳纶(即芳香族聚酰胺)增强纤维。纤维增强聚合物材料可以包括对位芳纶增强纤维。例如，纤维增强聚合物材料可以包括由聚对亚苯基对苯二甲酰胺(Kevlar®)或对苯二甲酰对苯二胺(Twaron®)形成的增强纤维。

[0039] 纤维增强聚合物材料可以包括由热固性液晶聚恶唑形成的增强纤维。例如，纤维增强聚合物材料可以包括由聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑(PBO或Zylon®)形成的增强纤维。

[0040] 纤维增强聚合物材料可以包括由聚乙烯、例如超高分子量聚乙烯(UHMWPE)形成的增强纤维。UHMWPE的分子量可以从约350万amu至约750万amu。

[0041] 因此，可能的情况是纤维增强聚合物材料包括由以下项中的一种或多种制成的增强纤维：碳、芳纶聚合物(例如，比如聚对亚苯基对苯二甲酰胺或对苯二甲酰对苯二胺等对位芳纶聚合物)、超高分子量聚乙烯、热固性液晶聚恶唑(例如，聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑)。

[0042] 纤维增强聚合物材料可以包括连续的增强纤维。纤维增强聚合物材料可以包括不连续的(例如，短切的)增强纤维。

[0043] 多孔撞击结构和支撑子层压件可以由相同的纤维增强聚合物材料彼此一体地形成。

成(例如,增材制造在一起)。

[0044] 多孔撞击结构和支撑子层压件可以彼此一体地由相同的纤维增强聚合物材料形成(例如,增材制造在一起),使得多孔撞击结构的热膨胀系数和支撑子层压件的热膨胀系数基本上相同。例如,可能的情况是热膨胀系数在整个多孔撞击结构和支撑子层压件上的变化不大于10%,例如,不大于5%、或不大于3%、或不大于1%。可能的情况是热膨胀系数在整个风扇轨道衬里上的变化不大于10%,例如,不大于5%、或不大于3%、或不大于1%。

[0045] 编织增强纤维片层可以包括增强纤维(例如,由增强纤维编织),该增强纤维由以下材料中的一种或多种制成:碳、芳纶聚合物(例如,比如聚对亚苯基对苯二甲酰胺或对苯二甲酰对苯二胺等对位芳纶聚合物)、超高分子量聚乙烯、热固性液晶聚恶唑(例如,聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑)。

[0046] 增强纤维毡可以包括由以下材料中的一种或多种制成的增强纤维:碳、芳纶聚合物(例如,比如聚对亚苯基对苯二甲酰胺或对苯二甲酰对苯二胺等对位芳纶聚合物)、超高分子量聚乙烯、热固性液晶聚恶唑(例如,聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑)。

[0047] 风扇轨道衬里可以包括所述多孔撞击结构中的两个或更多个。各个多孔撞击结构可以通过相对应的隔膜层而彼此分开。各个隔膜层可以由支撑子层压件形成。一个或多个隔膜层(例如,各个隔膜层)可以包括防弹屏障。一个或多个隔膜层(例如,各个隔膜层)可以由防弹屏障形成。

[0048] 可能的情况是多孔撞击结构中的一些或每一个都具有不同的泡孔密度。可能的情况是多孔撞击结构中的一些或每一个都具有不同的泡孔几何形状。

[0049] 例如,风扇轨道衬里可以包括两个多孔撞击结构。风扇轨道衬里可以包括通过隔膜层彼此分开的两个多孔撞击结构。隔膜层可以由支撑子层压件形成。隔膜层可以包括防弹屏障。隔膜层可以由防弹屏障形成。

[0050] 可能的情况是两个多孔撞击结构具有不同的泡孔密度。可能的情况是两个多孔撞击结构包括外侧多孔撞击结构和内侧多孔撞击结构,其中,外侧多孔撞击结构的泡孔密度低于内侧多孔撞击结构的泡孔密度。

[0051] 可能的情况是两个多孔撞击结构具有不同的泡孔几何形状。可能的情况是多孔撞击结构中的一个或两个是呈最佳角度的多孔撞击结构。可能的情况是外侧多孔撞击结构是呈最佳角度的多孔撞击结构。可能的情况是呈最佳角度的多孔撞击结构的泡孔壁被布置为在FBO事件期间与风扇叶片的预估路径对齐。

[0052] 可能的情况是两个多孔撞击结构都具有蜂窝结构。可能的情况是外侧多孔撞击结构具有呈最佳角度的蜂窝结构。

[0053] 风扇轨道衬里可以包括支撑面板子层压件。支撑面板子层压件可以形成风扇轨道衬里的内侧面。支撑面板子层压件可以形成风扇轨道衬里的外侧面。支撑面板子层压件可以与纤维增强聚合物材料的多孔撞击结构和/或支撑子层压件一体地形成(例如,增材制造)。支撑面板子层压件可以是与纤维增强聚合物材料的多孔撞击结构一体地形成的支撑子层压件。

[0054] 风扇轨道衬里可以包括两个支撑面板子层压件。两个支撑面板子层压件中的一个可以形成风扇轨道衬里的内侧面。两个支撑面板子层压件中的另一个可以形成风扇轨道衬里的外侧面。两个支撑面板子层压件可以一起形成夹层结构,在该夹层结构中多孔撞击结

构位于两个支撑面板子层压件之间。两个支撑面板子层压件可以与纤维增强聚合物材料的多孔撞击结构和/或支撑子层压件一体地形成(例如,增材制造)。两个支撑面板子层压件中的一个可以是与纤维增强聚合物材料的多孔撞击结构一体地形成的支撑子层压件。例如,风扇轨道衬里可以包括多孔撞击结构、支撑子层压件(其是第一支撑面板子层压件)、以及另一支撑子层压件(其是第二支撑面板子层压件),第一支撑面板子层压件和第二支撑面板子层压件形成夹层结构,其中多孔撞击结构位于第一支撑面板子层压件与第二支撑面板子层压件之间,其中多孔撞击结构、第一支撑面板子层压件和第二支撑面板子层压件由纤维增强聚合物材料彼此一体地形成(例如,被增材制造在一起)。

[0055] 风扇轨道衬里可以进一步包括耐磨结构。耐磨结构可以位于风扇轨道衬里的最内侧面上。耐磨结构可以位于最内侧的支撑面板子层压件上。耐磨结构可以被构造成在喷气式发动机运行期间通过风扇叶片的运动而被磨损,以使风扇容纳布置与风扇叶片之间具有紧密配合,并且使风扇叶片尖端周围的空气泄漏最小化。所制成的耐磨结构具有多孔结构,即耐磨结构可以是多孔耐磨结构。多孔耐磨结构可以具有泡沫结构。多孔耐磨结构可以具有蜂窝结构。多孔耐磨结构可以与多孔撞击结构和/或支撑子层压件和/或多个支撑面板子层压件中的一个支撑面板子层压件一体地由纤维增强聚合物材料形成(例如,一起增材制造)。

[0056] 可能的情况是风扇轨道衬里的大部分由(即相同的)纤维增强聚合物材料形成。可能的情况是风扇轨道衬里的质量的至少50%,例如至少60%、或至少70%、或至少80%、或至少90%、或至少95%由(即相同的)纤维增强聚合物材料组成。可能的情况是风扇轨道衬里的材料体积的至少50%,例如至少60%、或至少70%、或至少80%、或至少90%、或至少95%由(即相同的)纤维增强聚合物材料组成。

[0057] 可能的情况是整个风扇轨道衬里由(即相同的)纤维增强聚合物材料形成。可替代地,可能的情况是除了防弹屏障之外,整个风扇轨道衬里由(即相同的)纤维增强聚合物材料形成。

[0058] 风扇容纳布置可以包括风扇容纳壳和风扇轨道衬里。风扇容纳壳可以被构造成成为风扇轨道衬里提供结构支撑。

[0059] 风扇轨道衬里可以用作风扇撞击衬里,即风扇轨道衬里可以是风扇撞击衬里。风扇容纳布置可以进一步包括声音抑制衬里。声音抑制衬里可以设置在风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)的前方或后方。风扇容纳布置可以包括两个声音抑制衬里,一个声音抑制衬里设置在风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)的前方,而另一个声音抑制衬里设置在风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)的后方。

[0060] 该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里都可以例如通过增材制造由纤维增强聚合物材料形成。该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里可以由纤维增强聚合物材料例如通过增材制造与风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)一体地形成。该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里都可以包括由纤维增强聚合物材料例如通过增材制造而彼此一体地形成的多孔共振结构和一个或多个支撑子层压件。多孔共振结构可以具有蜂窝结构。

[0061] 根据第二方面,提供了一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置,该风扇容纳布置包括风扇容纳壳以及根据本发明的第一方面的风扇轨道衬里。

[0062] 风扇容纳壳可以被构造成成为风扇轨道衬里提供结构支撑。

[0063] 风扇轨道衬里可以设置在风扇容纳壳的内侧表面上。风扇轨道衬里可以安装在风扇容纳壳的内侧表面上。风扇轨道衬里可以粘附或粘结到风扇容纳壳的内侧表面上。风扇轨道衬里可以与风扇容纳壳一体地形成,例如与风扇容纳壳一体地形成在内侧上。

[0064] 风扇轨道衬里可以用作风扇容纳布置中的风扇撞击衬里,即风扇轨道衬里可以是风扇撞击衬里。风扇容纳布置可以进一步包括声音抑制衬里。声音抑制衬里可以设置在风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)的前方或后方。风扇容纳布置可以包括两个声音抑制衬里,一个声音抑制衬里设置在风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)的前方,而另一个声音抑制衬里设置在风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)的后方。

[0065] 该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里都可以例如通过增材制造由纤维增强聚合物材料形成。该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里可以由纤维增强聚合物材料例如通过增材制造与风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)一体地形成。该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里都可以包括由纤维增强聚合物材料例如通过增材制造而彼此一体地形成的多孔共振结构和一个或多个支撑子层压件。多孔共振结构可以具有蜂窝结构。

[0066] 风扇容纳壳可以沿其轴向范围包括前方部分、中间部分以及后方部分。当风扇容纳壳安装在燃气涡轮发动机中时,风扇容纳壳的轴向范围可以对应于风扇的轴向位置。前方部分和后方部分可以比中间部分薄。前方部分和后方部分中的每一者的厚度可以随着远离中间部分的远离而减小。风扇轨道衬里可以在中间部分中设置在风扇容纳壳的内侧表面上。风扇轨道衬里可以选择性地位于风扇容纳壳的内侧表面上、在风扇容纳壳的被构造成包围风扇的部分处。在FBO事件期间,风扇轨道衬里可以选择性地位于风扇叶片的预估路径中。风扇轨道衬里可以选择性地位于风扇容纳壳的内侧表面上、在撞击区域处(即在FBO事件期间最有可能受到风扇叶片撞击的至少一个撞击区域处)。

