



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101842582 A

(43) 申请公布日 2010. 09. 22

(21) 申请号 200880113692. 3

(72) 发明人 P·富格尔桑格 S·博夫

(22) 申请日 2008. 08. 29

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(30) 优先权数据

代理人 原绍辉

07388064. 3 2007. 08. 31 EP

(85) PCT申请进入国家阶段日

(51) Int. Cl.

2010. 04. 28

F03D 1/06 (2006. 01)

(86) PCT申请的申请数据

F01D 5/14 (2006. 01)

PCT/DK2008/000312 2008. 08. 29

(87) PCT申请的公布数据

W02009/026928 EN 2009. 03. 05

(71) 申请人 LM 玻璃纤维制品有限公司

地址 丹麦伦纳斯考

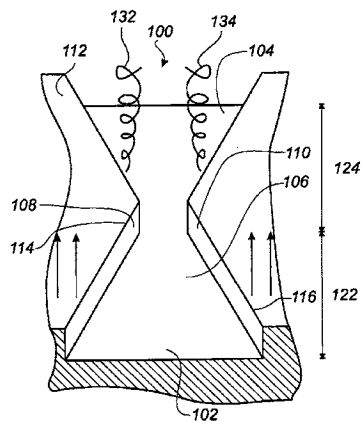
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 6 页

## (54) 发明名称

具有沉没的边界层控制装置的风力涡轮机叶片

## (57) 摘要

一种风力涡轮机叶片包括具有根端和尖端的纵向方向且包括沿横向方向在前缘与后缘之间延伸的弦。所述叶片包括具有吸力侧和压力侧的控流表面。多个边界层控制装置被形成于控流表面中。所述边界层控制装置包括被下沉设置在所述控流表面中的通道,所述通道具有面向所述前缘的第一端和面向所述叶片的所述后缘的第二端。所述通道包括:从所述第一端延伸至所述第二端的底表面;在所述控流表面与所述底表面之间延伸且在所述第一端与所述第二端之间延伸的第一侧壁,所述第一侧壁在所述第一侧壁与所述控流表面之间形成了第一侧壁边缘;和在所述控流表面与所述底表面之间延伸且在所述第一端与所述第二端之间延伸的第二侧壁,所述第二侧壁在所述第二侧壁与所述控流表面之间形成了第二侧壁边缘。所述通道在所述第一端处包括适于对流进行加速的第一流加速通道区段,且在所述第二端处包括第二通道区段,其中所述第一侧壁和所述第二侧壁朝向所述叶片的所述后缘是发散的。



1. 风力涡轮机叶片 (10), 所述风力涡轮机叶片包括具有根端 (16) 和尖端 (14) 的纵向方向且包括沿横向方向在前缘 (18) 与后缘 (20) 之间延伸的弦, 所述叶片 (10) 包括具有吸力侧和压力侧的控流表面, 其特征在于, 在所述控流表面中形成了多个边界层控制装置 (40), 其中所述边界层控制装置 (40) 包括被下沉设置在所述控流表面 (112 ; 212 ; 312 ; 412 ; 512 ; 612) 中的通道, 所述通道具有面向所述前缘 (18) 的第一端 (102 ; 202 ; 302 ; 402 ; 502 ; 602) 和面向所述叶片 (10) 的所述后缘 (20) 的第二端 (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 504 ; 604), 所述通道包括:

- 从所述第一端 (102 ; 202 ; 302 ; 402 ; 502 ; 602) 延伸至所述第二端 (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 504 ; 604) 的底表面 (106 ; 206 ; 306 ; 606);

- 在所述控流表面 (112 ; 212 ; 312 ; 412 ; 512 ; 612) 与所述底表面 (106 ; 206 ; 306 ; 606) 之间延伸且在所述第一端 (102 ; 202 ; 302 ; 402 ; 502 ; 602) 与所述第二端 (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 504 ; 604) 之间延伸的第一侧壁 (108 ; 208 ; 308 ; 408 ; 508 ; 608), 所述第一侧壁 (108 ; 208 ; 308 ; 408 ; 508 ; 608) 在所述第一侧壁 (108 ; 208 ; 308 ; 408 ; 508 ; 608) 与所述控流表面 (112 ; 212 ; 312 ; 412 ; 512 ; 612) 之间形成了第一侧壁边缘 (114 ; 214 ; 314); 和

- 在所述控流表面 (112 ; 212 ; 312 ; 412 ; 512 ; 612) 与所述底表面 (106 ; 206 ; 306 ; 606) 之间延伸且在所述第一端 (102 ; 202 ; 302 ; 402 ; 502 ; 602) 与所述第二端 (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 504 ; 604) 之间延伸的第二侧壁 (110 ; 210 ; 310 ; 410 ; 510 ; 610), 所述第二侧壁 (110 ; 210 ; 310 ; 410 ; 510 ; 610) 在所述第二侧壁 (110 ; 210 ; 310 ; 410 ; 510 ; 610) 与所述控流表面 (112 ; 212 ; 312 ; 412 ; 512 ; 612) 之间形成了第二侧壁边缘 (116 ; 216 ; 316), 且其中

- 所述通道在所述第一端 (102 ; 202 ; 302 ; 402 ; 502 ; 602) 处包括适于对流进行加速的第一流加速通道区段 (122 ; 222 ; 322 ; 622), 且在所述第二端 (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 504 ; 604) 处包括第二通道区段 (124 ; 224 ; 324 ; 624), 其中所述第一侧壁 (108 ; 208 ; 308 ; 408 ; 508 ; 608) 和所述第二侧壁 (110 ; 210 ; 310 ; 410 ; 510 ; 610) 朝向所述叶片 (10) 的所述后缘 (20) 是发散的。

2. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮机叶片, 其中所述边界层控制装置 (40) 被布置在所述叶片的所述吸力侧上。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的风力涡轮机叶片, 其中所述第一侧壁 (108 ; 208 ; 308 ; 408 ; 508 ; 608) 和所述第二侧壁 (110 ; 210 ; 310 ; 410 ; 510 ; 610) 在所述第一流加速通道区段 (122 ; 222 ; 322 ; 622) 中是不发散的。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中所述第一流加速区段 (122 ; 222 ; 322 ; 622) 具有朝向所述叶片 (10) 的所述后缘减小的剖面积。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中位于所述第二通道区段 (124 ; 224 ; 324 ; 624) 中的所述第一侧壁 (108 ; 208 ; 308 ; 408 ; 508 ; 608) 和所述第二侧壁 (110 ; 210 ; 310 ; 410 ; 510 ; 610) 是发散的, 且发散角度大于 10 度, 或另一种可选方式是大于 25 度, 或另一种可选方式是大于 45 度。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中所述第一侧壁 (108 ; 208 ; 308 ; 408 ; 508 ; 608) 具有第一高度且所述第二侧壁 (110 ; 210 ; 310 ; 410 ; 510 ; 610) 具有第二高度, 其中所述第一流加速通道区段 (122 ; 222 ; 322 ; 622) 中的所述第一高度和所述第二高度向着所述叶片 (10) 的所述后缘 (20) 减少。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片,其中所述第一侧壁(108;208;308;408;508;608)和/或所述第二侧壁(110;210;310;410;510;610)具有介于所述第一流加速通道区段(122;222;322;622)与所述第二通道区段(124;224;324;624)之间的锐利边缘。

8. 根据权利要求1-6中任一项所述的风力涡轮机叶片,其中所述通道包括介于所述第一流加速通道区段(122;222;322;622)与所述第二通道区段(124;224;324;624)之间的中间区段(226),其中所述第一侧壁(108;208;308;408;508;608)和所述第二侧壁(110;210;310;410;510;610)朝向所述叶片(10)的所述后缘(20)而从会聚逐渐变为发散。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片,其中所述第一侧壁(108;208;308;408;508;608)或所述第二侧壁(110;210;310;410;510;610)具有大体上沿所述叶片(10)的所述横向方向的取向。

10. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片,其中所述第一侧壁(108;208;308;408;508;608)和所述第二侧壁(110;210;310;410;510;610)的取向相对于所述叶片的所述横向方向成一定角度。

11. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片,其中所述第一流加速通道区段(122;222;322;622)包括用于对所述流进行加速的多个通风孔(652)。

12. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片,其中所述通道的高度在所述通道的纵向位置处介于所述弦长的0.1%与5%之间,或另一种可选方式是介于0.2%与3.5%之间,或另一种可选方式是介于0.5%与2%之间。

13. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片,其中所述叶片被分成:

位于最接近所述根端的位置处的具有大体上呈圆形或椭圆形的外形轮廓的根部区域(30);

位于最远离所述根端且最接近所述尖端的位置处的具有产生升力的外形轮廓的翼面区域(34);和

介于所述根部区域(30)与所述翼面区域(34)之间的过渡区域(32),所述过渡区域(32)的外形轮廓沿径向方向从所述根部区域的所述圆形或椭圆形外形轮廓逐渐变为所述翼面区域的所述产生升力的外形轮廓。

14. 根据权利要求13所述的风力涡轮机叶片,其中所述多个边界层控制装置(40)仅被设置在所述翼面区域(34)中。

15. 根据权利要求13所述的风力涡轮机叶片,其中所述多个边界层控制装置(40)被设置在所述翼面区域(34)和所述过渡区域(32)中。

16. 一种风力涡轮机转子,所述风力涡轮机转子包括多个,优选两个或三个,根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片。

17. 一种风力涡轮机,所述风力涡轮机包括多个根据权利要求1-15所述的叶片或根据权利要求16所述的风力涡轮机转子。

## 具有沉没的边界层控制装置的风力涡轮机叶片

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种风力涡轮机叶片,所述风力涡轮机叶片包括具有根端和尖端的纵向方向且包括沿横向方向在前缘与后缘之间延伸的弦,所述叶片包括具有吸力侧和压力侧的控流表面。

### 背景技术

[0002] 在许多情况下,都希望有一种可在这样的区域中阻碍或防止在流动介质与控流表面之间出现流分离的方法,在所述区域中,流介质的边界层会由于控流表面的外形轮廓(profile)而经受压力梯度的作用,而这种压力梯度足以导致产生流分离。

[0003] 当粘性流体在风力涡轮机叶片上朝向后缘进行流动时,该流体从静压力较低的区域流向静压力较高的区域,在这一过程中,流体会经受不利的压力梯度的作用。这进一步导致产生了倾向于阻碍边界层的力,所述力足够大以便能够使流动停止或使流动反向,这可导致流体产生分离并出现不可预知的行为。这导致拖曳力由于在控流介质之后的被分离的流的剖面积的原因而增大了,这进一步减小了风力涡轮机叶片的升力且甚至会导致叶片停转。

[0004] 通过将自由流与边界层混合的方式阻碍或防止流分离是众所周知的,这种混合是通过从控流表面伸出,即从风力涡轮机叶片的表面伸出,的涡流发生器实现的。涡流发生器的类型有许多种,例如轮叶型发生器,例如参见 W001/16482,或被成形为德尔塔形伸出件的涡流发生器,正如 W0 00/15961 所述地那样。然而,所有这些涡流发生器都存在拖曳力相对较高的缺点。此外,这些涡流发生器通常在叶片制成之后再被安装在风力涡轮机叶片的表面上,而存在在运输过程中折断的倾向,这可能会严重损伤叶片的功能性。

[0005] US4,455,045 描述了另一种保持流动介质的流被附着在控流构件外部上的方式,其中大体上呈三角形的通道被下沉设置在控流构件表面中。该三角形通道具有面向流动介质的流的顶点部分,且该通道在该顶点部分的表面处显现出来。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种用于风力涡轮机转子的新型叶片,所述叶片克服或改善了至少一个现有技术中所存在的缺点或者提供了另一种有用的可选方式。

[0007] 根据本发明的第一方面,该目的是通过在控流表面中形成的多个边界层控制装置实现的,其中所述边界层控制装置包括被下沉设置在所述控流表面中的通道,所述通道具有面向所述前缘的第一端和面向所述叶片的所述后缘的第二端,所述通道包括:从所述第一端延伸至所述第二端的底表面;在所述控流表面与所述底表面之间延伸且在所述第一端与所述第二端之间延伸的第一侧壁,所述第一侧壁在所述第一侧壁与所述控流表面之间形成了第一侧壁边缘;和在所述控流表面与所述底表面之间延伸且在所述第一端与所述第二端之间延伸的第二侧壁,所述第二侧壁在所述第二侧壁与所述控流表面之间形成了第二侧壁边缘,且其中所述通道在所述第一端处包括适于对流进行加速的第一流加速通道区段,

