



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105545370 B

(45)授权公告日 2018. 10. 12

(21)申请号 201510708376.2

(22)申请日 2015.10.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105545370 A

(43)申请公布日 2016.05.04

(30)优先权数据
BE2014/0797 2014.10.28 BE

(73)专利权人 赛峰航空助推器股份有限公司
地址 比利时埃斯塔勒

(72)发明人 J-F.科特奎斯

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105

代理人 王景刚

(51)Int.Cl.

F01D 5/14(2006.01)

F01D 5/16(2006.01)

F01D 5/28(2006.01)

F01D 9/02(2006.01)

F01D 25/06(2006.01)

F04D 29/02(2006.01)

F04D 29/30(2006.01)

F04D 29/42(2006.01)

B22F 7/08(2006.01)

B22F 7/00(2006.01)

B22F 5/04(2006.01)

B22F 3/105(2006.01)

B29C 45/14(2006.01)

审查员 郭琦

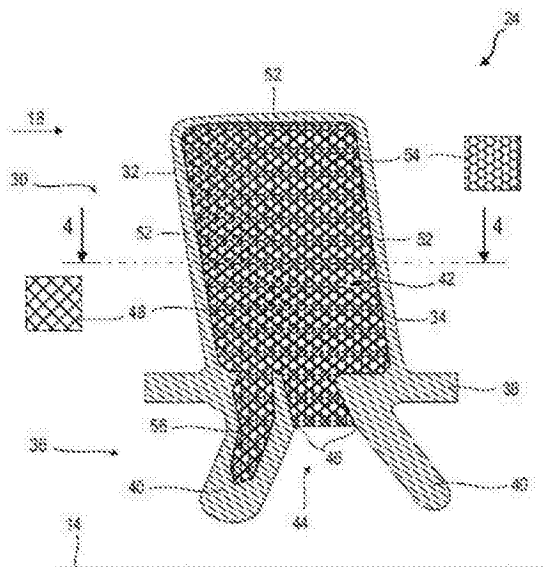
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

轴流式涡轮压缩机的格构型叶片

(57)摘要

本发明涉及一种轴流式涡轮机的低压压缩机(5)的叶片(24)。叶片(24)包括轮叶(30),空腔(42)形成在轮叶中。轮叶(30)具有前缘(32)和后缘(34)、从前缘(32)和后缘(34)延伸的内弧表面和外弧表面、形成内弧和外弧表面且界定空腔(42)的外部外壳(52)。叶片(24)还包括封闭泡沫(54),例如聚甲基丙烯酸泡沫,其阻挡空腔(42)使其与叶片(24)的环境隔绝。叶片(24)还包括形成在空腔(42)中并且与叶片(24)的轮叶(30)成一体的三维格构(48)。该屏障屏蔽了化学侵蚀和杂质引入。本发明还涉及用于填充有泡沫(54)的中空涡轮机叶片的生产方法。