[0067] 根据第三方面,提供了一种制造用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的方法,该方法包括:通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成彼此一体的多孔撞击结构和支撑子层压件。该方法可以是制造根据第一方面的风扇轨道衬里的方法和/或制造用于根据第一方面的风扇轨道衬里的风扇轨道衬里预成型件的方法。

[0068] 该方法可以包括通过增材制造装置沉积纤维增强聚合物材料以形成多于一个多孔撞击结构、例如两个多孔撞击结构。该方法可以包括通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成多于一个支撑子层压件。该方法可以包括通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成一个或多个支撑面板子层压件、例如两个支撑面板子层压件。该方法可以包括通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以在多孔撞击结构之间形成一个或多个隔膜层。该方法可以包括通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成耐磨结构、例如多孔耐磨结构。

[0069] 尤其是与最常用的制造风扇轨道衬里的方法(涉及单独形成风扇轨道衬里的各个部件层、然后将这些部件层组装并粘结在一起以形成风扇轨道衬里的)相比,使用增材制造装置显著地减少了制作风扇轨道衬里所需的制造时间。

[0070] 增材制造装置包含熔融沉积成型(FDM)或熔丝制造(FFF)装置。FDM或FFF装置可以包括挤出机头。挤出机头可以被加热。FDM或FFF装置可以包括用于将一根或多根材料丝送入并穿过挤出机头的器件,例如被构造成将一根或多根材料丝拉入并穿过挤出机头的马

达。施加到穿过挤出机头的一根或多根材料丝的热量和压力可能会使材料的至少一部分转变为液态,从而允许熔融材料受控地沉积到基材上。

[0071] 为了使纤维增强聚合物材料沉积,可能的情况是增材制造装置(例如,FDM或FFF装置)接收纤维增强聚合物材料作为输入。纤维增强聚合物材料可以例如通过以下方法制备:将增强纤维和聚合物(例如,以聚合物粒料的形式)在混合器中混合,并且将所得混合物挤出以形成适用于在例如FDM或FFF装置中使用的纤维增强聚合物材料丝。在这样的实施例中,由增材制造装置接收的纤维增强聚合物材料的丝和/或由增材制造装置沉积的纤维增强聚合物材料可以包括不连续的(例如,短切的)增强纤维。

[0072] 可替代地,可能的情况是增材制造装置(例如,FDM或FFF装置)接收增强纤维和聚合物作为单独输入。例如,增材制造装置可以接收聚合物丝和增强纤维丝(例如,连续的增强纤维丝)。可能的情况是在增材制造装置的挤出机头内将聚合物丝和增强纤维丝一起加热而导致增强纤维丝与聚合物浸渍。在这样的实施例中,通过增材制造装置沉积的纤维增强聚合物材料可以包括不连续的或连续的增强纤维。可以使用类似的方法来使包括增强纤维纱线的纤维增强聚合物材料沉积。允许使用连续纤维增强聚合物材料进行增材制造的方法的示例可以在以下文献中找到:“Three-dimensional printing of continuous-fiber composites by in-nozzle impregnation[通过喷嘴内浸渍进行连续纤维复合材料的三维打印]”,R.Matsuzaki等人,Scientific Reports 6[科学报告6],文章编号:23058(2016),该文章在此通过援引将其全部内容并入本文。这样的方法还可以提供对沉积的增强纤维的取向的控制。

[0073] 在另一替代方案中,可能的情况是增材制造装置(例如,FDM或FFF装置)接收包含嵌入聚合物中的连续增强纤维丝(例如聚合物涂覆的连续增强纤维丝)作为单个输入。

[0074] 沉积的纤维增强聚合物材料可以包括热塑性聚合物(即热塑性)基质材料。可替代地,沉积的纤维增强聚合物材料可以包括热固性聚合物(即热固性)基质材料。增材制造装置可以接收热塑性聚合物或热固性聚合物作为输入。

[0075] 基质材料可以包括以下材料中的一种或多种(例如由其组成):环氧胶(即环氧树脂)、聚酯、乙烯基酯、聚酰胺(例如,脂族或半芳香族聚酰胺,例如尼龙)、聚丙烯交酯、聚碳酸酯、丙烯腈丁二烯苯乙烯、聚醚醚酮(PEEK)、聚醚酰亚胺(PEI)。增材制造装置可以接收以下材料中的一种或多种,例如包括以下材料中的一种或多种材料的丝作为输入:环氧胶(即环氧树脂)、聚酯、乙烯基酯、聚酰胺(例如,脂族或半芳香族聚酰胺,例如尼龙)、聚丙烯交酯、聚碳酸酯、丙烯腈丁二烯苯乙烯、聚醚醚酮(PEEK)、聚醚酰亚胺(PEI)。

[0076] 纤维增强聚合物材料可以包括碳增强纤维。纤维增强聚合物材料可以是碳纤维增强聚合物(CFRP)。

[0077] 纤维增强聚合物材料可以包括芳纶(即芳香族聚酰胺)增强纤维。纤维增强聚合物材料可以包括对位芳纶增强纤维。例如,纤维增强聚合物材料可以包括由聚对亚苯基对苯二甲酰胺(Kevlar®)或对苯二甲酰对苯二胺(Twaron®)形成的增强纤维。

[0078] 纤维增强聚合物材料可以包括由热固性液晶聚恶唑形成的增强纤维。例如,纤维增强聚合物材料可以包括由聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑(PBO或Zylon®)形成的增强纤维。

[0079] 纤维增强聚合物材料可以包括由聚乙烯、例如超高分子量聚乙烯(UHMWPE)形成的

增强纤维。UHMWPE的分子量可以是从约350万amu至约750万amu。

[0080] 因此,可能的情况是纤维增强聚合物材料包括由以下项中的一种或多种制成的增强纤维:碳、芳纶聚合物(例如,比如聚对亚苯基对苯二甲酰胺或对苯二甲酰对苯二胺等对位芳纶聚合物)、超高分子量聚乙烯、热固性液晶聚恶唑(例如,聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑)。增材制造装置可以接收以下材料中的一种或多种增强纤维(例如包括以下材料中的一种或多种材料的增强纤维的丝)作为输入:碳、芳纶聚合物(例如,比如聚对亚苯基对苯二甲酰胺或对苯二甲酰对苯二胺等对位芳纶聚合物)、超高分子量聚乙烯、热固性液晶聚恶唑(例如,聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑)。

[0081] 纤维增强聚合物材料可以包括连续的增强纤维。纤维增强聚合物材料可以包括不连续的(例如,短切的)增强纤维。增材制造装置可以接收连续增强纤维作为输入。增材制造装置可以接收不连续的(例如,短切的)增强纤维作为输入。增材制造装置可以接收增强纤维纱线作为输入。

[0082] 该方法可以包括在相同的连续过程中使纤维增强聚合物材料沉积以形成多孔撞击结构和支撑子层压件。

[0083] 该方法可以包括使相同的纤维增强聚合物材料沉积以形成多孔撞击结构和支撑子层压件(和/或多于一个多孔撞击结构、多于一个支撑子层压件、一个或多个支撑面板子层压件、一个或多个隔膜层、或耐磨结构中的任一者)。使相同的纤维增强聚合物材料沉积以形成所述结构可以简化并加速制造过程。使相同的纤维增强聚合物材料沉积以形成所述结构还可以导致热膨胀系数在风扇轨道衬里的大多数层(例如所有层)中是有效均匀的。因此,风扇轨道衬里可以响应于温度的变化而均匀地膨胀或收缩,从而导致在任何固化或粘结过程中风扇轨道衬里的结构扭曲的减小(例如最小化)。在仍然存在任何结构扭曲的情况下,这些扭曲通常是更可预测的,并且通常简化了风扇轨道衬里的热响应的建模。

[0084] 该方法可以包括为风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件提供或产生数字模型。可以以比如增材制造文件(AMF)或立体光刻(STL)文件等计算机辅助设计(CAD)文件的形式来提供数字模型。

[0085] 该方法可以包括使用数字模型来控制增材制造装置。该方法可以包括使用数字模型控制增材制造装置而使纤维增强聚合物材料沉积以形成多孔撞击结构和支撑子层压件。例如,该方法可以包括控制器,该控制器使用数字模型控制增材制造装置以使纤维增强聚合物材料沉积以形成多孔撞击结构和支撑子层压件。

[0086] 控制器可以包括处理器(与存储计算机可执行程序代码的存储器进行电子通信),该处理器被构造成(例如被编程)以使用数字模型来控制增材制造装置以使纤维增强聚合物材料沉积以形成多孔撞击结构和支撑子层压件。

[0087] 通过该方法形成的风扇轨道衬里可以是风扇撞击衬里。该方法可以包括通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成多孔共振结构和一个或多个支撑子层压件,该多孔共振结构和该一个或多个支撑子层压件彼此一体地形成以形成声音抑制衬里。多孔共振结构可以具有蜂窝结构。该方法可以包括通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成与风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)一体地形成的声音抑制衬里。该方法可以包括通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成多于一个所述声音抑制衬里,该声音抑制衬里与风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)一体地形成。

[0088] 该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里都可以例如通过增材制造由纤维增强聚合物材料形成。该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里可以由纤维增强聚合物材料例如通过增材制造与风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)一体地形成。该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里都可以包括由纤维增强聚合物材料例如通过增材制造而彼此一体地形成的多孔共振结构和一个或多个支撑子层压件。

[0089] 该方法可以包括将纤维增强聚合物材料沉积到工具上。该方法可以包括将纤维增强聚合物材料沉积到心轴上。心轴可以是可旋转的。该方法可以包括将纤维增强聚合物材料沉积到旋转心轴上。

[0090] 增材制造装置可以包括可移动地安装在机架上的一个或多个挤出机头。机架可以定位在心轴上方。该方法可以包括:将机架定位在心轴上方;旋转心轴;以及使纤维增强聚合物材料(即通过一个或多个挤出机头)沉积在旋转心轴上以形成多孔撞击结构和支撑子层压件。在纤维增强聚合物材料包括热固性聚合物的实施例中,该方法可以进一步包括例如通过(例如,在高压釜中)施加热和/或压力来使纤维增强聚合物材料固化。

[0091] 可替代地,该方法可以包括将纤维增强聚合物材料沉积到风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件的内侧表面上。该方法可以包括使纤维增强聚合物材料沉积在风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件的粘合剂涂覆的内侧表面上。

[0092] 增材制造装置可以包括安装在可移动臂上的一个或多个挤出机头。该方法可以包括:将臂定位在风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件内部;并且将纤维增强聚合物材料(即通过一个或多个挤出机头)沉积到风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件的内侧表面上。该方法可以包括在沉积期间使风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件围绕臂进行运动(例如,旋转)。可替代地,该方法可以包括在沉积期间使臂在风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件的内部四处移动。