且在所述第二端处包括第二通道区段,其中所述第一侧壁和所述第二侧壁朝向所述叶片的所述后缘是发散的。

[0008] 当自由流在所述叶片的正常使用过程中,即在水平轴风力涡轮机叶片的转子中旋转的过程中,沿大体上横向的方向在所述风力涡轮机叶片上从所述叶片的所述前缘向所述后缘流动时,所述流首先在所述第一流加速通道区段中受到加速。在所述第二通道区段中,所述流由于这两个侧壁之间的发散角度而与所述第一侧壁和 / 或第二侧壁分离开来,这导致产生了强大的涡流。这些涡流将所述边界层推向所述控流表面且因此防止了所述边界层与所述风力涡轮机叶片的外部分离开来。所述第一流加速通道区段确保了产生强大的涡流,而涡度取决于流速 - 流速越高,涡度越大。这使得提供了一种风力涡轮机转子,其中可朝向所述叶片的后缘阻碍流的脱离或者完全防止流的脱离。因此,可提高所述风力涡轮机叶片的整体升力并提高其效率。

[0009] 优选将多个边界层控制装置布置在所述叶片的所述吸力侧上。所述边界层控制装置,即所述涡流发生通道,通常沿所述叶片的顺翼展方向或纵向方向被布置成阵列。所述边界层控制装置还可沿弦向或横向方向,即沿弦的方向,呈级联布置。

[0010] 根据一个有利实施例,所述第一侧壁和所述第二侧壁在所述第一流加速通道区段中是不发散的,即,所述第一侧壁和所述第二侧壁可以是平行的或者会聚的。

[0011] 根据所述边界层控制装置的一个实施例,所述第一流加速区段中的所述通道具有沿所述流的方向减小的剖面积。这使得可以简单的方式在到达该部分之前对所述流进行加速,其中所述通道的侧壁是发散的且其中产生了所述涡流。

[0012] 在根据本发明的另一实施例中,位于所述第二通道区段中的所述第一侧壁和所述第二侧壁是发散的,且发散角度大于 10 度,或者大于 25 度,或者大于 35 度,或者大于 45 度。因此,所述侧壁在所述第二通道区段的至少一部分中形成了这种角度,优选在最接近所述第二端的部分处形成了这种角度。

[0013] 在根据本发明的又一实施例中,所述第一侧壁具有第一高度且所述第二侧壁具有第二高度,其中所述第一流加速通道区段中的所述第一高度和所述第二高度向着所述叶片的所述后缘减少,即沿所述流的方向减少。这提供了沿所述流的方向减少所述第一流加速通道区段的剖面积的第一种解决方案,从而实现了所述流的高效加速。此外或另一种可选方式是,所述第一侧壁和所述第二侧壁可在所述第一流加速区段中朝向所述叶片的所述后缘会聚或者等同地沿所述流的方向会聚。

[0014] 根据一个实施例,所述第一侧壁和 / 或所述第二侧壁具有介于所述第一通道区段与所述第二通道区段之间的锐利边缘。换句话说,所述第一侧壁与所述第二侧壁之间的横向距离可沿所述流的方向不连续地变化。这提供了一个实施例,其中所述流在所述第二通道区段的面向所述流的端部之后且与其紧接着的位置处与所述第一侧壁和所述第二侧壁分离。另一种可选方式是,所述通道可包括介于所述第一流加速通道区段与所述第二通道区段之间的中间区段,其中所述第一侧壁和所述第二侧壁朝向所述叶片的所述后缘而从会聚逐渐变为发散。

[0015] 根据所述风力涡轮机叶片的一个实施例,所述第一侧壁或所述第二侧壁具有大体上沿所述叶片的所述横向方向的取向,即与所述流动介质的所述流是对齐的。即,所述通道具有平行于所述流向的一个侧壁,和形成了所述通道的所述会聚和发散部分的另一侧壁。

该实施例仅产生了单组的涡流。

[0016] 根据另一实施例,所述第一侧壁和所述第二侧壁的取向相对于所述叶片的所述横向方向成一定角度,即,与所述流动介质的所述流并不是对齐的。因此使得两个侧壁都不平行于所述流向。该实施例可产生两组涡流。所述构型中的仅产生了单组涡流的所述侧壁的发散角度可小于该构型的发散角度(约为其一半)。

[0017] 根据另一可选实施例,所述第一流加速通道区段包括用于对所述流进行加速的多个通风孔。如果所述控流构件被构造为具有内表面和外表面的壳体构件,如风力涡轮机叶片,则所述通风孔可适于在所述控流构件的所述内部与外部之间连通。这提供了另一种在所述第一流加速区段中对所述流进行加速的简单解决方案。

[0018] 在根据本发明的一个实施例中,所述第一侧壁边缘和/或所述第二侧壁边缘是相对锐利的边缘,即所述侧壁和所述控流表面形成了约 90 度的角度。然而,所述边缘并不一定是约 90 度才能让所述涡流发生通道有意发挥作用。因此,所述第一侧壁和所述第二侧壁还可在剖面上是发散的,从而使得所述第一侧壁边缘和所述第二侧壁边缘形成了大于 90 度的角度。

[0019] 在根据本发明的另一实施例中,所述第一侧壁边缘和/或所述第二侧壁边缘延伸超出了所述控流表面。这可例如通过在所述通道上方形成唇缘的方式实现。由此使得所述通道并不具有锐利边缘,由此使得更易于模制成型出具有所述控流表面的物体。

[0020] 所述底表面还可沿所述流向是凸出或凹进的。当从所述通道的剖面观察时,所述底表面可以是圆的或大体上平的。

[0021] 所述通道还可设有被布置在所述第一流加速通道区段之前的入口和/或设有被布置在所述第二通道区段之后的出口。因此,所述通道可在所述入口的端部处或在所述第一流加速通道区段的端部处而在所述控流表面处显现出来,且在所述第二通道区段的端部处或者在所述出口的端部处显现出来。所述第一侧壁和所述第二侧壁可大体上平行于所述通道的所述入口和所述出口内的流向。所述通道还可具有较小程度的不连续性,即所述通道或侧壁的高度可呈步阶式下降。