1. 一种轴流式涡轮机 (2) 的叶片 (24;26), 所述叶片 (24;26) 包括:
旨在所述轴流式涡轮机 (2) 的流 (18;20) 中径向延伸的轮叶 (30), 以及
形成轮叶的材料;
在所述叶片 (24;26) 的轮叶 (30) 的材料中形成的空腔 (42),
其特征在于, 它还包括
阻挡所述空腔 (42) 使其与所述叶片 (24;26) 的外界环境隔绝的封闭泡沫 (54), 所述封闭泡沫包括代表其体积的超过50%的封闭小孔; 并且
所述叶片 (24;26) 包括具有固定装置的径向端, 所述空腔 (42) 包括在所述径向端的开口 (44), 并且, 所述固定装置包括轴向相反的两个固定凸耳 (40), 在轴向上所述固定凸耳 (40) 之间, 所述空腔的开口 (44) 填充有所述封闭泡沫 (54)。
2. 根据权利要求1所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述封闭泡沫 (54) 是聚合泡沫。
3. 根据权利要求1或2所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述空腔 (42) 的宽度大于所述轮叶 (30) 的平均厚度, 并且/或者所述空腔 (42) 代表所述轮叶 (30) 的大部分体积, 和/或所述轮叶 (30) 的大部分的径向高度, 和/或所述轮叶 (30) 的大部分的平均长度。
4. 根据权利要求1或2所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述封闭泡沫 (54) 出现在所述空腔 (42) 的大部分或全部中, 所述封闭泡沫 (54) 覆盖所述空腔 (42) 的内表面的大部分或全部, 所述封闭泡沫 (54) 在由所述空腔 (42) 所界定的体积的大部分或全部之上延伸。
5. 根据权利要求1或2所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述空腔 (42) 具有朝向所述叶片 (24;26) 的环境的开口 (44), 所述封闭泡沫 (54) 阻挡所述开口 (44), 所述开口 (44) 在环境区域具有边缘 (46), 所述封闭泡沫 (54) 与所述开口 (44) 的边缘 (46) 齐平。
6. 根据权利要求1或2所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 它包括格构 (48), 其是三维的并且被布置在所述空腔 (42) 中用以加固所述叶片 (24;26), 所述格构与所述封闭泡沫 (54) 混合。
7. 根据权利要求6所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述格构 (48) 包括规则地分布在所述空腔 (42) 中的杆并且具有杆接合节点。
8. 根据权利要求6所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述格构 (48) 在所述空腔 (42) 的大部分空间上延伸。
9. 根据权利要求1或2所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 它包括前缘 (32) 和后缘 (34)、从所述前缘 (32) 延伸至所述后缘 (34) 的内弧表面 (60) 和外弧表面 (62), 以及形成所述内弧表面 (60) 和外弧表面 (62) 且界定所述空腔 (42) 的外部外壳 (52)。
10. 根据权利要求9所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述外壳 (52) 在其表面的大部分上具有恒定厚度, 并且, 外壳 (52) 在其整个表面上被密封。
11. 根据权利要求9所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述外壳 (52) 的厚度在所述轮叶 (30) 的整个径向高度上基本上是恒定的。
12. 根据权利要求1或2所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述叶片 (24;26) 包括径向地在固定部分 (36) 区域中的、所述空腔 (42) 的延续部分中的封闭泡沫 (54)。
13. 根据权利要求1或2所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述封闭小孔代表了所述封闭泡沫 (54) 的体积的超过80%。
14. 根据权利要求1或2所述的叶片 (24;26), 其特征在于, 所述封闭泡沫 (54) 的密度小

于 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 。

15. 根据权利要求1或2所述的叶片(24;26),其特征在于,所述封闭泡沫(54)比所述叶片(24;26)的轮叶(30)的材料更不密集。

16. 一种用于轴流式涡轮机(2)的叶片(24;26)的生产方法,所述方法包括以下步骤:

(a) 叶片(24;26)的生产(102),所述叶片具有形成轮叶(30)的材料和空腔(42),所述轮叶旨在所述轴流式涡轮机的流(18;20)中径向地延伸,所述空腔形成在所述叶片(24;26)的轮叶(30)的材料中;

其特征在于,

所述叶片(24;26)包括具有固定装置的径向端,所述空腔(42)包括在所述径向端的开口(44),并且,所述固定装置包括轴向相反的两个固定凸耳(40),

所述生产方法还包括以下步骤:

(b) 具有封闭泡沫(54)的轮叶(30)的空腔(42)的填充(104),用以至少部分地占据其空闲空间并且以所述封闭泡沫(54)填充在轴向上所述固定凸耳(40)之间的所述开口(44),所述封闭泡沫包括代表其体积的超过50%的封闭小孔。

17. 根据权利要求16所述的方法,其特征在于,在所述步骤(a)生产(102)期间,所述叶片(24;26)通过增量生产的方式产生,通过钛和/或铝粉末的沉积层产生。

18. 根据权利要求16或17的任一项所述的方法,其特征在于,在所述步骤(a)生产(102)期间,三维的格构(48),与所述叶片(24;26)的轮叶(30)同时地形成在所述空腔(42)内。

19. 根据权利要求18所述的方法,其特征在于,在所述步骤(b)填充(104)期间,所述封闭泡沫(54)的前体材料被倾倒至所述格构(48)上和/或被注射至所述空腔(42)中。

20. 根据权利要求16或17所述的方法,其特征在于,在所述步骤(b)填充(104)末尾,所述空腔(42)全部地被所述封闭泡沫(54)占据。

21. 一种包括叶片(24;26)的轴流式涡轮机(2),其特征在于,所述叶片(24;26)根据权利要求1至15任一项所述。

轴流式涡轮压缩机的格构型叶片

技术领域

[0001] 本发明的领域是涡轮机,尤其是用于飞行器的涡轮喷气飞机。更具体地,本发明涉及具有加强格构内部结构的轴流式涡轮机叶片。

背景技术

[0002] 轴流式涡轮机的压缩机和透平每一个包括数个环形排的叶片。它们使得环形气流被加速、减慢、整流、甚至重定向。这些功能使得流被压缩或驱动能量被恢复。为了在航空领域实现这些任务,叶片必须重量轻,从而减少涡轮机的质量。重量减轻也等同于有转子情况下的惯性减小。