[0093] 根据第四方面,提供了一种制造用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的方法,该方法包括:通过根据第三方面的方法在旋转心轴上形成风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件;在形成在旋转心轴上的风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件周围铺叠风扇容纳壳预成型件;并且使风扇容纳壳预成型件固化,并且可选地,使风扇轨道衬里预成型件(如果存在)固化。

[0094] 例如,该方法可以包括:通过根据第三方面的方法在旋转心轴上形成风扇轨道衬里;在形成在旋转心轴上的风扇轨道衬里周围铺叠风扇容纳壳预成型件;并且使风扇容纳壳预成型件固化。可替代地,该方法可以包括:通过根据第三方面的方法在旋转心轴上形成风扇轨道衬里预成型件;在形成在旋转心轴上的风扇轨道衬里预成型件周围铺叠风扇容纳壳预成型件;并且使风扇容纳壳预成型件和风扇轨道衬里预成型件(例如,同时)固化。

[0095] 尤其是与最常用的形成风扇容纳布置的方法(涉及将风扇轨道衬里的多个不同的层组装并粘结在一起,将风扇容纳壳的多个不同的层铺叠并固化,并且将风扇轨道衬里粘结到风扇容纳壳)相比,通过在形成在旋转心轴上的风扇轨道衬里周围形成风扇容纳壳,可以减少制造风扇容纳布置所需的总制造时间。

[0096] 根据第五方面,提供了一种制造用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的方法,该方法包括:提供风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件;并且通过根据第三方面的方法在风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件的内侧表面(例如,粘合剂涂覆的内侧表面)上形成风扇轨道

衬里或风扇轨道衬里预成型件;并且可选地,使风扇轨道衬里预成型件和/或风扇容纳壳预成型件(如果存在)固化。

[0097] 例如,该方法可以包括:提供风扇容纳壳;并且通过根据第三方面的方法在风扇容纳壳的内侧表面(例如,粘合剂涂覆的内侧表面)上形成风扇轨道衬里。可替代地,该方法可以包括:提供风扇容纳壳;通过根据第三方面的方法在风扇容纳壳的内侧表面(例如,粘合剂涂覆的内侧表面)上形成风扇轨道衬里预成型件;并且使风扇轨道衬里预成型件固化。在另一替代方案中,该方法可以包括:提供风扇容纳壳预成型件;通过根据第三方面的方法在风扇容纳壳预成型件的内侧表面(例如,粘合剂涂覆的内侧表面)上形成风扇轨道衬里预成型件;并且使风扇轨道衬里预成型件和风扇容纳壳预成型件固化。

[0098] 尤其是与最常用的形成风扇容纳布置的方法(涉及将风扇轨道衬里的多个不同的层组装并粘结在一起,将风扇容纳壳的多个不同的层铺叠并固化,并且将风扇轨道衬里粘结到风扇容纳壳)相比,通过直接在风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件的内侧表面上形成风扇轨道衬里,可以减少制造风扇容纳布置所需的总制造时间。

[0099] 根据第六方面,提供了一种用于根据第一方面的风扇轨道衬里的数字设计模型。可以以比如增材制造文件(AMF)或立体光刻(STL)文件等计算机辅助设计(CAD)文件的形式来提供数字模型。

[0100] 根据第七方面,提供了一种非暂时性计算机可读介质,其存储根据第六方面的数字设计模型。

[0101] 根据第八方面,提供了一种数据载波信号,其承载根据第六方面的数字设计模型。

[0102] 根据第九方面,提供了一种计算机程序,其包括使增材制造装置执行根据第三方面的方法和/或制作根据第一方面的风扇轨道衬里的指令。例如,可能的情况是增材制造装置包括计算机(例如,控制器中的处理器)或与计算机进行电子通信,并且计算机程序包括指令,这些指令在通过计算机(例如,通过处理器)执行该程序时使增材制造装置执行根据第三方面的方法和/或制作根据第一方面的风扇轨道衬里。

[0103] 根据第十方面,提供一种存储根据第九方面的计算机程序的非暂时性计算机可读介质。

[0104] 根据第十一方面,提供了一种承载有根据第九方面的计算机程序的数据载波信号。

[0105] 根据第十二方面,提供了一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里,该风扇轨道衬里包括嵌入式防弹屏障,该嵌入式防弹屏障包括编织增强纤维片层和增强纤维毡层。

[0106] 防弹屏障以被构造成在使用时使撞击抛射物(比如在FBO事件期间的撞击风扇叶片)减速并且减小撞击抛射物穿透周围的风扇容纳壳的可能性。

[0107] 应当理解,编织增强纤维片层是由增强纤维编织的通过使经纱和纬纱增强纤维以重复图案交织而成的织物片层。编织增强纤维片层可以具有以下编织物中的一种或多种:平纹、斜纹、段纹、席纹、纱罗、充纱罗。编织增强纤维片层可以为防弹屏障提供强度。

[0108] 还应当理解,增强纤维毡是由随机取向和/或消光的增强纤维形成的纺织物。增强纤维毡可以由连续或不连续的(例如,长的或短切的)增强纤维形成。增强纤维毡层可以改善防弹屏障在抛射物撞击时吸收能量的能力。增强纤维毡层还可以在撞击抛射物的尖锐边

缘周围形成柔化毯,从而有效地钝化那些尖锐边缘。

[0109] 增强纤维毡层可以设置在编织增强纤维片层的内侧。编织增强纤维片层和增强纤维毡层可以彼此直接接触。可替代地,编织增强纤维片层和增强纤维毡层可以彼此间隔开。可以在编织增强纤维片层和增强纤维毡层之间设置气隙。在比如风扇叶片等抛射物撞击时,增强纤维毡层可以吸收撞击能量并且使撞击抛射物的尖锐边缘柔化,从而使抛射物减速并降低抛射物穿透编织增强纤维片层的可能性。

[0110] 防弹屏障可以包括多于一个编织增强纤维片层。防弹屏障可以包括多于一层的增强纤维毡。风扇轨道衬里可以包括多于一个防弹屏障。

[0111] 风扇轨道衬里可以包括支撑子层压件。风扇轨道衬里可以包括多于一个支撑子层压件。

[0112] 风扇轨道衬里可以包括支撑面板子层压件。支撑面板子层压件可以形成风扇轨道衬里的内侧面。支撑面板子层压件可以形成风扇轨道衬里的外侧面。

[0113] 风扇轨道衬里可以包括多孔撞击结构。风扇轨道衬里可以包括多孔撞击结构中的两个或更多个。各个多孔撞击结构可以通过相对应的隔膜层而彼此分开。各个隔膜层可以由支撑子层压件形成。隔膜层中的一个可以包括防弹屏障。隔膜层中的一个可以由防弹屏障形成。

[0114] 例如,风扇轨道衬里可以包括两个多孔撞击结构。风扇轨道衬里可以包括通过隔膜层彼此分开的两个多孔撞击结构。隔膜层可以由支撑子层压件形成。隔膜层可以包括防弹屏障。隔膜层可以由防弹屏障形成。

[0115] 可能的情况是两个多孔撞击结构具有不同的泡孔密度。可能的情况是两个多孔撞击结构包括外侧多孔撞击结构和内侧多孔撞击结构,其中,外侧多孔撞击结构的泡孔密度低于内侧多孔撞击结构的泡孔密度。

[0116] 可能的情况是两个多孔撞击结构具有不同的泡孔几何形状。可能的情况是多孔撞击结构中的一个或两个是呈最佳角度的多孔撞击结构。可能的情况是外侧多孔撞击结构是呈最佳角度的多孔撞击结构。可能的情况是呈最佳角度的多孔撞击结构的泡孔壁被布置为在FBO事件期间与风扇叶片的预估路径对齐。

[0117] 可能的情况是两个多孔撞击结构都具有蜂窝结构。可能的情况是多孔撞击结构中的一个或两个都具有蜂窝结构。可能的情况是外侧多孔撞击结构具有呈最佳角度的蜂窝结构。

[0118] 风扇轨道衬里可以包括两个支撑面板子层压件。两个支撑面板子层压件中的一个可以形成风扇轨道衬里的内侧面。两个支撑面板子层压件中的另一个可以形成风扇轨道衬里的外侧面。两个支撑面板子层压件可以一起形成夹层结构,在该夹层结构中多孔撞击结构位于两个支撑面板子层压件之间。两个支撑面板子层压件可以与纤维增强聚合物材料的多孔撞击结构和/或支撑子层压件一体地形成(例如,增材制造)。

[0119] 风扇轨道衬里可以进一步包括耐磨结构。耐磨结构可以位于风扇轨道衬里的最内侧面上。耐磨结构可以位于最内侧的支撑面板子层压件上。耐磨结构可以被构造成在喷气式发动机运行期间通过风扇叶片的运动而被磨损,以使风扇容纳布置与风扇叶片之间具有紧密配合,并且使风扇叶片尖端周围的空气泄漏最小化。所制成的耐磨结构具有多孔结构,即耐磨结构可以是多孔耐磨结构。多孔耐磨结构可以具有泡沫结构。多孔耐磨结构可以具

有蜂窝结构。多孔耐磨结构可以与多孔撞击结构和/或支撑子层压件和/或多个支撑面板子层压件中的一个支撑面板子层压件一体地由纤维增强聚合物材料形成(例如,一起增材制造)。

[0120] 编织增强纤维片层可以包括增强纤维(例如,由增强纤维编织),该增强纤维由以下材料中的一种或多种制成:碳、芳纶聚合物(例如,比如聚对亚苯基对苯二甲酰胺或对苯二甲酰对苯二胺等对位芳纶聚合物)、超高分子量聚乙烯、热固性液晶聚恶唑(例如,聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑)。

[0121] 增强纤维毡可以包括由以下材料中的一种或多种制成的增强纤维:碳、芳纶聚合物(例如,比如聚对亚苯基对苯二甲酰胺或对苯二甲酰对苯二胺等对位芳纶聚合物)、超高分子量聚乙烯、热固性液晶聚恶唑(例如,聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑)。

[0122] 可能的情况是编织增强纤维片层和增强纤维毡层均包括由以下材料中的一种或多种制成的增强纤维:碳、芳纶聚合物(例如,比如聚对亚苯基对苯二甲酰胺或对苯二甲酰对苯二胺等对位芳纶聚合物)、超高分子量聚乙烯、热固性液晶聚恶唑(例如,聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑)。

[0123] 防弹屏障或至少增强纤维毡层可以被周围的材料完全包封。防弹屏障(特别是增强纤维毡层)的包封可以减少增强纤维毡层对水分的吸收。

[0124] 根据第十三方面,提供了一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置,该风扇容纳布置包括风扇容纳壳以及根据第十二方面的风扇轨道衬里。风扇容纳壳可以被构造成为风扇轨道衬里提供结构支撑。