[0022] 在使用过程中,所述风力涡轮机叶片被安装到转子叶毂上。所述叶片通常被分成位于最接近所述叶毂的位置处的具有大体上呈圆形的外形轮廓(profile)的根部区域、位于最远离所述叶毂的位置处的具有产生升力的外形轮廓的翼面区域、和介于所述根部区域与所述翼面区域之间的过渡区域,所述过渡区域的外形轮廓沿径向方向从所述根部区域的所述圆形外形轮廓逐渐变为所述翼面区域的所述产生升力的外形轮廓。

[0023] 所述边界层控制装置被主要定位在所述叶片的具有外形轮廓的部分上,即所述叶片的所述翼面区域且可选地所述叶片的所述过渡区域。

[0024] 如果从所述前缘观察的话,所述边界层控制装置的所述弦向位置可介于所述弦的 10% 与 80% 之间。另一种可选方式是,如果从所述前缘观察的话,所述边界层被定位在所述弦的 20% 与 70% 之间延伸的区域内。总的来说,所述边界层控制装置被用于阻碍分离,其中前向位置,即接近所述前缘的位置,被用于阻碍停转,且后向位置,即远离所述前缘的位置,被用于提高效率。

[0025] 根据所述风力涡轮机叶片的一个有利实施例,所述通道的高度介于所述弦长的 0.1% 与 5% 之间,或另一种可选方式是介于 0.2% 与 3.5% 之间,或另一种可选方式是介于

0.5%与2%之间。这些高度有效地产生了所需尺寸的涡流。所述的通道高度通常位于这样的位置处,在该位置处会产生所述涡流,即位于所述发散的第二个通道区段的起始部分之后紧挨着该起始部分的位置处。总的来说,所述涡流优选对应于所述通道和/或所述边界层的高度。

[0026] 根据另一有利实施例,所述边界层控制装置适于产生这样的涡流,所述涡流的高度与所述第一侧壁和/或所述第二侧壁的高度是大体上相同的。

[0027] 根据本发明的叶片的一个优选实施例,所述风力涡轮机叶片被构造为纤维增强聚合物的壳体构件。所述通道可在所述模制成型过程中被成形于所述风力涡轮机叶片的表面中,所述成形是通过在阴模中形成突部的方式实施的,或者是通过将所述风力涡轮机叶片的表面中的可溶材料模制成型为条带的方式实施的,所述可溶材料的条带在模制成型之后即被溶解,以便形成所述产生涡流的通道。所述通道也可在模制成型之后被成形于所述叶片的表面中,所述成形例如是通过磨削实施的。

[0028] 根据第二方面,本发明还提供了一种风力涡轮机转子,所述风力涡轮机转子包括多个,优选两个或三个,前述风力涡轮机转子。根据第三方面,本发明提供了一种包括这种风力涡轮机转子或多个这种风力涡轮机转子的风力涡轮机。

[0029] 当然,所述边界层控制装置的多个实施例也可用于其它控流构件,即具有控流表面的控流构件,其中所述控流构件设有边界层控制装置以便保持流动介质的流被附着在所述控流构件的外部上,所述流具有流向,其中所述边界层控制装置包括:被下沉设置在所述控流表面中的通道,所述通道具有:面向所述流动介质的所述流的第一端;被定位在所述流动介质的所述流中而位于所述第一端下游的第二端;从所述第一端延伸至所述第二端的底表面;在所述控流表面与所述底表面之间延伸且在所述第一端与所述第二端之间延伸的第一侧壁,所述第一侧壁在所述第一侧壁与所述控流表面之间形成了第一侧壁边缘;和在所述控流表面与所述底表面之间延伸且在所述第一端与所述第二端之间延伸的第二侧壁,所述第二侧壁在所述第二侧壁与所述控流表面之间形成了第二侧壁边缘,其中所述通道在所述第一端处包括第一加速通道区段,其中所述流被加速,且所述通道在所述第二端处包括第二通道区段,其中所述第一侧壁和所述第二侧壁沿所述流向是发散的。

## 附图说明

[0030] 下面将结合附图对本发明进行详细描述,其中:

[0031] 图1示出了风力涡轮机;

[0032] 图2是根据本发明的风力涡轮机叶片的示意图;

[0033] 图3是边界层控制装置的第一实施例;

[0034] 图4是边界层控制装置的第二实施例;

[0035] 图5是边界层控制装置的第三实施例;

[0036] 图6是作为边界层控制装置的一部分的通道的剖视图;

[0037] 图7是作为边界层控制装置的一部分的通道的第二剖视图;

[0038] 图8是边界层控制装置的第四实施例;

[0039] 图9是边界层控制装置的第五实施例;和

[0040] 图10是边界层控制装置的第六实施例。

## 具体实施方式

[0041] 图 1 示出了根据所谓“丹麦概念”的常规的现代风力涡轮机,所述风力涡轮机具有支柱 4、短舱 6 和具有大体上水平的转子轴的转子。该转子包括叶毂 8 和从叶毂 8 沿径向延伸的三个叶片 10,每个叶片具有最接近叶毂的叶片根部 16 和最远离叶毂 8 的叶片尖端 14。

[0042] 图 2 示出了根据本发明的风力涡轮机的一个实施例的示意图。风力涡轮机叶片 10 包括根据本发明的多个边界层控制装置 40,所述边界层控制装置被成形为位于风力涡轮机叶片 10 的吸力侧的表面中的沉没通道 (submerged channel)。

[0043] 风力涡轮机叶片 10 具有常规风力涡轮机叶片的形状且包括最接近叶毂的根部区域 30、最远离叶毂的具有外形轮廓的区域或翼面区域 34 和介于根部区域 30 与翼面区域 34 之间的过渡区域 32。叶片 10 包括在该叶片被安装在叶毂上时面向叶片 10 的旋转方向的前缘 18,和面向前缘 10 的相对方向的后缘 20。