[0003] 但是,叶片质量的最优化必须符合机械强度和热阻的标准。叶片必须承受振动,以及在可能情况下的外来物体进入。此外,转子叶片受到离心力。所有这些参数使得叶片设计复杂化,它们在每个方面各不相同,更加剧了复杂程度。为了提供符合上述要求的客制化叶片,周知的是,设计并产生具有格构的叶片。

[0004] 文献US2013/0276461 A1公开了中空的轴流式涡轮机叶片。叶片具有由具有内弧表面和外弧表面的外部外皮界定的内部小室。小室由具有杆之间的节点三维格构占据。格构连接内弧和外弧。此外,由于增量生产方法,它与外皮成一体。这种方法使用粉末作为填料金属,其被沉积然后固化成层。

[0005] 此类叶片提供了更大自由度的设计,同时优化机械强度和重量,这是在不同位置存在和不存在材料的结果。增量生产利用小室中的开口,以非固化的粉末使其变空。在操作期间,开口将小室暴露于叶片环境,使其损坏并且使其变重,从而在设有这些叶片的转子上出现不平衡。

发明内容

[0006] 技术问题

[0007] 本发明的目的是克服现有技术的至少一个问题。更具体地,本发明的目的是限制通过基于粉末层的增量生产所产生的中空叶片上的环境的影响。本发明的另一目的是保持涡轮机带叶片转子的平衡。

[0008] 技术方案

[0009] 可理解的是,本发明涉及轴流式涡轮机的叶片,所述叶片具有泡沫芯,其由形成叶片的轮叶主体的另一种材料包围,其包括叶片的内弧表面和/或外弧表面。所述芯限定了叶片的轮叶的材料中的空腔。

[0010] 本发明还涉及一种尤其是用于压缩机的轴流式涡轮机的叶片,所述叶片包括:旨在所述涡轮机的流中径向延伸的轮叶,以及在所述叶片的轮叶的材料中形成的空腔,其特征在于,它还包括阻挡所述空腔使其与所述叶片的外界环境隔绝的封闭泡沫。

[0011] 根据本发明的有利实施方式,所述封闭泡沫是聚合泡沫,例如聚甲基丙烯酸泡沫,可选地聚甲基丙烯酸酰亚胺泡沫。

[0012] 根据本发明的有利实施方式,所述空腔的宽度大于所述轮叶的平均厚度,并且/或者所述空腔代表所述轮叶的大部分体积,和/或所述轮叶的大部分的径向高度,和/或所述轮叶的大部分的平均长度。

[0013] 根据本发明的有利实施方式,所述泡沫出现在所述空腔的大部分或全部中,优选地所述泡沫覆盖所述空腔的内表面的大部分或全部,更优选地,所述泡沫在由所述空腔所界定的体积的大部分或全部之上延伸。

[0014] 根据本发明的有利实施方式,所述空腔具有朝向所述叶片的环境的开口,所述泡沫阻挡所述开口,优选地所述开口在环境区域具有边缘,所述泡沫与所述开口的边缘齐平。

[0015] 根据本发明的有利实施方式,它包括格构,其可选地是三维的并且被布置在所述空腔中用以加固所述叶片,所述格构通常与所述泡沫混合。

[0016] 根据本发明的有利实施方式,所述格构包括规则地分布在所述空腔中的杆并且可选地是杆接合节点。

[0017] 根据本发明的有利实施方式,所述格构在所述空腔的大部分空间上、优选地在所述空腔的整个空间上延伸。

[0018] 根据本发明的有利实施方式,所述叶片包括前缘和后缘、从所述前缘延伸至所述后缘的内弧表面和外弧表面,以及形成所述内弧表面和外弧表面且界定所述空腔的外部外壳。

[0019] 根据本发明的有利实施方式,所述外壳在其表面的大部分上具有恒定厚度,优选地,外壳在其整个表面上被密封。

[0020] 根据本发明的有利实施方式,所述外壳的厚度在所述轮叶的整个径向高度上基本上是恒定的。

[0021] 根据本发明的有利实施方式,在所述轮叶的径向端,所述叶片包括形成主体的固定部分,所述空腔在所述主体中延伸,可选地,所述叶片包括径向地在所述固定部分区域中的、所述空腔的延续部分中的封闭泡沫。

[0022] 根据本发明的有利实施方式,它包括具有固定装置的径向端,所述空腔在所述径向端开口,可选地,所述固定装置包括轴向相反的两个固定凸耳,所述空腔在所述固定凸耳之间轴向地开口。

