



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104246136 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 04

(21) 申请号 201380017945. 8

(22) 申请日 2013. 04. 03

(30) 优先权数据

1253108 2012. 04. 04 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 09. 29

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/FR2013/050735 2013. 04. 03

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/150243 FR 2013. 10. 10

(73) 专利权人 斯奈克玛

地址 法国巴黎

(72) 发明人 文森特·保罗·加百利·佩洛特

朱利安·科恩特

吉恩-弗朗西斯·里奥斯

(74) 专利代理机构 中国商标专利事务所有限公

司 11234

代理人 宋义兴 周伟明

(51) Int. Cl.

F01D 5/14(2006. 01)

(56) 对比文件

EP 1333181 A1, 2003. 08. 06,

CA 2458417 A1, 2004. 08. 27,

US 4012172 A, 1977. 03. 15,

GB 680036 A, 1952. 10. 01,

审查员 陈力涛

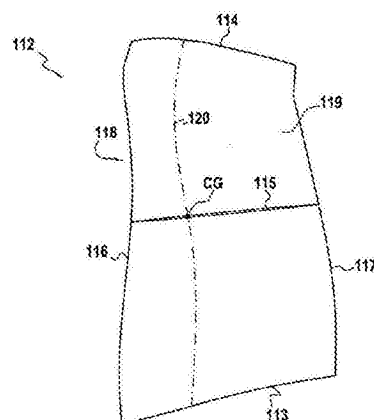
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

涡轮机转子叶片、整体叶盘、压缩机转子和与其相联系的风扇转子

(57) 摘要

本发明涉及涡轮机转子叶片领域, 尤其涉及包括由叶片高度 (h) 分隔开的叶片根部 (113) 和叶片尖端 (114) 的涡轮机转子叶片 (112), 在叶片根部 (113) 与叶片尖端 (114) 之间的至少一个中间部分 (112a) 在至少 50% 的所述叶片高度 (h) 上具有前掠, 在中间部分 (112a) 与叶片尖端 (114) 之间的远端部分 (112b) 具有后掠, 所述远端部分 (112b) 还具有一正切向倾斜角。



1. 一种涡轮机转子叶片 (112), 其包括由叶片高度 (h) 分隔开的叶片根部 (113) 和叶片尖端 (114), 在所述叶片根部 (113) 与所述叶片尖端 (114) 之间的至少一个中间部分 (112a) 在所述叶片高度 (h) 的至少 50% 上具有前掠, 在所述中间部分 (112a) 与所述叶片尖端 (114) 之间的远端部分 (112b) 具有后掠, 所述远端部分 (112b) 还具有一正切向倾斜角。

2. 根据权利要求 1 所述的涡轮机转子叶片 (112), 其中所述远端部分 (112b) 具有比所述中间部分 (112a) 的更大的正切向倾斜角。

3. 根据权利要求 1 所述的涡轮机转子叶片 (112), 其中所述中间部分 (112a) 在邻近于所述远端部分 (112b) 的至少一个区域上也具有一正切向倾斜角。

4. 根据权利要求 1 所述的涡轮机转子叶片 (112), 其中所述远端部分 (112b) 直接邻近于所述叶片尖端 (114)。

5. 根据权利要求 1 所述的涡轮机转子叶片 (112), 其中所述远端部分 (112b) 占据所述叶片高度 (h) 的至少 5%。

6. 根据权利要求 5 所述的涡轮机转子叶片 (112), 其中所述远端部分 (112b) 占据所述叶片高度 (h) 的至少 8%。

7. 根据权利要求 1 所述的涡轮机转子叶片 (112), 其中所述远端部分 (112b) 占据不超过 30% 的所述叶片高度 (h)。

8. 根据权利要求 7 所述的涡轮机转子叶片 (112), 其中所述远端部分 (112b) 占据不超过 15% 的所述叶片高度 (h)。

9. 一种单件的叶盘, 其具有多个根据权利要求 1 至 8 中任何一项所述的叶片 (112)。

10. 一种压缩机转子, 其具有多个根据权利要求 1 至 8 中任何一项所述的叶片 (112)。

11. 一种风扇转子, 其具有多个根据权利要求 1 至 8 中任何一项所述的叶片 (112)。

涡轮机转子叶片、整体叶盘、压缩机转子和与其相联系的风扇转子

技术领域

[0001] 本发明涉及涡轮机叶片领域,更具体地涉及涡轮机转子叶片领域。

背景技术

[0002] 在本上下文中,术语“涡轮机”使用来代表其中能量可以在流体流与至少一组叶片之间传送的任何机器,例如,压缩机,泵,涡轮,或它们中至少两个的组合。在以下描述中,术语“上游”和“下游”相对于穿过涡轮机的流体的正常流动方向被限定。