[0044] 翼面区域 34 (也被称作外形轮廓区域) 具有在产生升力方面理想化或几乎理想化的叶片形状,而根部区域 30 则具有大体上圆形或椭圆形的剖面,这减少了阵风带来的载荷且使得能够更容易也更安全地将叶片 10 安装到叶毂上。根部区域 30 的直径沿整个根部区域 30 是大体上恒定的。过渡区域 32 具有从根部区域 30 的圆形形状逐渐变为翼面区域 34 的翼面形状的形状,可选地具有中间的椭圆形状。过渡区域 32 的宽度通常随着与叶毂之间距离 L 的增加而大体上线性地增加。

[0045] 翼面区域 34 具有翼面外形轮廓,所述翼面外形轮廓具有在叶片 10 的前缘 18 与后缘 20 之间延伸的弦。弦的宽度随着与叶毂之间距离 L 的增加而减少。应该注意到:位于叶片的不同部段中的弦并不一定要位于共同的平面中,这是因为叶片可能是扭曲和 / 或弯曲的 (即预弯的),因此使得弦平面具有相应的扭曲和 / 或弯曲的延伸路线,当为了补偿叶片的局部速度时,这种情况最为常见,所述局部速度取决于距离叶毂的半径。

[0046] 边界层控制装置 40 沿叶片的翼展方向或纵向方向 L 被布置成阵列。各条通道的尺寸在图中被大大夸张了,且通常与风力涡轮机叶片相比要小得多。因此,风力涡轮机叶片沿风力涡轮机的纵向方向 L 所包括的边界层控制装置 40 的数量可多得多。

[0047] 边界层控制装置 40 被用于在边界层控制装置 40 的通道内产生紊流的涡流,所述涡流对流动介质的边界层进行拉动,所述流动介质朝向风力涡轮机叶片的表面从前缘 18 流过风力涡轮机叶片 10 的表面而流至后缘 20,因此防止边界层与风力涡轮机叶片 10 的外部分离。边界层控制装置 40 可沿叶片 10 的弦向方向 (或等效地沿横向方向) 呈级联布置,以便沿叶片 10 的弦向方向 L 连续地产生涡流。

[0048] 边界层控制装置 40 可以是图 3- 图 10 所示实施例中的任何实施例或其组合。

[0049] 图 3 示出了用于保持流动介质的流被附着在控流构件的外部上的边界层控制装置 100 的第一实施例的示意图,所述控流构件例如为风力涡轮机叶片,所述控流构件具有控流表面 112。边界层控制装置 100 包括通道,所述通道被下沉设置在控流表面 112 中。通道沿自由流的方向延伸,所述自由流具有流向,如图中箭头所示。通道包括面向自由流的第一端 102 和被定位在所述流动介质的所述流中而位于第一端 102 下游的第二端 104。

[0050] 通道包括从第一端 102 延伸至第二端 104 的底表面 106。通道进一步包括在控流表面 112 与底表面 106 之间延伸的第一侧壁 108 和在控流表面 112 与底表面 106 之间延伸



的第二侧壁 110。第一侧壁 108 与控流表面 112 形成了第一侧壁边缘 114,且第二侧壁 110 与控流表面 112 形成了第二侧壁边缘 116。

[0051] 通道包括位于通道的第一端 102 处的第一流加速通道区段 122 和位于通道的第二端 104 处的第二通道区段 124。在第一流加速通道区段 122 中,通道的剖面积沿流向减小,这提供了对通过该通道的流进行加速的简单解决方案。在所示实施例中,通过沿流向会聚的第一侧壁 108 和第二侧壁 110 使剖面积沿流向减小。然而,也可通过以下方式减小剖面积:使第一侧壁 108 与第二侧壁平行,例如平行于自由流,且使控流表面 112 与底表面 106 之间的距离沿流向减小;即,使通道的高度沿流向减小。

[0052] 在第二通道区段 124 中,第一侧壁 108 和第二侧壁 110 沿流向是发散的。因此,已在该第一流加速通道区段 122 中被加速的流与第一侧壁 108 和第二侧壁 110 脱离开来。因此,在第一侧壁 108 和第二侧壁 110 处产生了局部的欠压,这进一步使得分别产生了第一组紊流涡流 132 和第二组紊流涡流 134。这些涡流组 132、134 将流动介质的边界层拉向控流表面 112,这确保了边界层可在流的下游更远的位置处进行分离或者可完全防止这种分离。如果控流构件是风力涡轮机叶片的话,则意味着可改善叶片的整体升力。

[0053] 在图 3 所示实施例中,第一流加速通道区段 122 和第二通道区段 124 通过锐利边缘分开,即,通道的宽度沿流向是不连续的。

[0054] 涡流的高度应该大体上对应于通道的高度,即对应于底表面 106 与控流表面 112 之间的距离,以便高效地保持流被附着在控流构件的表面上。

[0055] 图 4 示出了边界层控制装置 200 的第二实施例。在该图中,相似的附图标记表示与第一实施例相似的部件。因此,以下仅对第一实施例与第二实施例之间的不同进行描述。第二实施例与第一实施例的不同之处在于:第二实施例包括介于第一流加速通道区段 222 与第二通道区段 226 之间的中间区段 226,而不是用锐利边缘使第一流加速通道区段 222 与第二通道区段 226 分离开来。

[0056] 图 5 示出了边界层控制装置 300 的第三实施例,其中相似的附图标记表示与第一实施例相似的部件。因此,以下仅对第一实施例与第三实施例之间的不同进行描述。该实施例与第一实施例的不同之处在于:无论在第一流加速通道区段 322 内还是在第二通道区段 324 内,第二侧壁 310 都大体上平行于自由流的流向(如箭头所示)。因此,流仅在第二流通道区段中才与第一侧壁 308 分离,因此仅产生了一组涡流 332。

[0057] 在图 3-图 5 所示的实施例中,第一侧壁边缘和第二侧壁边缘被示作具有约 90 度的角度。然而,第一侧壁边缘和第二侧壁边缘还可伸出而超出控流表面并且在通道上方形成唇缘 60、62,如图 6 所示,该图示出了根据本发明的通道的剖面。此外,分别在第一侧壁与底表面之间形成的第一底边缘 64 和在第二侧壁与底表面之间形成的第二底边缘 66 可以呈圆形。因此,通道并不具有任何锐利边缘,由此使得更易于用模制成型技术制造出具有这种控流表面的物体。通道的底表面甚至也可呈圆形,如图 7 所示。