[0023] 根据本发明的有利实施方式,所述泡沫具有小孔,特别是封闭小孔,它们代表了其体积的超过50%、优选地超过80%、更优选地超过95%。

[0024] 根据本发明的有利实施方式,所述泡沫的密度小于 $200\text{kg}/\text{m}^3$,优选地小于 $100\text{kg}/\text{m}^3$,更优选地小于或等于 $55\text{kg}/\text{m}^3$ 。

[0025] 根据本发明的有利实施方式,所述泡沫比所述叶片的轮叶的材料更不密集,优选地至少少十倍,更优选地至少少五十倍。

[0026] 根据本发明的有利实施方式,所述内弧表面是凹形的,优选地,所述叶片包括径向堆叠的空气动力学轮廓,在内弧侧,至少一个轮廓具有接近外弧的向内弯曲的边缘。

[0027] 根据本发明的有利实施方式,所述外壳形成所述叶片的内弧表面和/或外弧表面的大部分、优选地全部。

[0028] 根据本发明的有利实施方式,所述泡沫与空腔的内表面相符,可选地,所述泡沫粘附于所述空腔内表面。

[0029] 根据本发明的有利实施方式,所述格构与叶片的轮叶成一体。

[0030] 根据本发明的有利实施方式,所述格构将外壳的内弧部分连接至外弧部分和/或将外壳的前缘的部分连接至后缘的部分和/或将轮叶的径向内端连接至轮叶的径向外端。

[0031] 本发明还涉及一种用于尤其是低压压缩机的、轴流式涡轮机的叶片的生产方法,所述方法包括以下步骤:(a)叶片的生产,所述叶片具有轮叶和空腔,所述轮叶旨在所述涡轮机的流(中径向地)延伸,所述空腔形成在所述叶片的轮叶的材料中;其特征在于,它还包括以下步骤:(b)具有封闭泡沫的轮叶的空腔的填充,用以至少部分地占据其空闲空间,在适合情况下,所述叶片按照本发明所述。

[0032] 根据本发明的有利实施方式,在所述步骤(a)生产期间,所述叶片通过增量生产的方式产生,优选地通过钛和/或铝粉末的沉积层产生。

[0033] 根据本发明的有利实施方式,在所述步骤(a)生产期间,可选地是三维的格构,与所述叶片的轮叶同时地形成在所述空腔内。

[0034] 根据本发明的有利实施方式,在所述步骤(b)填充期间,所述封闭泡沫的前体材料被倾倒至所述格构上和/或被注射至所述空腔中。

[0035] 根据本发明的有利实施方式,在所述步骤(b)填充末尾,所述空腔主要地、优选地全部地,被所述泡沫占据。

[0036] 本发明还涉及一种包括叶片的涡轮机,其特征在于,所述叶片根据本发明所述;并且/或者所述叶片根据本发明所述的生产方法产生;优选地,所述涡轮机是双流涡轮喷气飞机。

[0037] 提供的优势

[0038] 本发明通过使用泡沫使得叶片空腔受到保护。由泡沫形成的密封屏障不仅防止化学侵蚀还防止杂质引入。格构存在的优势是对泡沫提供了均匀的支承。它可以在分布于空腔中的更多位置和表面上附接。以这种方式,泡沫以最佳方式保持,尤其是防止涡轮机的振动,或者防止转子叶片情况下的离心力。

[0039] 泡沫的封闭外表形成了减震器、冲击减震器,因为泡沫的泡可变得有弹性地被压缩,从而在吸入情况下吸收冲击。可选地,泡沫的黏弹性外表使得一体叶片的振动被削弱而不影响其惯性。

[0040] 复杂结构的情况下,在去除非固化粉末操作之后,特定的微粒或粉末颗粒会分离。泡沫的存在正好截留这些粉末颗粒。这样,允许了甚至更复杂形状的生产,而没有增加任何有关于清洗的限制,另外,清洗也变得更快速。

附图说明

[0041] 图1表示根据本发明的轴流式涡轮机。

[0042] 图2表示根据本发明的涡轮机压缩机。

[0043] 图3表示根据本发明的涡轮机叶片。

[0044] 图4表示根据本发明的沿图3轴线4-4绘制的叶片横截面图。

[0045] 图5表示根据本发明的叶片的生产方法。

具体实施方式

[0046] 在以下描述中,术语内部和内在以及外部或外在指示相对于轴流式涡轮机旋转轴线的定位。

[0047] 图1以简化方式示出轴流式涡轮机。在此特定例子中,其是双流涡轮喷气发动机。喷气发动机2包括被称作低压压缩机5的第一压缩水平、被称作高压压缩机6的第二压缩水平、燃烧室8,以及一个或多个涡轮机水平10。在操作中,经由中心轴传输直至转子12的涡轮机10的机械动力使两个压缩机5和6运转。它们包括与定子叶片排相关联的若干排转子叶片。因此,转子关于其转动轴线14的转动使得空气流生成并且逐渐地被压缩直到被引入燃烧室8。降压(step down)装置可以增加传输至压缩机的转动速度。