[0003] 这种涡轮机可以包括多个级,各所述级通常包括两组翼面,即一组可移动叶片和一组静止引导翼片。这样的一组包括沿着侧向彼此偏移的多个翼面。通常地,翼面围绕中心轴线 A 沿着径向布置。因此,当这样的一组构成一组移动叶片时形成转子,或当其构成一组引导翼片时形成定子。相对于中心轴线 A 的各叶片的近端通常被称为其根部,同时远端通常被称为其尖端。在根部与尖端之间的距离被称为叶片高度。在其根部与其尖端之间,叶片由大致垂直于径向轴线 Y 延伸的一叠空气动力学轮廓组成。在此上下文中,术语“大致垂直”意思是各轮廓的平面可以具有相对于径向轴线 Y,接近于 90° 的角度,例如,位于 60° 至 120° 的区间内。

[0004] 在这种涡轮机中,这种转子通常由外壳包围。为了限制转子中的流动损失,通常期望限制在叶片尖端与外壳的内壁之间的径向间隙。然而,此减少的径向间隙导致在叶片尖端与外壳的内壁之间接触风险的提升。如果该接触频率与弯曲叶片的共振频率形成共振,则这种接触可能非常危险。因此,此问题带来了研究:例如,由 Kevin E. Turner、Michael Dunn 和 Corso Padova 于 2010 年 6 月 14-18 日在英国的格拉斯哥市在“2010 年度 ASME (美国机械工程师协会) 涡轮博览会:陆地、海洋和空气的能量”中在《在摩擦事件过程中翼面的偏斜特性》的标题下所描述的,以及由 Robin J. Williams 于 2011 年 6 月 6-10 日在加拿大的不列颠哥伦比亚省温哥华市在“2011 年度 ASME 涡轮博览会”中在《由于大的尖端摩擦而使用隐式时间推进法模拟在燃气涡轮中的叶片外壳相互作用现象》的标题下所描述的。

[0005] 同时,对于空气动力学原因,为了提高压缩机和风扇的效率,尤其为了提高那些达到接近音速的流速,提出了向前移动叶片,例如,在美国专利申请 US2010/0054946A1 中,以及由 Jörg Bergner、Stephan Kablitz、Dietmar K. Hennecke、Harald Passrucker 和 Erich Steinhardt 于 2005 年 6 月 6-9 日在美国内华达州里诺-塔霍市在“2005 年度 ASME 涡轮博览会:陆地、海洋和空气的能量”中标题为《移动对在轴向接近音速压缩机中的 3D 防震结构的影响》的研究中。

[0006] 然而,由于几何因素,向前移动的叶片在实施与外壳的接触的情况下可以具有尤其相反的动作。由于它们的形状,由这种接触导致的侧向偏斜可能恶化动力自我接合的现象。

[0007] 法国专利申请 FR2 851 798 A1 公开了一种具有远端部分的转子叶片,所述远端部分在叶片尖端与在大部分叶片高度上具有向前移动的中间部分之间向后移动。在这种构造

中的远端部分的向后移动可以用来至少部分地降低动力自我接合的风险。

发明内容

[0008] 本发明寻求进一步降低转子叶片动力自我接合风险，所述转子叶片包括向后移动的远端部分，所述远端部分在叶片尖端与在至少 50% 的叶片高度上具有向前移动的中间部分之间。

[0009] 在至少一个实施例中，此目的通过事实来获得：所述远端部分还可以具有正切向倾斜角，尤其具有比中间部分的更大的正切向倾斜角，从而与远端部分的向后移动一起有助于限制在叶片尖端与环形外壳之间的干扰，所述环形外壳在叶片的弯曲过程中偏斜的情况下靠近其。术语“倾斜切角”在本上下文中使用来指沿着叶片与转子的旋转轴线连接的方向，相对于径向轴线，穿过连续轮廓的重心 CG 的线条的倾斜角。如果朝向叶片尖端移动时，叶片沿着叶片的旋转方向倾斜，则此倾斜角被视为是正的，如果叶片沿着相反方向倾斜则所述倾斜角是负的。利用这些规定，可以获得向前移动叶片的空气动力学优点，而不包括叶片对与外壳的接触的动力响应，因此使得可与起源于其的空气动力学优点一起在叶片尖端与外壳之间维持小间隙。中间部分还在邻近于远端部分的至少一个区域上具有正切向倾斜角。

[0010] 另外，所述远端部分尤其可以直接地邻近于所述叶片尖端，从而朝向叶片尖端延伸并释放较大部分的叶片高度，用于向前移动的中间部分。

[0011] 为了减少叶片尖端对环形外壳的干扰，远端部分可以占据至少 5%，优选地至少 8% 的叶片高度。

[0012] 然而，为了最大化向前移动的空气动力学优点，远端部分需要占据不到 30%，优选地不到 15% 的叶片高度。

[0013] 本发明还提供了一种具有多个叶片的单件叶片盘（或“叶盘”），各所述叶片在向前移动的中间部分与叶片尖端之间具有向后移动远端部分。这种单件叶片盘具有强劲且简单的优点。然而，本发明的叶片还可替代地是例如使用在叶片根部下方的树枝形固定件组件来单独地紧固的叶片。