[0058] 图 8 示出了用于保持流被附着在控流构件的外部上的边界层控制装置的第四实施例,且该边界控制装置是图 3 所示实施例的一种变型。边界层控制装置包括下沉设置控流表面 412 中的通道且具有第一端 402 和第二端 404。通道的侧部由第一侧壁 408 和第二侧壁 410 限定,所述第一侧壁和所述第二侧壁分别具有第一高度和第二高度。第一侧壁 408 和第二侧壁 410 在第一流加速区段与第二通道区段之间具有最大高度。第一高度和第二高

度从该最大高度位置朝向第一端 402 和第二端 404 减小,从而使得通道在第一端 402 和第二端 404 处在控流表面 412 处显现出来。

[0059] 图 9 示出了边界层控制装置的第五实施例,其中相似的附图标记表示与第四实施例相似的部件。该实施例与第四实施例的不同之处在于:第一高度和第二高度在第一流加速通道区段和第二通道区段中是大体上恒定的。代替地,通道设有入口区域 542,其中第一侧壁 508 和第二侧壁 510 大体上平行于自由流的流向,如箭头所示。第一高度和第二高度在入口区域中朝向第一端 502 减小,以使得通道在第一端 502 处在控流表面 512 处显现出来。此外,通道设有出口区域 542,在所述出口区域处,第一侧壁 508 和第二侧壁 510 大体上平行于自由流的流向。第一高度和第二高度在出口区域 544 中朝向第二端 504 减小,以使得通道在第二端 504 处在控流表面 512 处显现出来。

[0060] 图 10 示出了边界层控制装置的第六实施例,其中相似的附图标记表示与第一实施例相似的部件。因此,下面仅对第一实施例与第六实施例之间的不同之处进行描述。该实施例与第一实施例的不同之处在于:第一侧壁 508 和第二侧壁 510 在第一流加速通道区段 622 中大体上平行于自由流的流向。代替地,流的加速是由多个通风孔 652 提供的,所述通风孔可通换空气,如压缩空气,而使空气从控流构件的内部离开并进入第一流加速通道区段 622 中的通道内。通风孔 652 可被布置在底表面 606 中或被布置在通道的第一端 602 处的端面中。

[0061] 上文已经结合优选实施例对本发明进行了描述。然而,本发明的范围并不限于如图所示的实施例,且可在不偏离本发明的范围的情况下对本发明作出改变和变型。例如,相邻边界层控制装置的第二通道区段可合并成共用通道区段。

[0062] 附图标记列表

[0063] 在附图标记中, x 表示特定实施例,因此,例如 402 表示第四实施例的第一端。

[0064]

2	风力涡轮机
4	支柱
6	短舱
8	叶毂
10	叶片
14	叶片尖端
16	叶片根部
18	前缘

2	风力涡轮机
20	后缘
30	根部区域
32	过渡区域
34	翼面区域
40	边界层控制装置
60、62	唇缘
64	第一底边缘
66	第二底边缘
x00	边界层控制装置
x02	第一端
x04	第二端
x06	底表面
x08	第一侧壁
x10	第二侧壁
x12	控流表面
x14	第一侧壁边缘
x16	第二侧壁边缘
x22	第一流加速通道区段
x24	第二通道区段
x26	中间通道区段

2	风力涡轮机
x32	第一组涡流
x34	第二组涡流
x42	入口
x44	出口
x52	通风孔

[0065]