[0125] 风扇轨道衬里可以设置在风扇容纳壳的内侧表面上。风扇轨道衬里可以安装在风扇容纳壳的内侧表面上。风扇轨道衬里可以粘附或粘结到风扇容纳壳的内侧表面上。风扇轨道衬里可以与风扇容纳壳一体地形成,例如与风扇容纳壳一体地形成在内侧上。

[0126] 风扇轨道衬里可以用作风扇容纳布置中的风扇撞击衬里,即风扇轨道衬里可以是风扇撞击衬里。风扇容纳布置可以进一步包括声音抑制衬里。声音抑制衬里可以设置在风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)的前方或后方。风扇容纳布置可以包括两个声音抑制衬里,一个声音抑制衬里设置在风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)的前方,而另一个声音抑制衬里设置在风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)的后方。

[0127] 该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里都可以例如通过增材制造由纤维增强聚合物材料形成。该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里可以由纤维增强聚合物材料例如通过增材制造与风扇轨道衬里(即风扇撞击衬里)一体地形成。该声音抑制衬里或各个声音抑制衬里都可以包括由纤维增强聚合物材料例如通过增材制造而彼此一体地形成的多孔共振结构和一个或多个支撑子层压件。

[0128] 风扇容纳壳可以沿其轴向范围包括前方部分、中间部分以及后方部分。当风扇容纳壳安装在燃气涡轮发动机中时,风扇容纳壳的轴向范围可以对应于风扇的轴向位置。前方部分和后方部分可以比中间部分薄。前方部分和后方部分中的每一者的厚度可以随着远离中间部分的远离而减小。风扇轨道衬里可以在中间部分中设置在风扇容纳壳的内侧表面上。风扇轨道衬里可以选择性地位于风扇容纳壳的内侧表面上、在风扇容纳壳的被构造包围风扇的部分处。在FBO事件期间,风扇轨道衬里可以选择性地位于风扇叶片的预估路径中。风扇轨道衬里可以选择性地位于风扇容纳壳的内侧表面上、在撞击区域处(即在FBO事

件期间最有可能受到风扇叶片撞击的至少一个撞击区域处)。

[0129] 根据第十四方面,提供了一种制造用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里的方法,该方法包括:例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分;通过施加编织增强纤维片层和增强纤维毡层,在风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分上形成防弹屏障层;以及例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积在防弹屏障层上和周围,以形成风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第二部分,从而将防弹屏障层包封在风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分与第二部分之间。该方法可以进一步包括使风扇轨道衬里预成型件固化。

[0130] 例如,该方法可以包括:例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成风扇轨道衬里的第一部分;通过施加编织增强纤维片层和增强纤维毡层,在风扇轨道衬里的第一部分上形成防弹屏障层;以及例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积在防弹屏障层上和周围,以形成风扇轨道衬里的第二部分,从而将防弹屏障层包封在风扇轨道衬里的第一部分与第二部分之间。可替代地,该方法可以包括:例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成风扇轨道衬里预成型件的第一部分;通过施加编织增强纤维片层和增强纤维毡层,在风扇轨道衬里预成型件的第一部分上形成防弹屏障层;例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积在防弹屏障层上和周围,以形成风扇轨道衬里预成型件的第二部分,从而将防弹屏障层包封在风扇轨道衬里预成型件的第一部分与第二部分之间;并且使风扇轨道衬里预成型件固化。

[0131] 使纤维增强聚合物材料沉积以形成风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分或第二部分可以包括例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积,以形成下述中的一个或多个:多孔撞击结构、支撑子层压件、支撑面板子层压件、隔膜层、耐磨结构。

[0132] 该方法可以包括使用本文中关于任何其他方面讨论的增材制造装置或方法或纤维增强聚合物材料(包括组分增强纤维和聚合物基质材料)。

[0133] 编织增强纤维片层和增强纤维毡层通常不是增材制造的。

[0134] 施加编织增强纤维片层可以包括例如通过手工或通过机器来铺叠编织增强纤维片层。例如,施加编织增强纤维片层可以包括围绕风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分缠绕编织增强纤维片层。可替代地,施加编织增强纤维片层可以包括例如使用自动铺带(ATL)工艺来施加编织增强纤维带。

[0135] 施加增强纤维毡层可以包括例如通过手工或通过机器来铺叠增强纤维毡层。例如,施加增强纤维毡层可以包括围绕风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分缠绕增强纤维毡片。

[0136] 该方法可以包括为风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件提供或制作数字模型。可以以比如增材制造文件(AMF)或立体光刻(STL)文件等计算机辅助设计(CAD)文件的形式来提供数字模型。该方法可以包括使用数字模型来控制增材制造装置以使纤维增强聚合物材料沉积,以形成风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分和第二部分。

[0137] 该方法可以包括在工具周围形成风扇轨道衬里。该方法可以包括在心轴周围形成风扇轨道衬里。心轴可以是可旋转的。该方法可以包括在旋转心轴周围形成风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件。可替代地,该方法可以包括在风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型

件的内侧表面、例如粘合剂涂覆的内侧表面上形成风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件。

[0138] 如本文其他地方所指出的,本披露内容可以涉及燃气涡轮发动机。这种燃气涡轮发动机可以包括发动机芯部,该发动机芯部包括涡轮、燃烧器、压缩机和将该涡轮连接到该压缩机的芯轴。这种燃气涡轮发动机可以包括位于发动机芯部的上游的(具有风扇叶片的)风扇。

[0139] 本披露内容的布置可以特别地、但并非排他地有利于经由齿轮箱驱动的风扇。因此,该燃气涡轮发动机可以包括齿轮箱,该齿轮箱接收来自芯轴的输入并将驱动输出至风扇,以便以比芯轴低的旋转速度来驱动风扇。到达齿轮箱的输入可以直接来自芯轴或者例如经由正齿轮轴和/或齿轮而间接地来自芯轴。芯轴可以将涡轮与压缩机刚性地连接,使得涡轮和压缩机以相同的速度旋转(其中,风扇以更低的速度旋转)。

[0140] 如本文所述和/或所要求保护的燃气涡轮发动机可以具有任何合适的通用架构。例如,燃气涡轮发动机可以具有将涡轮与压缩机相连接的任何所需数量的轴,例如一个轴、两个轴或三个轴。仅以举例的方式,连接到芯轴的涡轮可以是第一涡轮,连接到芯轴的压缩机可以是第一压缩机,并且芯轴可以是第一芯轴。发动机芯部还可以包括第二涡轮、第二压缩机、以及将第二涡轮与第二压缩机连接的第二芯轴。第二涡轮、第二压缩机和第二芯轴可以被布置成以比高于第一芯轴的旋转速度旋转。在这种布置中,第二压缩机可以轴向定位在第一压缩机的下游。第二压缩机可以被布置成(例如直接地接收,例如经由大致环形的管道)从第一压缩机接收流。

[0141] 齿轮箱可以被布置成由被构造成(例如,在使用中)以最低旋转速度旋转的芯轴(例如上述示例中的第一芯轴)来驱动。例如,齿轮箱可以被布置成仅由被构造成(例如,在使用中)以最低旋转速度旋转的芯轴(例如,在上面的示例中,仅第一芯轴,而不是第二芯轴)来驱动。可替代地,齿轮箱可以被布置成由任何一个或多个轴驱动,该任何一个或多个轴例如为上述示例中的第一轴和/或第二轴。

[0142] 在如本文所述和/或所要求保护的任意燃气涡轮发动机中,燃烧器可以轴向设置在风扇和(一个或多个)压缩机的下游。例如,在设有第二压缩机的情况下,燃烧器可以直接位于第二压缩机的下游(例如,在其出口处)。以另一示例的方式,在设有第二涡轮的情况下,可以将燃烧器出口处的流提供至第二涡轮的入口。可以将燃烧器设置在(一个或多个)涡轮的上游。

[0143] 该压缩机或每个压缩机(例如,如上所述的第一压缩机和第二压缩机)可以包括任何数量的级(例如,多个级)。每一级可以包括一排转子叶片和一排定子叶片,这些定子叶片可以是可变定子叶片(因为这些定子叶片的入射角可以是可变的)。这排转子叶片和这排定子叶片可以在轴向上彼此偏移。

[0144] 本文中描述和/或要求保护的风扇叶片和/或风扇叶片的翼面部分可以由任何合适的材料或材料组合来制造。例如,风扇叶片和/或翼面的至少一部分可以至少部分地由复合材料来制造,该复合材料例如是金属基质复合材料和/或有机基质复合材料,比如碳纤维。以另一示例的方式,风扇叶片和/或翼面的至少一部分可以至少部分地由比如钛基金属或铝基材料(比如铝锂合金)或钢基材料等金属来制造。风扇叶片可以包括使用不同材料制造的至少两个区域。例如,风扇叶片可以具有保护性前缘,该保护性前缘可以使用比叶片的

其余部分更能抵抗撞击(例如,来自鸟类、冰或其他材料)的材料来制造。这种前缘可以例如使用钛或钛基合金来制造。因此,仅以举例的方式,该风扇叶片可以具有碳纤维或铝基本体(比如,铝锂合金),其具有钛制前缘。

[0145] 如本文所述和/或所要求保护的风扇可以包括中央部分,风扇叶片可从该中央部分例如在径向方向上延伸。风扇叶片可以用任何期望的方式附接到中央部分。例如,每个风扇叶片可以包括夹具,该夹具可以与毂部(或盘状部)中的相对应的狭槽接合。仅以举例的方式,这种夹具可以是燕尾形式的,其可以插入和/或接合毂部/盘状部中对应的狭槽,以便将风扇叶片固定到毂部/盘状部。

[0146] 如本文所述和/或要求保护的气体涡轮的风扇可以具有任何期望数量的风扇叶片,例如16个、18个、20个或22个风扇叶片。

[0147] 本领域的技术人员将理解,除非相互排斥,否则关于上述方面中的任何一方面所描述的特征都可以经必要修改后应用于任何其他方面。此外,除非相互排斥,否则本文中描述的任何特征可以应用于任何方面和/或与本文中描述的任何其他特征组合。特别是:除非相互排斥,否则关于第一方面描述的任何特征都可以加以必要的修改后应用于第十二方面;除非相互排斥,否则关于第二方面描述的任何特征都可以加以必要的修改后应用于第十三方面;并且除非相互排斥,否则关于第三方面描述的任何特征可以加以必要的修改后应用于第十四方面。

附图说明

[0148] 现在将参考附图仅以举例的方式来描述实施例,在附图中:

[0149] 图1是燃气涡轮发动机的截面侧视图;

[0150] 图2是风扇容纳布置的截面侧视图,该风扇容纳布置包括风扇容纳壳、风扇轨道衬里以及两个声衬;