[0048] 通常称为风扇或鼓风机16的入口通风机被联接至转子12,并且产生空气流,该空气流分成穿过涡轮机的不同的上述水平的一次流18以及沿机器穿过环形管道(部分示出)以便在透平的输出处与一次流再结合的二次流20。二次流可被加速以便产生反推力。一次流18和二次流20是环形流并且由涡轮机的壳体来引导。

[0049] 图2是如图1的轴流式涡轮机的压缩机的剖视图。压缩机可以是低压压缩机5。可以看到其中的一次流18和二次流20的分离喷嘴22。转子12包括若干排转子叶片24,在此例中是三排。

[0050] 转子12可包括同类的转子叶片24和不同类的转子叶片24。转子12可包括鼓和/或盘。它也可包括焊接于鼓以及盘的转子叶片24,和/或安装在环形保持体的环形叶片组件槽和/或埋头孔中。因此,转子叶片24包括焊接于转子的管状平台,或者焊接于转子12的段(stub)。可替代地,转子叶片24可具有带有倾斜的固定凸耳(lug)的固定部分,所述凸耳与环形体的内表面或环形槽的内表面相符。

[0051] 低压压缩机5包括数个整流器,在此例中是四个,每一个包含定子叶片排26以便整流空气流,从而将流速转变成静态压力。

[0052] 定子叶片26从外部壳体28大致上径向延伸并且可利用带螺纹轴或铆钉固定到外部壳体上。它们还可具有压在外壳28上的平台,轴径向地延伸平台。每个平台具有从相关联的叶片的轮叶延伸的部分,该部分形成轴向和/或横向凸耳。

[0053] 图3是根据本发明的叶片的横截面。转动轴线14被示出。在此例中陈述的叶片是转子叶片24;它可以是上述那些定子叶片。可替代地,在此例中,此教导可应用于涡轮机的风扇叶片。

[0054] 叶片24包括旨在在涡轮机一次流18中径向延伸的轮叶30。轮叶30具有前缘32和后缘34;以及从前缘32延伸至后缘34的内弧面和外弧面。它还示出在其内端区域中的头部和固定部分36,该部分36向内侧延伸叶片30。部分36可具有平台38,平台的外表面界定并且引导一次流18。部分36具有固定装置,例如固定凸耳40。

[0055] 叶片24的轮叶30的材料具有空腔42或凹槽。这个空腔42在叶片30的大部分高度上、或它的大致上整个径向高度上延伸。空腔42可代表叶片30的大部分容积。空腔42具有与叶片24的环境连通的通道或开口44,开口由边缘46界定。

[0056] 叶片包括在空腔42中的格构48。它可出现在叶片20的空腔42的大部分中,优选地整个空腔42中。它可在叶片30的整个高度上将前缘32连接至后缘34。格构48可以是平面的和/或根据偏斜表面与内弧表面或外弧表面平行形成。它可以大致上是双向的,例如,具有由它的杆形成的平面网眼。

[0057] 格构48还可具有三维格构48。它可具有由杆界定的多面网眼。格构48连接至空腔42的每个内表面从而形成叶片24的三维内部加强结构。网眼可以是四面体和/或立方体。它的杆可以根据至少三个方向布置,例如,垂直于彼此的三个方向。它的杆可分布或分散在空腔的空间中,可选择地以均匀的方式。

[0058] 格构48可根据轮叶的厚度形成数个网眼,例如,至少两个,优选地至少五个,更优选地至少是个网眼。格构的紧凑性小于90%,优选地小于50%,更优选地小于5%。

[0059] 叶片24具有外壳52或外罩52,形成其内弧表面、其外弧表面、其前缘32、其后缘34。在叶片24的大部分高度上、优选地在叶片30的整个高度上,外壳52可具有恒定的厚度。外壳52与涡轮机的流相接触并且在一次流18的大部分径向高度上延伸。

[0060] 叶片24还包括空腔42中的封闭泡沫54,使其能被密封。它可大致上形成开口44的区域中的止动件,从而以紧密方式密封空腔42,其体积可以小于空腔42的体积的10%。它可存在于空腔42的大部分体积中,或全部体积中。它与格构48结合,在其大部分体积上它与格构混合。它覆盖格构的杆并且占据空隙,在杆之间形成多面体。由于泡沫54的存在,空腔42的空间变得外界难以接近。因此,杂质和化学媒介不能被引入其中。这样,发生不平衡和/或化学侵蚀的风险降低。如果没有泡沫,叶片会有连接开口至基部的通道。