[0014] 本发明还提供了一种具有多个叶片的压缩机或风扇转子，各所述叶片在向前移动的中间部分与叶片尖端之间具有向后移动的远端部分。

附图说明

[0015] 通过阅读作为非限制性例子来显示的两个实施例的以下详细描述，本发明可以更好地理解并且其优点更好地显示。该描述引用附图，其中：

[0016] 图 1 是涡轮机的示意纵向部分；

[0017] 图 2A 是涡轮机转子的示意立体图；

[0018] 图 2B 是图 2A 转子的细节的示意立体图；

[0019] 图 2C 是在平面 IIC-IIC 上所显示的图 2A 转子的叶片中一个的横截面图；

[0020] 图 3A 显示了向前移动的转子叶片；

[0021] 图 3B 显示了向后移动的转子叶片；

[0022] 图 3C 显示具有负的倾斜切角的转子叶片；

- [0023] 图 3D 显示具有正的倾斜切角的转子叶片；
- [0024] 图 4 是实施与外壳的接触后弯曲的叶片的振动；
- [0025] 图 5 是在本发明的第一实施例中的涡轮机叶片的立体图；
- [0026] 图 6A 是显示图 5 叶片的移动如何在叶片的根部与尖端之间变化的示意图；
- [0027] 图 6B 是显示图 5 叶片的倾斜切角如何在叶片的根部与尖端之间变化的示意图；
- [0028] 图 7A 是显示在第二实施例中的叶片的移动如何在叶片的根部与尖端之间变化的示意图；以及
- [0029] 图 7B 是显示第二实施例的叶片的倾斜切角如何在叶片的根部与尖端之间变化的示意图。

具体实施方式

[0030] 图 1 显示一涡轮机,更具体为轴流式涡轮风扇发动机 1 的图示例子。所显示的涡轮风扇发动机 1 包括风扇 2、低压压缩机 3、高压压缩机 4、燃烧室 5、高压涡轮 6 以及低压涡轮 7。风扇 2 和低压压缩机 3 通过第一传动轴 9 与低压涡轮 7 连接,同时高压压缩机 4 和高压涡轮 6 通过第二传动轴 10 连接在一起。在工作中,由低压和高压压缩机 3 和 4 所压缩的空气流入到燃烧室 5 中以供燃烧,燃烧气体的膨胀驱动高压和低压涡轮 6 和 7。因此,利用轴 9 和 10,涡轮 6 和 7 驱动风扇 2 和压缩机 3,4。由风扇 2 推动的空气和经由在涡轮机 6 和 7 的下游处的推力喷管(未示出)而离开涡轮喷气引擎 1 的燃烧气体在涡轮喷气引擎 1 上施加反推力,因此在例如飞机等交通工具(未示出)上施加反推力。

[0031] 涡轮喷气引擎的各压缩机 3,4 和各涡轮 6,7 包括多个级,各个级由一固定组翼片或“定子”,以及一旋转组叶片或“转子”形成。一轴向压缩机转子 11 在图 2A 中示意地显示。转子 11 具有围绕转子 11 的旋转轴线 A 沿着径向布置的多个叶片 12,该轴线大致平行于穿过涡轮喷气引擎 1 的工作流体的通常流动方向。叶片 12 可以作为具有转子 11 的单件被合并,因此形成了单件的叶片盘,否则,它们可单独地形成,并通过紧固件与转子连接,所述紧固件在现有领域中通常是众所周知的,例如,树枝形紧固件(fir-tree fastenings)。

[0032] 如在图 2B 中更详细地显示的那样,各个叶片 12 具有带有三个正交轴 X、Y 和 Z 的三维参照系统。轴线 X 平行于转子 11 的旋转轴线 A,轴线 Z 围绕旋转轴线 A 与叶片 12 的旋转方向 R 相切,轴线 Y 是沿着与旋转轴线 A 相交的方向的径向轴线。各叶片 12 包括沿着径向轴线 Y 的方向由叶片高度 h 分隔开的叶片根部 13 和叶片尖端 14。在叶片根部 13 与叶片尖端 14 之间,叶片 12 包括在垂直于径向轴线 Y 的平面中的一些空气动力学轮廓 15,形成沿着上游方向的前缘 16、沿着下游方向的后缘 17、吸力侧 18 和压力侧 19。在压缩机或风扇转子中,在正常运行过程中的旋转方向 R 使得各个叶片 12 朝向其压力侧 19 移动。

[0033] 叶片 12 的一个这样的轮廓 15 在图 2C 中显示。各轮廓 15 具有在前缘 16 与后缘 17 之间的弦 C,以及被限定为轮廓 15 的几何重心的重心 CG。在涡轮机叶片的领域中,相对于径向轴线 Y,穿过连续轮廓 15 的重心 CG 的线的倾斜角用来限定叶片 12 的掠角和切向倾斜角。这样,当朝向叶片尖端 14 移动,此线 20 在 XY 平面中沿着上游方向具有倾斜角 $-\alpha$ 时,如图 3A 所示,叶片 12 具有前掠。相反,当此线 20 在相同平面中沿着下游方向具有倾斜角 α 时,如图 3B 中所示,叶片 12 具有后掠。以类似的方式,倾斜切角由在 ZY 平面中的线 20 与径向轴线 Y 之间的倾斜角所限定。这样,当朝向叶片尖端 14 移动,线 20 朝向吸力侧