[0151] 图3是穿过风扇轨道衬里和部分风扇容纳壳的示意性截面视图;

[0152] 图4包含沿两个相互正交的方向通过增材制造装置将风扇轨道衬里沉积在心轴上的两个截面侧视图(a)和(b);以及

[0153] 图5是穿过将风扇轨道衬里沉积在风扇容纳壳内部的增材制造装置的截面侧视图。

具体实施方式

[0154] 图1示出了燃气涡轮发动机10,该燃气涡轮发动机具有主旋转轴线9。发动机10包括进气口12和推进风扇23,该推进风扇产生两股气流:芯部气流A和旁路气流B。燃气涡轮发动机10包括接收芯部气流A的芯部11。发动机芯部11包括呈轴流串联的低压压缩机14、高压压缩机15、燃烧设备16、高压涡轮17、低压涡轮19以及芯部排气喷嘴20。短舱21包围燃气涡轮发动机10,并且限定旁路管道22和旁路排气喷嘴18。旁路气流B流过旁路管道22。风扇23经由轴26和周转齿轮箱30附接到低压涡轮19并由该低压涡轮19驱动。风扇容纳布置31在短舱21内侧在风扇23周围延伸。

[0155] 在使用中,芯部气流A通过低压压缩机14加速和压缩,并且被引导到高压压缩机15中以进行进一步的压缩。从高压压缩机15排出的压缩空气被引导到燃烧设备16中,在此使

压缩空气与燃料混合并且使混合物燃烧。然后,所产生的热燃烧产物在通过喷嘴20排出之前膨胀通过高压涡轮17和低压涡轮19并由此驱动该高压涡轮17和该低压涡轮19,以提供一些推进推力。高压涡轮17通过合适的互连轴27来驱动高压压缩机15。风扇23通常提供大部分推进推力。周转齿轮箱30是减速齿轮箱。

[0156] 可以应用本披露内容的其他燃气涡轮发动机可以具有替代构造。例如,这样的发动机可以具有可替代数量的压缩机和/或涡轮和/或可替代数量的互连轴。以另一示例的方式,图1中所示的燃气涡轮发动机具有分流式喷嘴20、22,这意味着穿过旁路管道22的流具有其自身的喷嘴,该喷嘴与芯部发动机喷嘴20分开并且在径向上位于该芯部排气喷嘴的外部。然而,这不是限制性的,并且本披露内容的任何方面还可以应用于以下发动机:在该发动机中,穿过旁路管道22的流和穿过芯部11的流在单个喷嘴(其可以被称为混流式喷嘴)之前(或上游)混合或组合。一个或两个喷嘴(无论是混合式还是分流式)都可以具有固定的或可变的面积。虽然所描述的示例涉及涡轮风扇发动机,但是例如,本披露内容可以例如应用于比如开式转子(其中风扇级未被短舱包围)或涡轮螺旋桨发动机等任何类型的燃气涡轮发动机。在一些布置中,燃气涡轮发动机10可以不包括齿轮箱30。

[0157] 燃气涡轮发动机10的几何形状及其部件由包括轴向方向(与旋转轴线9对齐)、径向方向(在图1中从下到上的方向)和周向方向(垂直于图1视图中的页面)的常规轴系限定。轴向方向、径向方向和周向方向相互垂直。

[0158] 在图2中更详细地展示了风扇容纳布置的结构,该图示出了风扇容纳布置31的一部分的截面视图。

[0159] 风扇容纳布置31包括风扇容纳壳32,该风扇容纳壳具有在前方部分(即前凸缘)34与后方部分(即后凸缘)35之间延伸的中间部分(桶状部)33。风扇容纳壳32主要由纤维增强复合材料形成并且位于风扇23周围。

[0160] 风扇撞击衬里36粘附到风扇容纳壳32的中间部分33的内侧表面上。风扇撞击衬里36具有主要为多孔的结构(这将在以下更详细地讨论),并且被设计成在风扇叶片脱落(FBO)事件期间叶片撞击时吸收大量能量。风扇撞击衬里36结合有耐磨层37。前方声衬38和后方声衬39分别靠近前方部分34和后方部分35粘附到风扇容纳壳32上。风扇容纳壳32作用于风扇撞击衬里36、耐磨层37以及声衬38和39的刚性结构支撑。

[0161] 在图3中更详细地示出风扇撞击衬里36和耐磨层37的结构。风扇撞击衬里36由以下结构层组成:外侧面板子层压件40;呈最佳角度的低密度蜂窝结构41;第一隔膜层子层压件42;编织增强纤维片层43;增强纤维毡层44;第二隔膜层子层压件45;高密度蜂窝结构46;内侧面板子层压件47;以及具有蜂窝结构的耐磨层37。

[0162] 外侧面板子层压件40、呈最佳角度的低密度蜂窝结构41、第一隔膜层子层压件42、第二隔膜层子层压件45、高密度蜂窝结构46、内侧面板子层压件47以及耐磨层37各自由相同的纤维增强聚合物材料形成,该纤维增强聚合物材料在本示例中是由碳纤维悬置在环氧树脂中而组成的碳纤维增强聚合物(CFRP)材料。然而,这些层也可以由其他合适的纤维增强聚合物材料形成,这些纤维增强聚合物材料与例如由以下项制成的增强纤维结合:芳纶(比如聚对亚苯基对苯二甲酰胺(Kevlar®)或对苯二甲酰对苯二胺(Twaron®))、热固性液晶聚恶唑(比如聚对亚苯基-2,6-苯并双恶唑(PBO或Zylon®))或超高分子量聚乙烯(UHMWPE)、以及比如聚酯、乙烯基酯、聚酰胺(例如尼龙)、聚丙烯交酯、聚碳酸酯或丙烯腈丁二

烯苯乙烯 (ABS) 等聚合物基质材料。

[0163] 外侧面板子层压件40、第一隔膜层子层压件42、第二隔膜层子层压件45以及内侧面板子层压件47由CFRP材料的固体层组成,其中增强纤维大致平行于发动机轴线9对齐或围绕风扇轨道衬里周向对齐。呈最佳角度的低密度蜂窝结构41、高密度蜂窝结构46以及耐磨层37由被布置成形成蜂窝结构的泡孔壁的CFRP材料组成。蜂窝结构的泡孔是空气填充的。呈最佳角度的低密度蜂窝结构41的泡孔尺寸应为约7mm。高密度蜂窝结构46的泡孔尺寸应为约3mm。耐磨层37的泡孔尺寸应为约5mm。呈最佳角度的低密度蜂窝结构41的泡孔壁成一定角度,以便在FBO事件期间主要与风扇叶片的预测轨迹对齐。

[0164] 外侧面板子层压件40、呈最佳角度的低密度蜂窝结构41、第一隔膜层子层压件42、第二隔膜层子层压件45、高密度蜂窝结构46、内侧面板子层压件47以及耐磨层37彼此一体地形成,使得CFRP材料在所有所述层之间连续地延伸。尽管第一隔膜层子层压件42和第二隔膜层子层压件45在图3中被示出为通过编织增强纤维片层43和增强纤维毡层44而彼此间隔开,但是这些编织层和毡层没有沿风扇轨道衬里36的整个轴向长度延伸,并且实际上在风扇轨道衬里36的各个轴向端处由在第一隔膜层子层压件42与第二隔膜层子层压件45之间延伸的CFRP材料完全包封。在其他示例中,编织层和毡层可以包括多个离散的且成角度地间隔开的层元件,以允许CFRP材料在层元件之间的角度位置处在第一隔膜层子层压件42与第二隔膜层子层压件45之间延伸,并且各个编织层和毡层可以延伸风扇轨道衬里36的整个轴向长度。

[0165] 编织增强纤维片层43和增强纤维毡层44一起形成防弹屏障层48。在本实施例中,编织增强纤维片层43和增强纤维毡44都由聚对亚苯基对苯二甲酰胺(也称为Kevlar®)的增强纤维形成。然而,编织片层和毡都可以由碳、芳纶、UHMWPE、PBO或其他合适的高强度材料的增强纤维形成。编织纤维片层43可以采用本领域已知的任何合适的纤维编织物,包括平纹编织物、斜纹编织物、段纹编织物、席纹编织物、纱罗编织物、或充纱罗编织物。

[0166] 风扇轨道衬里36通过环氧树脂基粘合剂层49粘结到风扇容纳壳32的内侧表面。风扇轨道衬里36在靠近风扇的区域中完全围绕发动机成角度地延伸(即完全围绕风扇容纳壳32的内侧圆周)。

[0167] 风扇轨道衬里36的结构被设计成在FBO事件期间从撞击的风扇叶片吸收大量能量。特别地,蜂窝状多孔结构通常能够通过三种状况通过机械变形来吸收撞击能量:初始弹性变形状况;随后的泡孔塌陷状况,其中泡孔壁由于塑性变形而屈曲和塌陷;以及最后的致密化状况,其中相邻的泡孔壁相互压紧,并且多孔材料的相对密度显著增加。因此,在FBO事件期间风扇叶片的撞击时,风扇轨道衬里中的蜂窝材料的多个不同的层通常会发生实质性变形、吸收能量并使撞击叶片减速。

[0168] 另外,防弹屏障层48进一步改善风扇轨道衬里36的抗撞击性。到达防弹屏障的撞击抛射物首先与毡层43接触,该毡层在毡纤维被压缩时吸收能量,并且其自身围绕抛射物模制,从而柔化任何尖锐的抛射物边缘。通过使抛射物减速并对其进行覆盖,毡层降低了抛射物能够刺穿编织片层42的可能性,这样使防弹屏障层48具有增加的强度。防弹屏障的两个层一起进一步降低撞击抛射物穿透风扇容纳壳32的可能性。

[0169] 因为风扇轨道衬里主要由相同的纤维增强聚合物材料制成,所以热膨胀系数在各个层37、40、41、42、45和46中是有效均匀的。因此,风扇轨道衬里通常响应于温度的变化而

均匀地膨胀或收缩。这样降低了响应于温度变化而发生的比如翘曲或界面分离等结构变形的可能性,特别是在风扇轨道衬里的制造期间或在风扇轨道衬里与风扇容纳壳的粘结期间,如以下更详细地说明的。

[0170] 风扇轨道衬里主要使用被称为熔融沉积成型(FDM)或等效熔丝制造(FFF)的增材制造工艺来制造。FDM涉及将一根或多根输入材料丝送入已加热的挤出机头中,该挤出机头将一些或全部的输入材料熔化并且将熔融的材料沉积到基材上。可以使用设有数字设计模型的计算机来精确控制沉积速率以及挤出机头的运动,从而允许逐层构建复杂的三维结构。