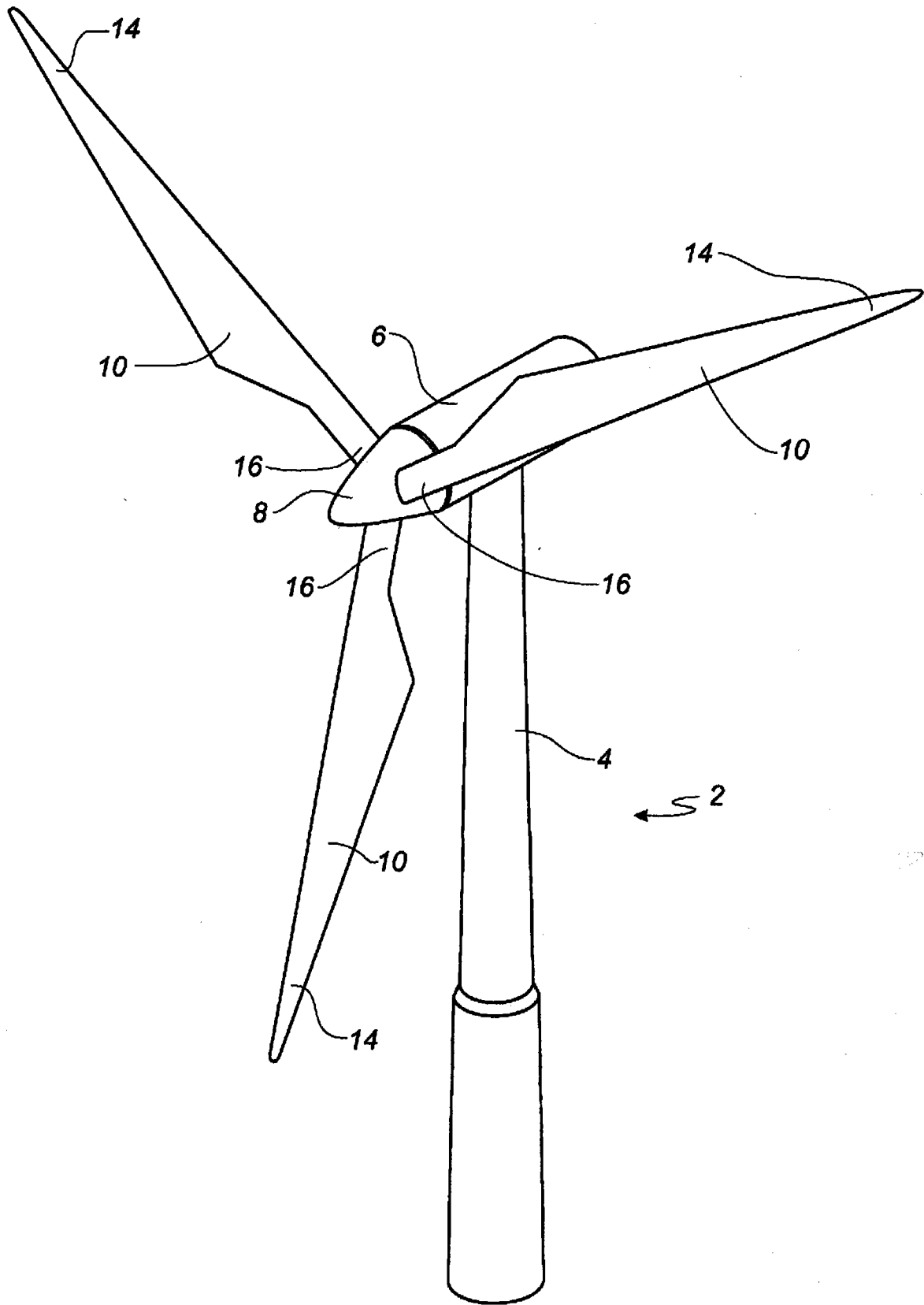


图 1

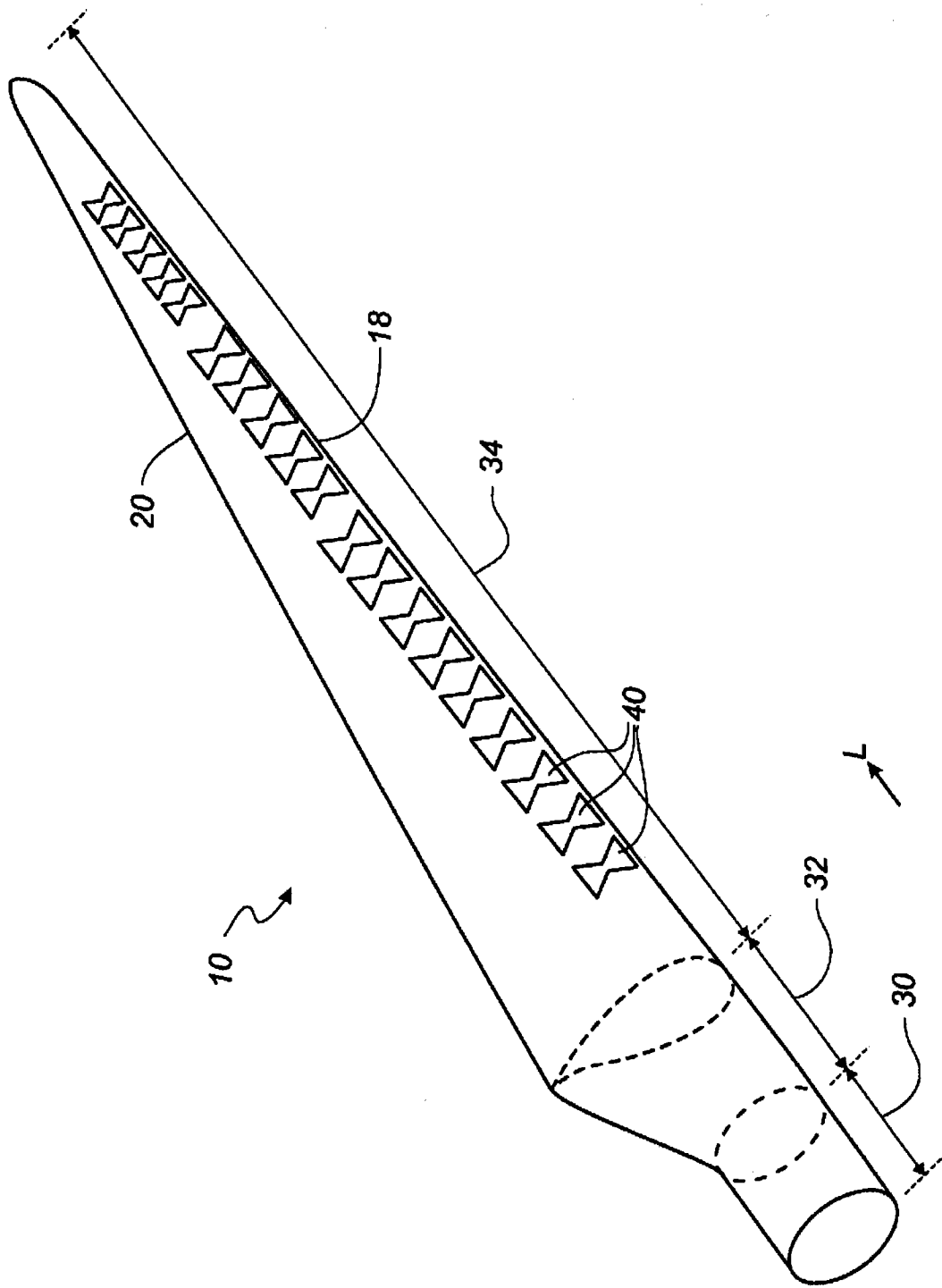


图 2

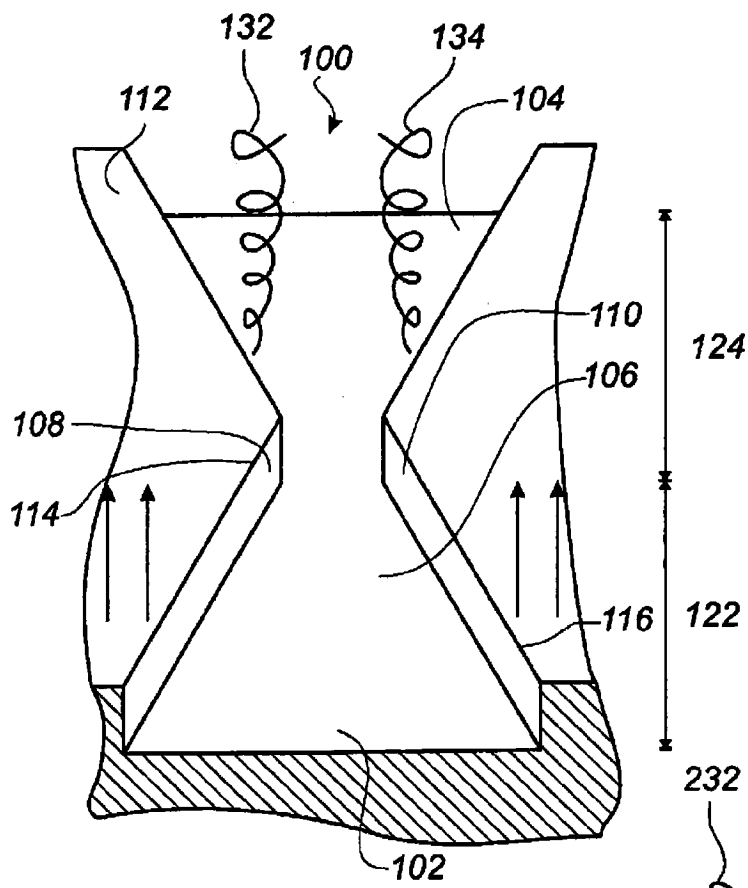


图 3

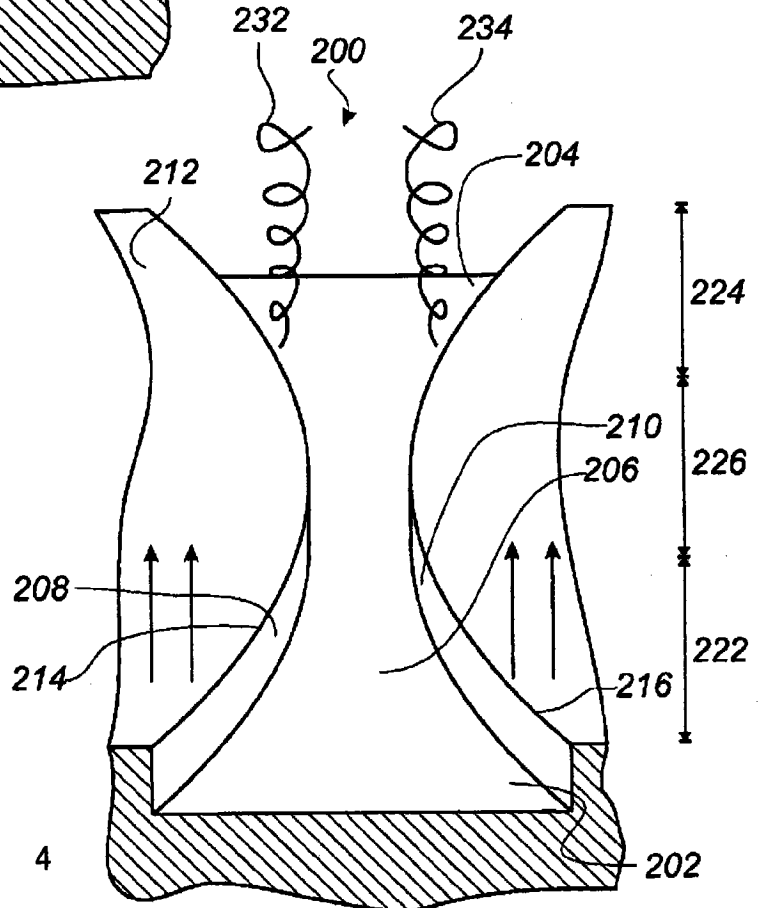