18 倾斜（以及因此沿与转子的旋转方向 R 相反的方向倾斜）时，叶片 12 具有负的倾斜切角 $-\beta$ ，如图 3C 中所示。与此相反，当此倾斜角朝向压力侧 19（以及因此沿着与转子的旋转方向 R 的相同方向）时，叶片 12 具有正的倾斜切角 β ，如图 3D 中所示。除了掠角和倾斜切角外，涡轮机叶片通常具有复杂的形状，轮廓 15 具有也可以沿着轴线 Y 变化的攻角、弧面、厚度以及弦 C。

[0034] 在现有技术中，尤其是对于压缩机和风扇的转子叶片，已经发现，带有前掠的构造具有空气动力学优点，尤其当在跨音速范围内工作时。然而，这样的构造也可具有机械缺陷，尤其是在叶片尖端与围绕转子的外壳相接触的情况下。如在图 1 中可看到的那样，通常在风扇转子 2 和压缩机 3,4 的叶片尖端与风扇和压缩机的各自壳体之间的间隙是非常有限的。具体地，这一间隙在叶片尖端处造成了空气动力学损失，导致了涡轮机总效率的极大损失。因此，它们需要减少，从而相比之下提高了由于涡轮机的振动或由于其变形而在叶片尖端与壳体之间造成接触的可能性。这种接触在弯曲叶片上产生瞬间力，即使壳体具有用于减少此力的磨损区域，以接近于弯曲中叶片的共振频率的频率的周期性接触可能导致共振，甚至可能造成叶片的破裂。

[0035] 该现象在具有前掠的叶片上更明显，因为具有该形状，叶片在第一接触后的偏斜具有使后面的接触更恶劣的风险。在第一振动模式中具有前掠的弯曲叶片 12 的此偏斜示意地显示在图 4 中，其中，可以看到当叶片 12 振动时，叶片尖端 14 沿着上游方向相对于叶片根部 13 的偏移如何使得在叶片尖端 14 与壳体之间的接触变得更差。

[0036] 图 5 显示本发明的第一实施例中的另一个叶片 112，其使得可减轻具有前掠的叶片的此缺陷。此叶片 112 还具有叶片根部 113、叶片尖端 114、前缘 116、后缘 117、压力侧 118 和吸力侧 119，其还由在叶片根部 113 与叶片尖端 114 之间的在叶片高度 h 上的一些空气动力学轮廓 115 组成。然而，在叶片尖端 114 与具有前掠的占据大致 65% 叶片高度 h 的中间部分 112a 之间，此叶片 112 具有一远端部分 112b，该远端部分带有占据大约 10% 的叶片高度 h 的后掠。因此，远端部分 112b 的此后掠沿上游方向相对于叶片根部 113 减少叶片尖端 114 的偏移。此外，在此第一实施例中，远端部分 112b 的正切向倾斜角大致大于中间部分 112a 的正切向倾斜角。

[0037] 图 6A 显示在与此叶片 112 的轮廓 115 的重心 CG 互连的线 120 的 XY 平面上的投影。为了更清楚地看到线 120 的位置如何变化，沿着轴线 X 的距离相对于沿着轴线 Y 的距离放大。因此，可以看到，叶片如何在占据大致 65% 叶片高度 h 的中间部分 112a 上具有前掠，随后是在位于中间部分 112a 与叶片尖端 114 之间的远端部分 112b 上的后掠。这样，在此远端部分 112b 中，线 120 向后移动沿着大约 1.75% 的叶片高度 h 的轴线 X 的距离 dx ，从而沿着上游方向减少叶片尖端 114 的偏移，并因此降低叶片 112 遭受到在与壳体的第一接触后的动态自接合的风险。

[0038] 图 6B 显示在 ZY 平面上的相同线 120 的投影，因此显示了正切向倾斜角 β ，所述正切向倾斜角在远端部分 112b 上比在中间部分 112a 上大致更明显。为了更清楚地看到线 120 的位置如何变化，沿着轴线 Z 的距离同样地相对于沿着轴线 Y 的距离被放大。做为此更明显的正切向倾斜角的结果，线 120 朝向压力侧前进，通过沿着等于大约 4% 的叶片高度 h 的轴线 Z 的距离 dz ，因此以此方式有助于降低叶片 112 的动态自接合的风险。