[0171] 现在可以使用FDM装置使比如CFRP等纤维增强聚合物材料沉积。在一些情况下,可以通过使用复合纤维增强聚合物材料丝作为输入来使纤维增强聚合物材料沉积。在其他情况下,可以通过使用分开的聚合物和增强纤维丝作为单个挤出机头的输入来使纤维增强聚合物材料沉积。使用本领域已知的FDM方法可以使连续纤维增强聚合物材料和不连续纤维增强聚合物材料沉积。

[0172] 在图4中展示了一种用于制造风扇轨道衬里的方法,其中使纤维增强复合材料沉积在圆柱形心轴50上。心轴50通过辊51A和51B绕心轴的纵向轴线旋转。进送有纤维增强聚合物输入材料的可移动FDM挤出机头52被安装在心轴上方的机架53上。FDM挤出机头可以由计算机(未示出)控制,以将纤维增强聚合物材料沉积到旋转心轴50上,以顺序地在心轴圆周的周围构建风扇轨道衬里的多个不同的层37、47、46、45、42、41和40。在层45和42的沉积之间,可以暂停FDM沉积过程,并且可以通过在已经沉积到心轴上的各层周围包裹Kevlar®毡层和Kevlar®编织片层来形成防弹屏障层。然后可以继续进行其余层42、41和40的FDM沉积,以便将毡层和编织片层包封在增材制造的风扇轨道衬里结构内。

[0173] FDM工艺可以使用热塑性聚合物作为输入材料,在这种情况下,制造风扇轨道衬里的工艺不需要固化步骤,并且由FDM工艺形成的结构可以是完整的风扇轨道衬里。然而,FDM装置可以具有包括热固性聚合物(比如环氧树脂)的输入。在这种情况下,通过FDM工艺形成的结构可以是风扇轨道衬里预成型件,该风扇轨道衬里预成型件必须进行固化以制作最终的风扇轨道衬里。使风扇轨道衬里预成型件固化通常涉及将预成型件加热到基质材料的固化温度和/或对预成型件施加压力。尤其是与已知的通常通过对表现出不同热响应的不同材料的多个层进行共固化来制造风扇轨道衬里相比,因为风扇轨道衬里预成型件的大多数层是使用相同的材料打印的,所以减少了固化期间由于热膨胀或收缩引起的结构扭曲。因为风扇轨道衬里通常响应于温度的变化而相对均匀地膨胀或收缩,所以任何其余的由热引起的结构变形也相对简单地建模,因此在制造整个风扇容纳布置时要加以考虑。

[0174] 也可以在与用于形成风扇轨道衬里36的相同的心轴50周围形成风扇容纳壳32。可以使用本领域公知的标准复合制造技术来制造风扇容纳壳。例如,可以通过首先在沉积在心轴上的风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件周围铺叠用于风扇容纳壳的预成型件、并且随后使风扇容纳壳预成型件固化来制造风扇容纳壳。铺叠风扇容纳壳预成型件可以涉及将例如碳纤维片层的层反复施加到心轴。碳纤维片层可以呈碳纤维带、尤其是用比如未固化树脂等未固化基质材料进行预浸渍的碳纤维带的形式被施加。可替代地,可以在铺叠完成后将未固化的基质材料注入风扇容纳壳预成型件中。然后通常通过施加热和/或压力来使风扇容纳壳预成型件固化。

[0175] 可以使风扇轨道衬里预成型件和风扇容纳壳预成型件一起固化,从而减少形成风扇容纳壳布置所需的固化步骤的数量。可替代地,可以首先使风扇轨道衬里预成型件在心轴上固化,然后继而在固化后的风扇轨道衬里周围铺叠风扇容纳壳预成型件,并且使风扇容纳壳预成型件固化。

[0176] 在图5中示出了用于形成风扇轨道衬里36的替代方法,其中,使纤维增强复合材料直接沉积在固化后的风扇容纳壳32的内部。在该方法中,风扇容纳壳通过辊54A和54B绕风扇容纳壳的纵向轴线旋转。将进送有纤维增强聚合物输入材料的可移动FDM挤出机头55安装在可移动臂56上,该可移动臂被插入中空风扇容纳壳中。可移动臂和FDM挤出机头由计算机(未显示)控制,以将纤维增强聚合物材料沉积到风扇容纳壳32的内侧表面上,以顺序地在风扇容纳壳的内侧圆周的周围构建风扇轨道衬里的多个不同的层40、41、42、45、46、47和37。在层42和45的沉积之间,可以暂停FDM沉积过程,并且可以通过将Kevlar®编织片层和Kevlar®毡层施加到已经沉积到风扇容纳壳内部上的层来形成防弹屏障层。然后可以继续继续进行其余层45、46、47和37的FDM沉积,以便将编织片层和毡层包封在增材制造的风扇轨道衬里结构内。

[0177] 在将热固性聚合物用作基质材料的情况下,可以通过施加热和/或压力而在风扇容纳壳内使已沉积的风扇轨道衬里预成型件固化。因为风扇轨道衬里预成型件的大多数层是使用相同的材料打印的,所以再次减小了在固化期间由于热膨胀或收缩而引起的结构扭曲。

[0178] 技术人员应理解,相同的FDM工艺也可以用于使纤维增强聚合物材料沉积以形成声衬38和39,这些声衬与风扇撞击衬里36分开或与风扇撞击衬里36结合。

[0179] 图6是制造风扇轨道衬里的方法的流程图,其示出了以上参考图4和图5描述的步骤。在框101,FDM装置具有用于风扇轨道衬里的例如AMF或STL文件形式的数字模型。在框102,使用FDM装置将纤维增强聚合物材料沉积到旋转心轴上或沉积到风扇容纳壳的内表面上,从而根据数字模型形成风扇轨道衬里。

[0180] 图7是制造风扇轨道衬里的可替代方法的流程图,其示出了以上参考图4和图5描述的步骤。在框103,FDM装置具有用于风扇轨道衬里预成型件的例如呈AMF或STL文件形式的数字模型。在框104,使用FDM装置将热固性纤维增强聚合物材料沉积到旋转心轴上、或沉积到风扇容纳壳的内表面上,从而根据数字模型而形成风扇轨道衬里预成型件。在框105,例如通过施加热和/或压力来使风扇轨道衬里预成型件固化,以形成风扇轨道衬里。

[0181] 图8是制造风扇轨道衬里的另一替代方法的流程图,其示出了以上参考图4和图5描述的步骤。在框106,FDM装置具有用于风扇轨道衬里的例如AMF或STL文件形式的数字模型。在框107,使用FDM装置将纤维增强聚合物材料沉积到旋转心轴上、或沉积到风扇容纳壳的内表面上,从而根据数字模型形成风扇轨道衬里的第一部分。在框108,将编织增强纤维片层和增强纤维毡层施加到风扇轨道衬里的第一部分。编织增强纤维片层和增强纤维毡层的施加顺序可以变化,这具体取决于风扇轨道衬里是沉积在旋转心轴上还是沉积在风扇容纳壳的内表面上,这样使得增强纤维毡层在完成的风扇轨道衬里中位于编织增强纤维片层的内侧。在框109,使用FDM装置将纤维增强聚合物材料沉积到已经形成在旋转心轴或风扇容纳壳上的层上,从而形成风扇轨道衬里的第二部分并且将编织片层和毡层包封在风扇轨道衬里的第一部分与第二部分之间。

[0182] 图9是制造风扇轨道衬里的另一替代方法的流程图,其展示了以上参考图4和图5描述的步骤。在框110,FDM装置具有用于风扇轨道衬里预成型件的例如呈AMF或STL文件形式的数字模型。在框111,使用FDM装置将热固性纤维增强聚合物材料沉积到旋转心轴上或沉积到风扇容纳壳的内表面上,从而根据数字模型形成风扇轨道衬里预成型件的第一部分。在框112,将编织增强纤维片层和增强纤维毡层施加到风扇轨道衬里预成型件的第一部分。编织增强纤维片层和增强纤维毡层的施加顺序可以变化,这具体取决于风扇轨道衬里预成型件是沉积在旋转心轴上还是沉积在风扇容纳壳的内表面上,这样使得增强纤维毡层在完成的风扇轨道衬里中位于编织增强纤维片层的内侧。在框113,使用FDM装置使热固性纤维增强聚合物材料沉积到已经形成在旋转心轴或风扇容纳壳上的层上,从而形成风扇轨道衬里预成型件的第二部分并且将编织片层和毡层包封在风扇轨道衬里预成型件的第一部分与第二部分之间。在框114,例如通过施加加热和/或压力来使风扇轨道衬里预成型件固化,以形成风扇轨道衬里。

[0183] 应当理解,本发明不限于上述实施例,并且在不脱离本文中描述的概念的情况下可以进行各种修改和改进。除非相互排斥,否则任何特征都可以单独使用或与任何其他特征组合使用,并且本披露内容扩展到并包括本文中描述的一个或多个特征的所有组合和子组合。

[0184] 为避免疑问,本发明扩展到以下编号段落中阐述的主题:

[0185] 1.一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里,所述风扇轨道衬里包括彼此一体地由纤维增强聚合物材料形成的多孔撞击结构和支撑子层压件。

[0186] 2.根据段落1所述的风扇轨道衬里,其中,所述多孔撞击结构是蜂窝结构。

[0187] 3.根据段落1或段落2所述的风扇轨道衬里,进一步包括防弹屏障,所述防弹屏障包括编织增强纤维片层和增强纤维毡层。

[0188] 4.根据任一前述段落所述的风扇轨道衬里,其中,所述多孔撞击结构和所述支撑子层压件通过增材制造而彼此一体地形成。

[0189] 5.根据任一前述段落所述的风扇轨道衬里,其中,所述纤维增强聚合物材料包括由以下材料中的一种或多种制成的增强纤维:碳、芳纶聚合物、超高分子量聚乙烯、PBO。

[0190] 6.根据任一前述段落所述的风扇轨道衬里,包括两个多孔撞击结构,两个所述多孔撞击结构通过由支撑子层压件形成的隔膜层而彼此分开,并且可选地,其中,两个所述多孔撞击结构具有不同的泡孔密度。

[0191] 7.根据任一前述段落所述的风扇轨道衬里,包括两个支撑面板子层压件,其中一个所述支撑面板子层压件形成所述风扇轨道衬里的内侧面,而另一个所述支撑面板子层压件形成所述风扇轨道衬里的外侧面,从而形成夹层结构,在所述夹层结构中所述多孔撞击结构位于两个所述支撑面板子层压件之间。

[0192] 8.一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置,所述风扇容纳布置包括风扇容纳壳以及根据任一前述段落所述的风扇轨道衬里。

[0193] 9.一种制造用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的方法,所述方法包括:通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积以形成彼此粘结在一起的多孔撞击结构和支撑子层压件。