[0061] 泡沫54优选地是封闭泡沫54,用以确保密封。术语封闭泡沫54旨在被理解成带有彼此孤立的封闭小孔或封闭小室的泡沫。这种构造提高了泡沫可提供的密封性。它可以是聚合泡沫,例如聚甲基丙烯酸泡沫,可选地是聚甲基丙烯酸酯亚胺泡沫。其密度大致上减少,它可以小于 $52\text{kg}/\text{m}^3$ 。以这种方式,其存在并不可观地改变叶片24的质量,因为其基部材料、可选地钛和/或铝,具有至少十倍、或至少五十倍、或至少八十倍于封闭泡沫的密度。

[0062] 固定部分36可具有形成在一个或每个固定凸耳40中的至少一个小室56。小室56还可以被泡沫54或格构48占据,这使得在没有小室56暴露于叶片24的环境的情况下凸耳40变得更轻。

[0063] 图4表示沿着图3的轴向平面4-4的叶片24的横截面。该横截面形成叶片24的轮叶30的空气动力学轮廓。转动轴线14和平台38被示出。

[0064] 空腔42可代表轮叶30的大部分长度、或大致上整个长度,其中,长度沿着轮叶30的弦58。空腔42可代表轮叶30的大部分地平均厚度,或大致上整个宽度,其中,宽度相对于轮叶30的弦58垂直。

[0065] 格构48和/或泡沫54占据空腔42的大部分长度和/或宽度,优选地整个长度和/或宽度。泡沫48可粘附于外壳52的内表面从而提高其保持性。格构48将外壳52的内弧部分60连接至外弧部分62,提高了叶片的刚性。内弧表面60可具有凹部,凹部的拱形由格构48保持。

[0066] 对于叶片24的一个或每个轮廓,格构48和/或泡沫54席卷了叶片24的弦58的大部分、优选地基本上叶片的整个弦58。泡沫54和格构48的联合可形成受益于每种材料品质的复合材料。

[0067] 图5表示涡轮机叶片、例如图3和4中所示的一个涡轮机叶片的生产方法的流程图。

[0068] 所述方法可包括以下步骤的连结,可选择地,以如下方式实行:

[0069] (δ) 轴流式涡轮机叶片的设计100,叶片包括轮叶、形成在轮叶中并且由叶片外壳界定的空腔、容纳在空腔中的格构、以及固定部分。

[0070] (a) 通过基于步骤(δ)设计100期间设计的叶片的粉末层的增量生产的生产102,

[0071] (b) 在生产步骤(a)生产102期间所产生的叶片的空腔的填充104,封闭泡沫经由通过增量生产的生产后留下的开口、通过将泡沫的前体材料倾倒至该位置的格构上。可选择地,叶片的添加材料的一部分以逐渐增加的熔融线的形式提供。

[0072] 这种生产方法的结果,外壳、固定部分和格构成一体,改进了叶片的机械强度。格构提供了连接和加强功能,将叶片的内表面连接直至固定部分。叶片可形成带有混合结构、带有数个实心部分、但具有不同密度和许多种不同材料的一体元件。

[0073] 该方法还能够使产生的叶片不仅轻而且具有抗性,不受涡轮机的操作条件影响。以这种方式,在步骤(δ)设计100期间,允许减少作为相对于不确定性的边界的安全系数。步骤(δ)设计100在本发明中是可选择的,因为叶片可以用已经设计好的模型生产。当叶片形状适合于生产约束时,该步骤可包括在本发明方法中。

[0074] 增量生产是一种对于本领域技术人员来说公知的方法。例如以粉末形式的添加材料,沉积在叠加层上。每一层通过加热被固化从而造成粉末粘性。加热使得粉末达到熔融点,这种加热可以通过激光或电子束提供。可替代地,可以在沉积的同时固化粉末。

[0075] 格构的杆的表面可具有粒状外表,带有突出形状或凹陷形状。这种粒状外表可能来自作为添加材料的颗粒的使用,即使熔化它们也局部地保持了初始的几何形状。杆的表面可具有大于 $5\mu\text{m}$ 的粗糙度Ra,优选地大于 $50\mu\text{m}$ 。粗糙度Ra对应于按照给定轮廓的高度变化量绝对值的偏差的整数中值(integral mean)。这种表面状态提高了杆上泡沫的粘性。