[0039] 然而，在其他实施例中，在远端部分上的正切向倾斜角需要比在邻近于远端部分

的中间部分的至少一个区域上的更显著。因此,图 7A 和 7B 显示当以相同的方式分别地在 XY 平面和 ZY 平面上投影时将在第二实施例中的叶片的轮廓的重心连接在一起的线 120。如在第一实施例中那样,此叶片具有在占据大致 65%的叶片高度 h 的中间部分 112a 上的前掠,随后是位于中间部分 112a 与叶片尖端之间的远端部分 112b 上的后掠。因此,如在图 7A 中所示的那样,在此远端部分 112b 中,线 120 向后移动穿过沿着大约 1.25%的叶片高度 h 的轴线 X 的距离 dx ,从而减小沿着上游方向的叶片尖端的偏移,并因此降低叶片在与壳体的第一次接触后的动态自接合的风险。然而,如图 7B 中所示的那样,在此实施例中,正切向倾斜角 β 在远端部分 112b 上比在邻近于中间部分 112a 的区域上并不显著地更大。

[0040] 虽然本发明参照具体实施例来描述,但是清楚的是,均可以对那些实施例实施各种修正和改变,而不超越如权利要求所限定的本发明的一般范围。例如,在不同实施例中,根据实施例,远端部分的后掠可以导致叶片轮廓重心沿着轴线 X 向后移动经过达到 5%的叶片高度的距离。由于远端部分的正切向倾斜角而沿着轴线 Z 的叶片轮廓的偏移也可以根据这些各种实施例到达叶片高度的 7%。另外,所提出的各种实施例的个体特性可以结合在附加的实施例中。因此,说明书和附图在某种意义上应被视为图示性的而不是限制性的。