[0194] 10.根据段落9所述的方法,进一步包括:为所述风扇轨道衬里或所述风扇轨道衬

里预成型件提供或制作数字模型;以及使用所述数字模型控制所述增材制造装置而使纤维增强聚合物材料沉积以形成所述多孔撞击结构和所述支撑子层压件。

[0195] 11. 根据段落9或段落10所述的方法,进一步包括将所述纤维增强聚合物材料沉积到旋转心轴上。

[0196] 12. 根据段落11所述的方法,进一步包括:在形成在旋转心轴上的风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件周围铺叠风扇容纳壳预成型件;并且使所述风扇容纳壳预成型件固化,并且可选地,在存在的情况下,使所述风扇轨道衬里预成型件固化。

[0197] 13. 根据段落9或10所述的方法,进一步包括:将所述纤维增强聚合物材料沉积到风扇容纳壳或风扇容纳壳预成型件的内侧表面上、例如风扇容纳壳或风扇容纳预成型件的粘合剂涂覆的内侧表面上;并且可选地,在存在的情况下,使所述风扇轨道衬里预成型件和/或所述风扇容纳壳预成型件固化。

[0198] 14. 一种数字设计模型,用于根据段落1至7中任一段落所述的风扇轨道衬里。

[0199] 15. 一种计算机程序,包括使增材制造装置执行根据段落9至13中任一段落所述的方法和/或制作根据段落1至7中任一段落所述的风扇轨道衬里的指令。

[0200] 16. 一种非暂时性计算机可读介质,其存储根据段落14所述的数字设计模型和/或根据段落15所述的计算机程序。

[0201] 17. 一种数据载波信号,其承载根据段落14所述的数字设计模型和/或根据段落15所述的计算机程序。

[0202] 18. 一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里,所述风扇轨道衬里包括嵌入式防弹屏障,所述嵌入式防弹屏障包括编织增强纤维片层和增强纤维毡层,其中,可选地,所述编织增强纤维片层设置在所述增强纤维毡层外侧。

[0203] 19. 根据段落18所述的风扇轨道衬里,进一步包括多孔撞击结构。

[0204] 20. 根据段落19所述的风扇轨道衬里,包括两个多孔撞击结构,两个所述多孔撞击结构通过包括所述防弹屏障的隔膜层而彼此分开。

[0205] 21. 根据段落18至20中任一段落所述的风扇轨道衬里,其中,所述编织增强纤维片层和所述增强纤维毡层均包括由以下材料中的一种或多种制成的增强纤维:碳、芳纶聚合物、超高分子量聚乙烯、PBO。

[0206] 22. 一种用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置,所述风扇容纳布置包括风扇容纳壳以及根据段落18至21中任一段落的风扇轨道衬里。

[0207] 23. 一种制造用于燃气涡轮发动机的风扇容纳布置的风扇轨道衬里的方法,所述方法包括:例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积,以形成风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分;通过施加编织增强纤维片层和增强纤维毡层,在所述风扇轨道衬里或所述风扇轨道衬里预成型件的第一部分上形成防弹屏障层;以及例如通过增材制造装置使纤维增强聚合物材料沉积在所述防弹屏障层上和周围,以形成所述风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第二部分,从而将所述防弹屏障层包封在所述风扇轨道衬里或风扇轨道衬里预成型件的第一部分与第二部分之间;并且,可选地,使所述风扇轨道衬里预成型件固化。