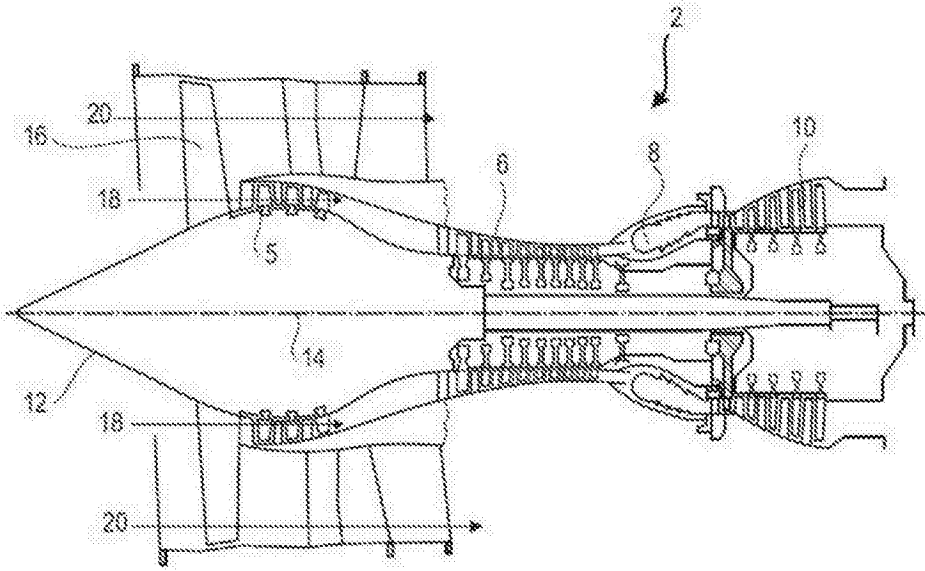


图1

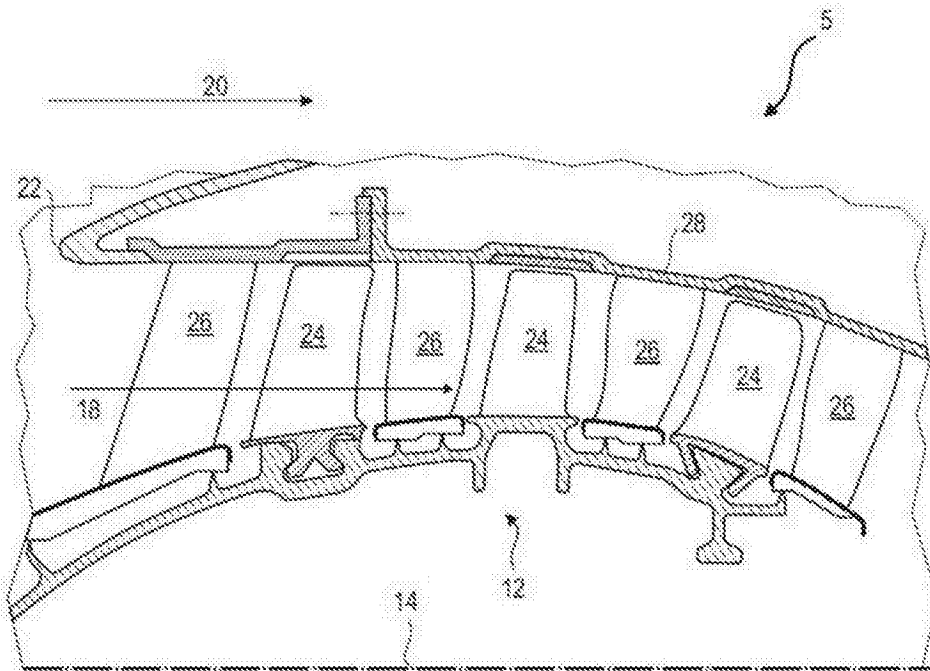


图2

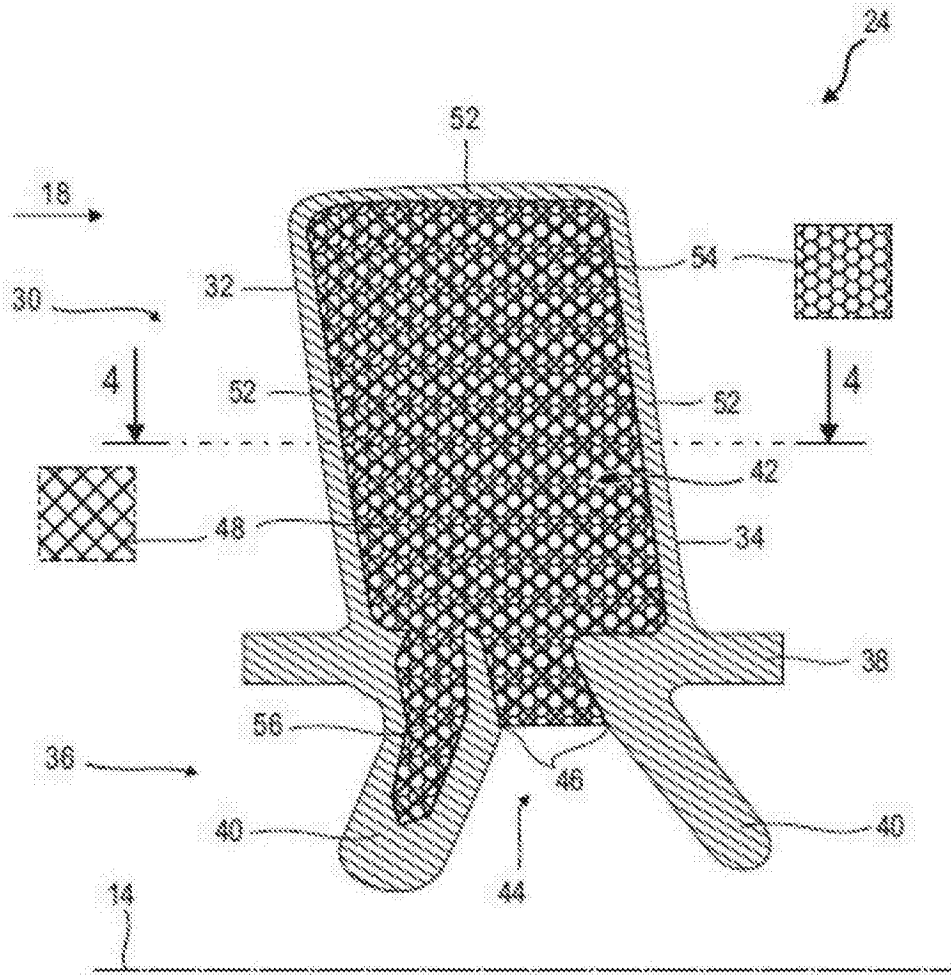