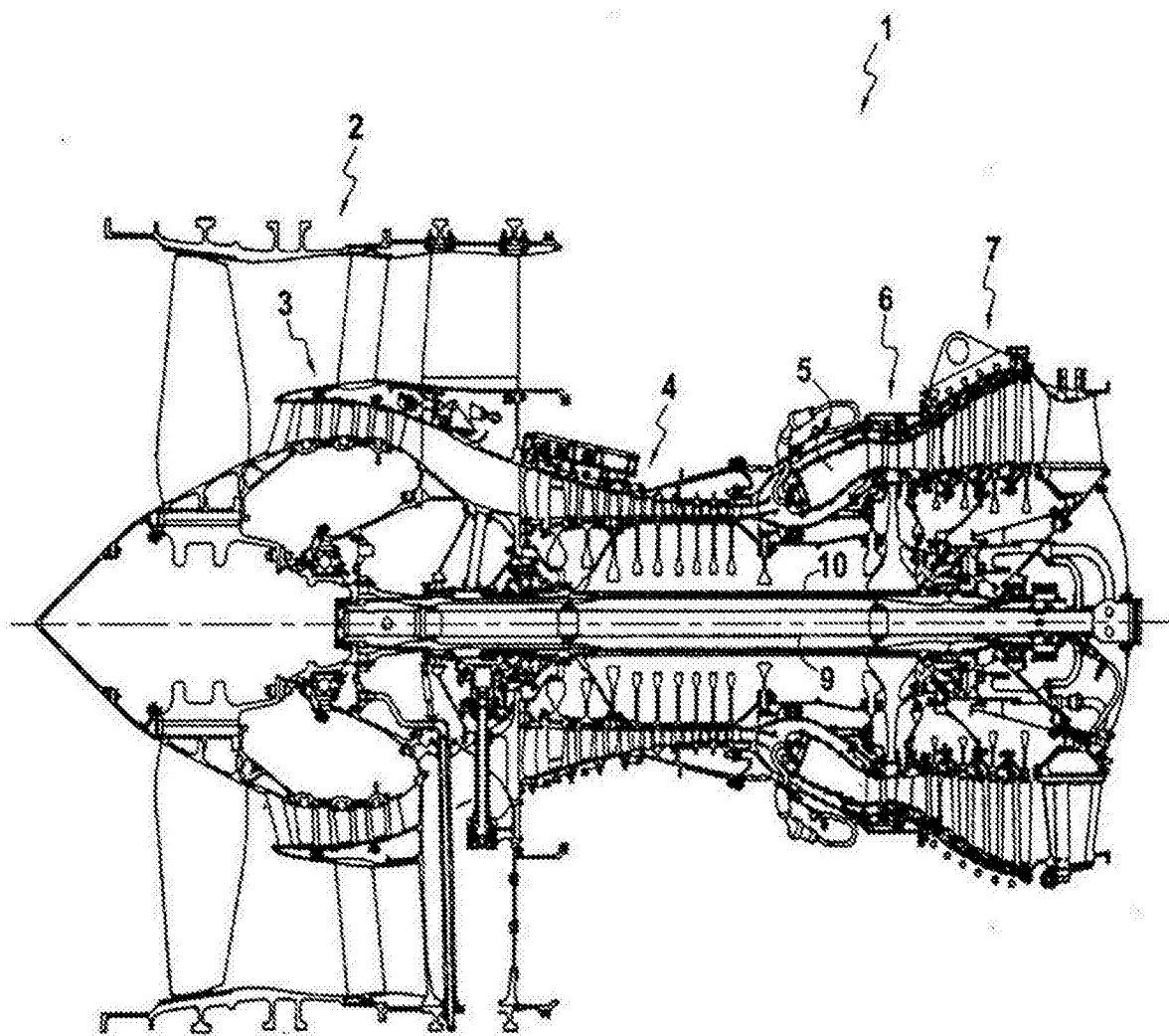


图 1

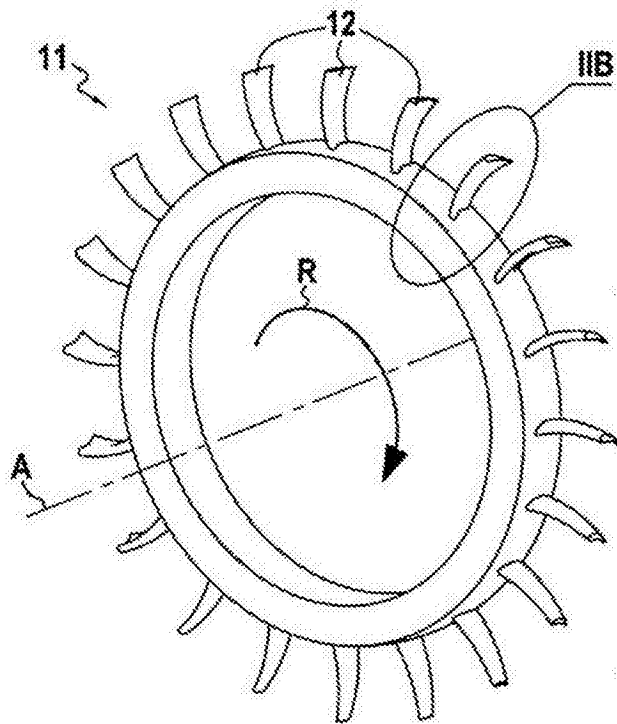


图 2A

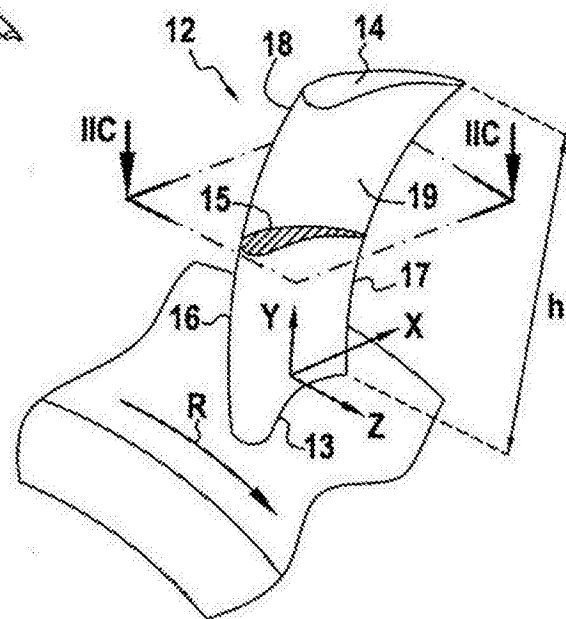


图 2B

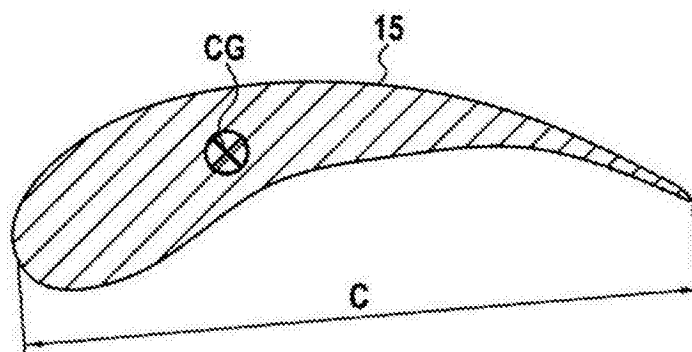


图 2C

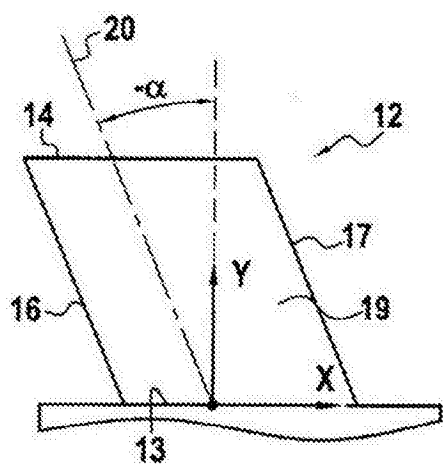