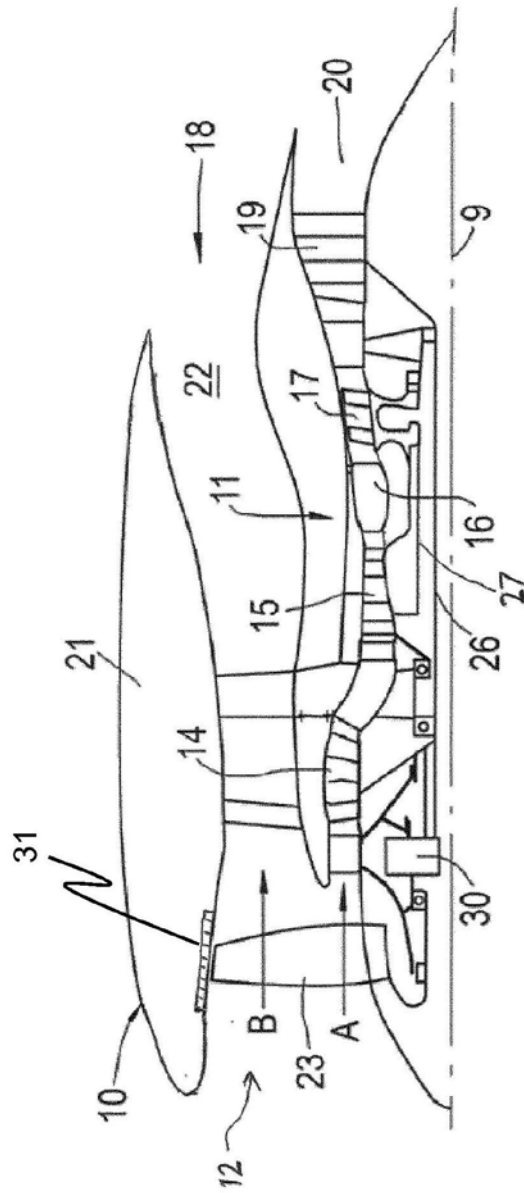


图1

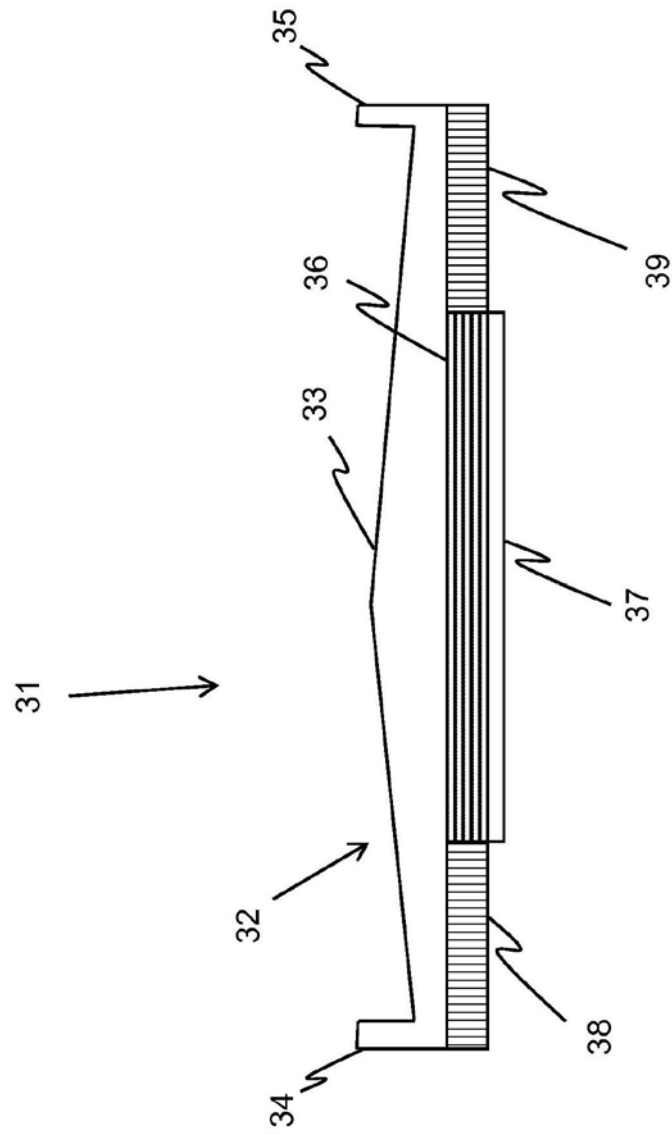


图2

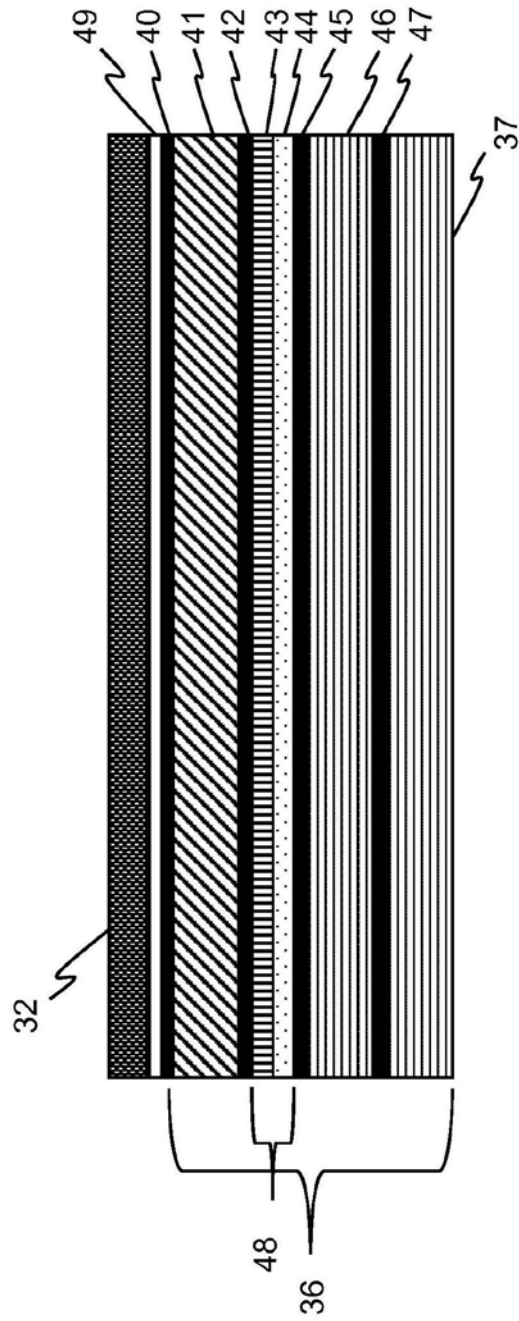


图3

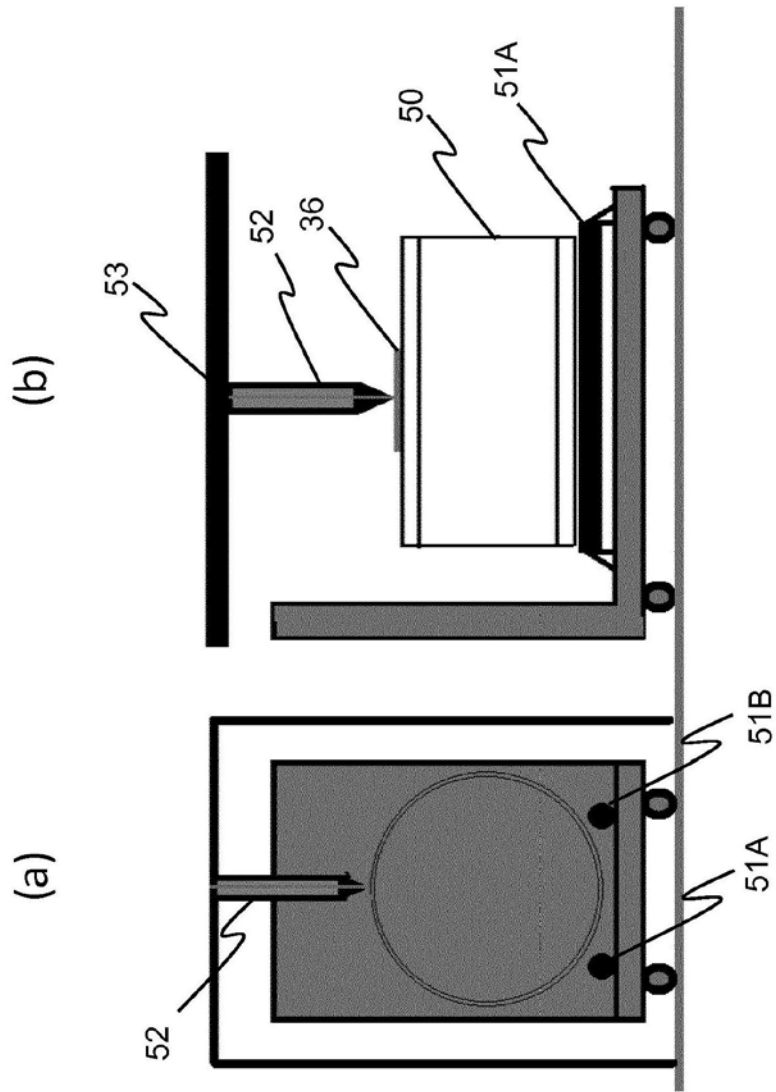


图4

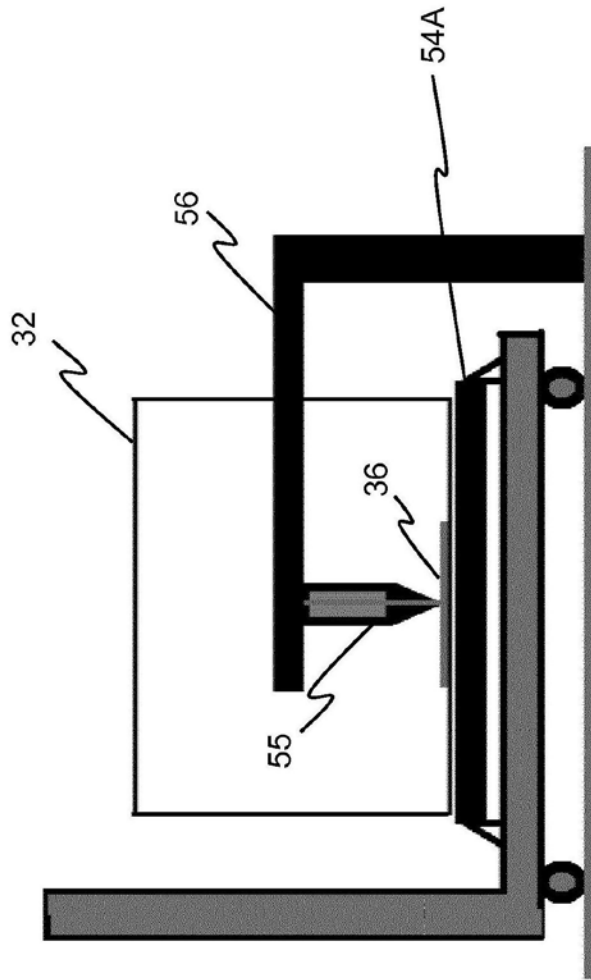


图5

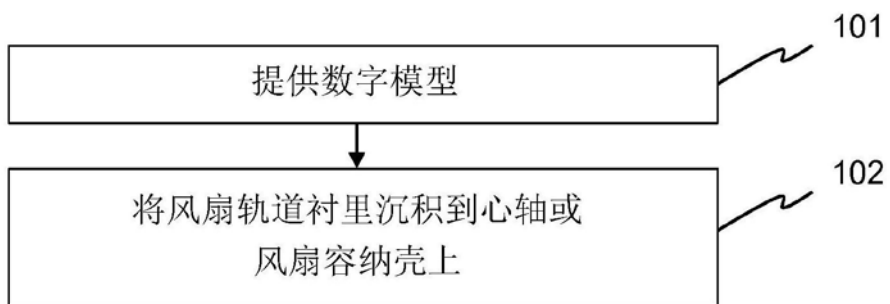


图6

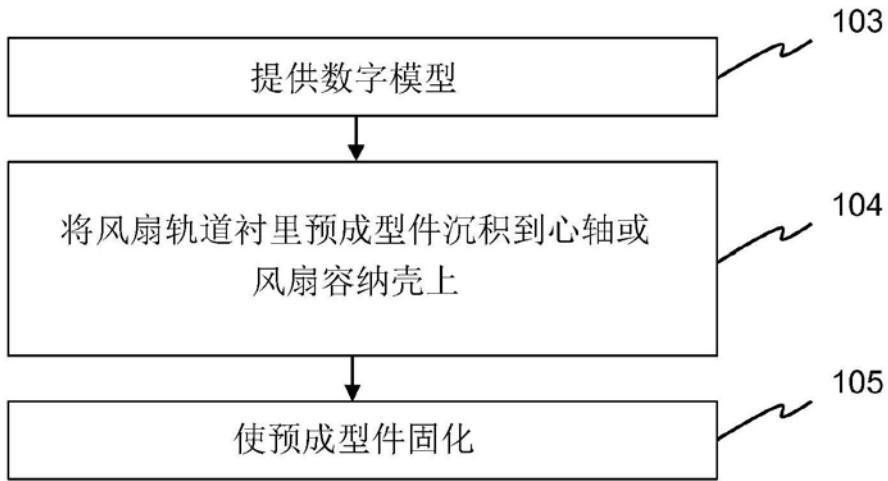


图7

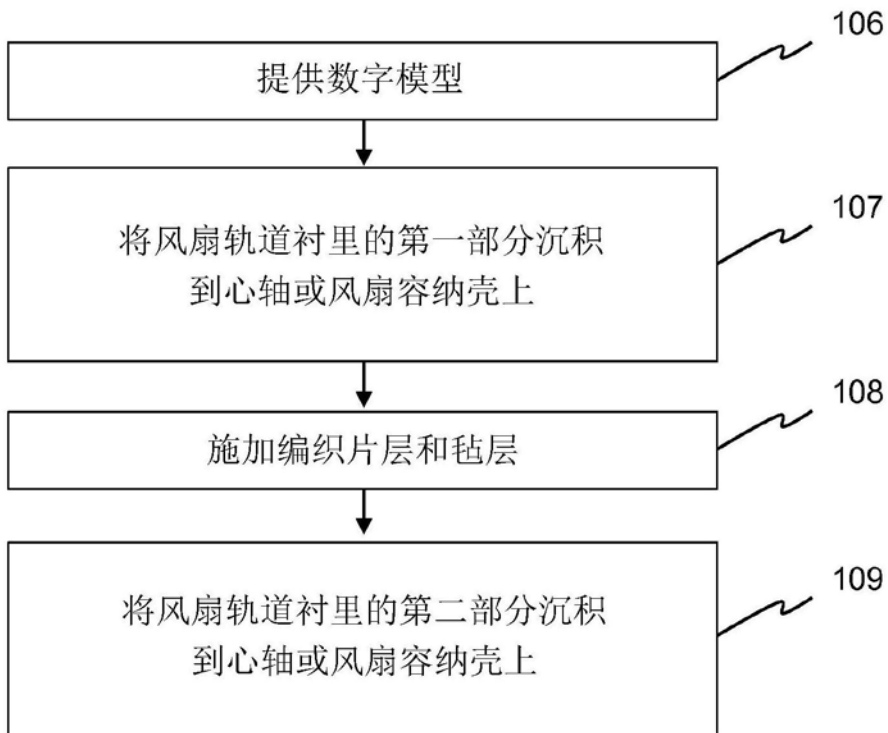


图8

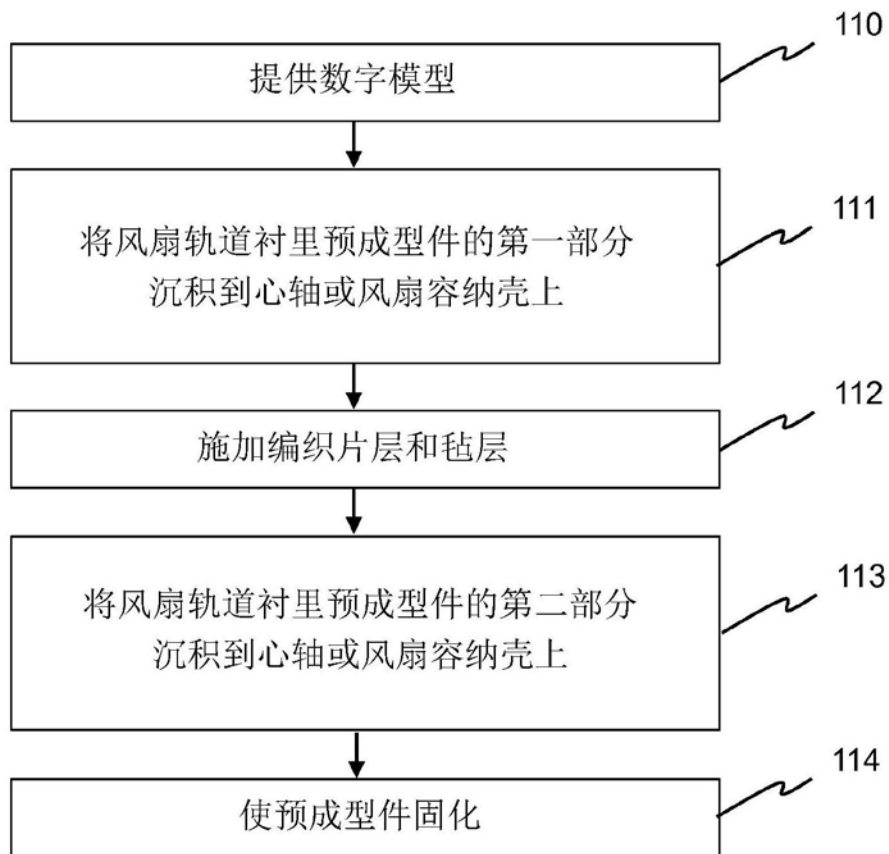


图9