图3

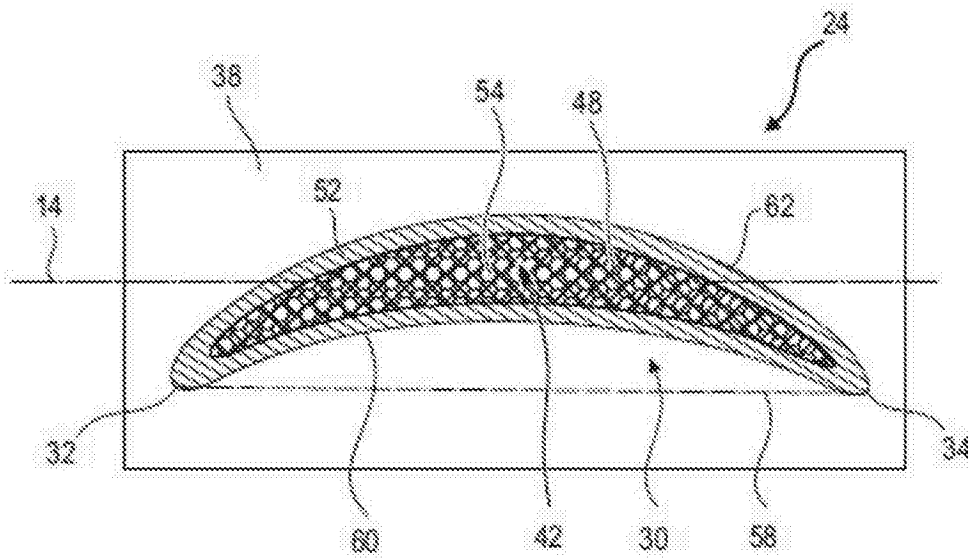


图4

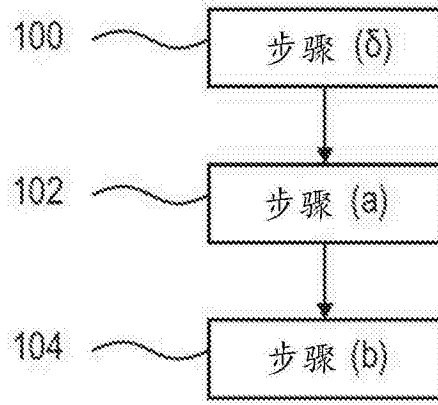


图5