图 3A

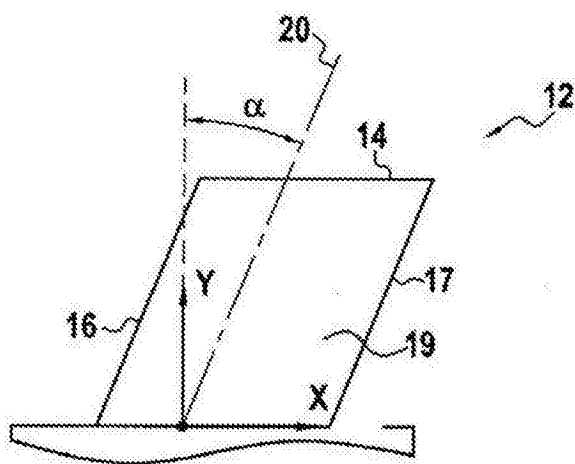


图 3B

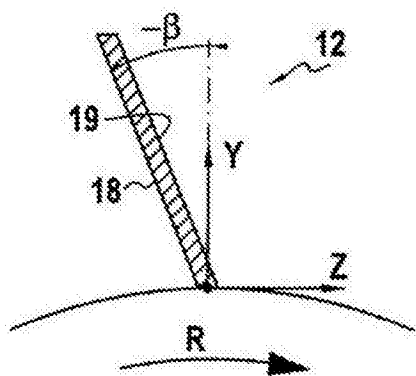


图 3C

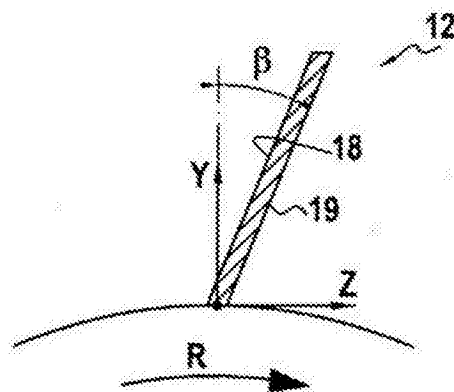


图 3D

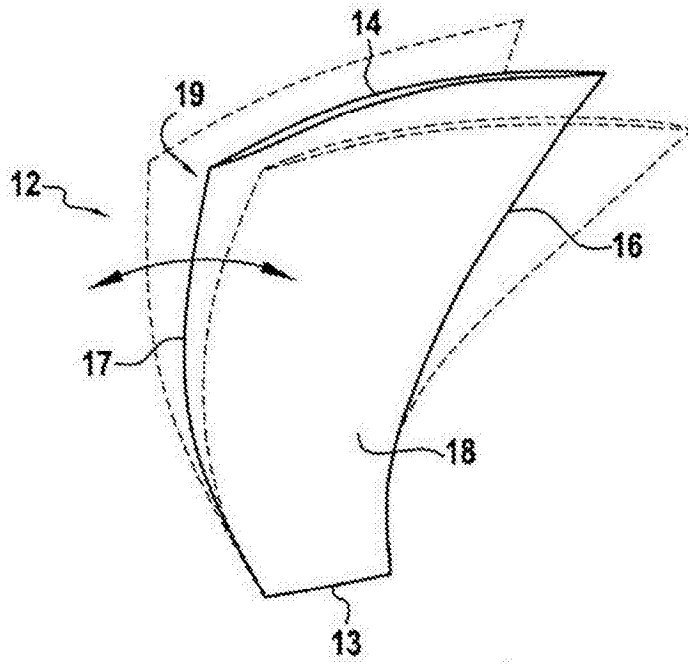


图 4

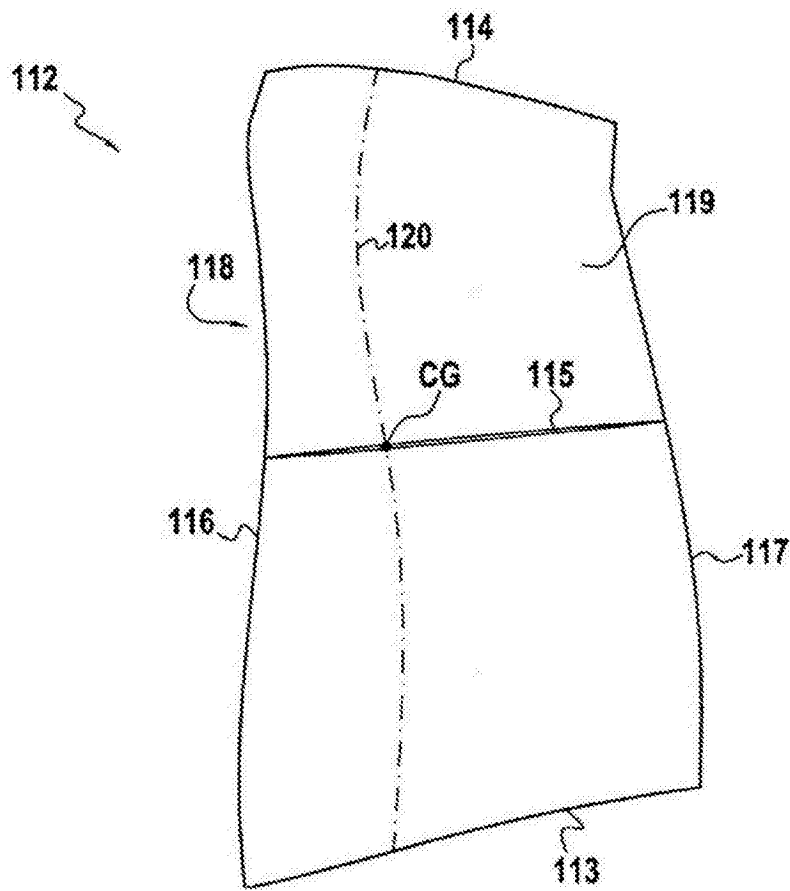


图 5

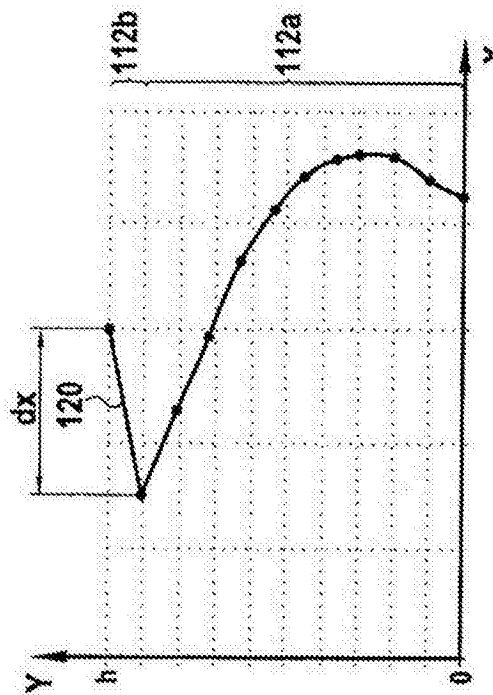


图 6A

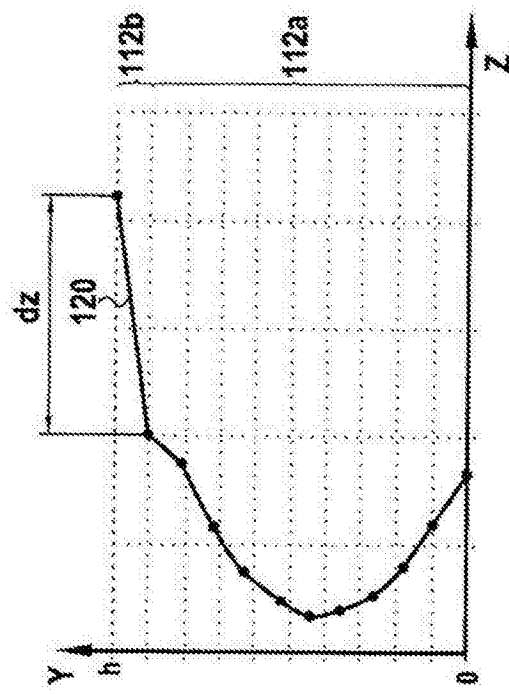


图 6B

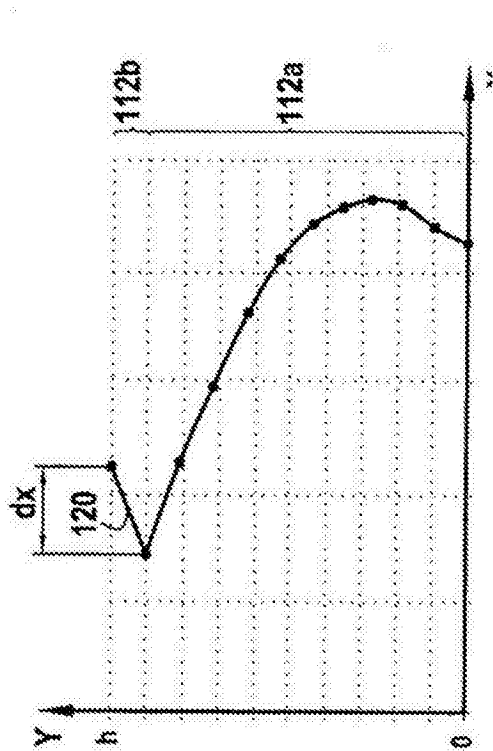


图 7A

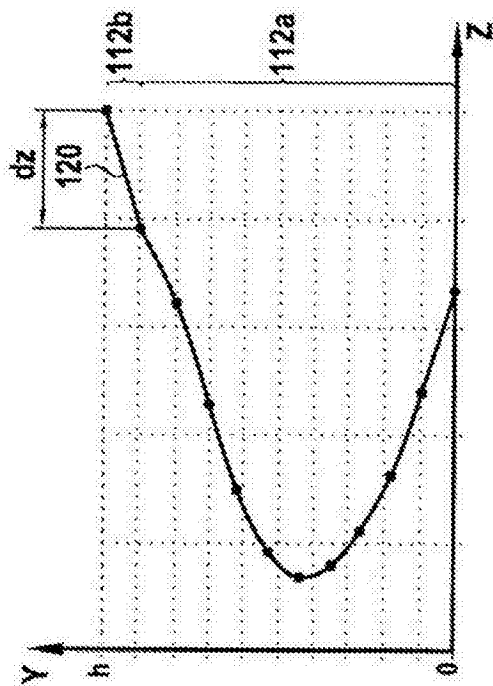


图 7B