图 4

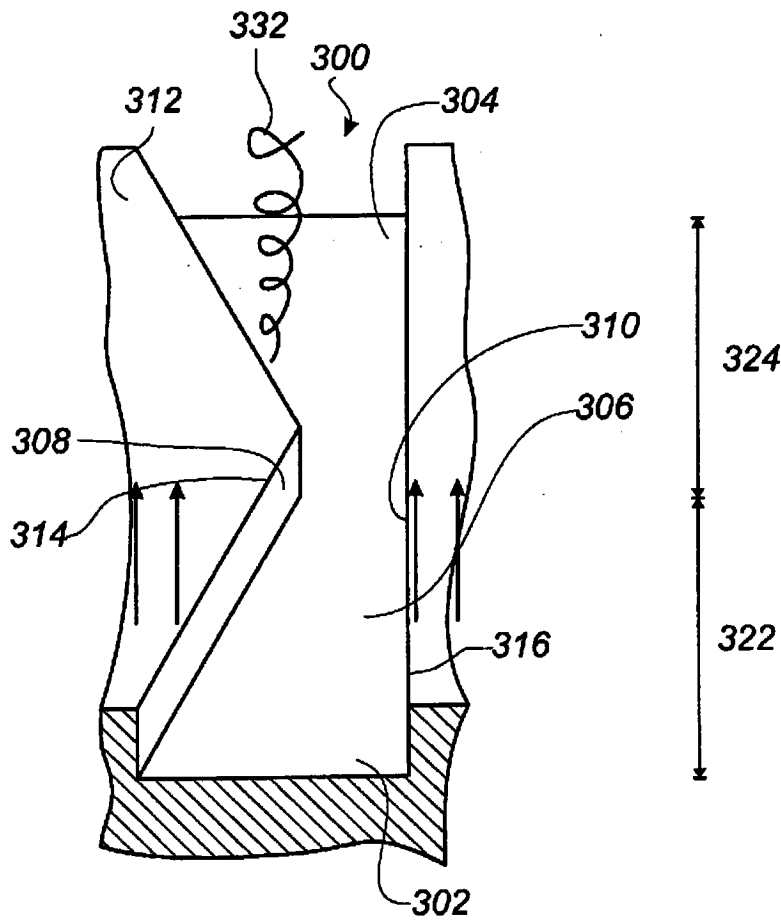


图 5

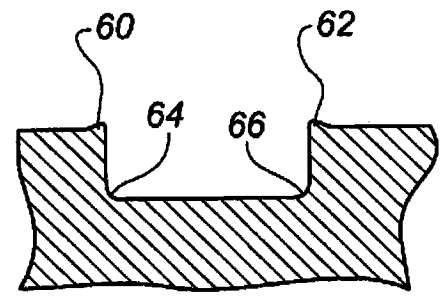


图 6

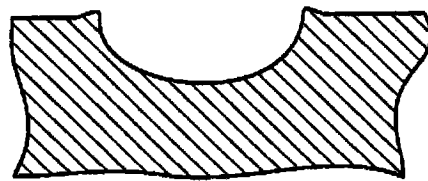


图 7



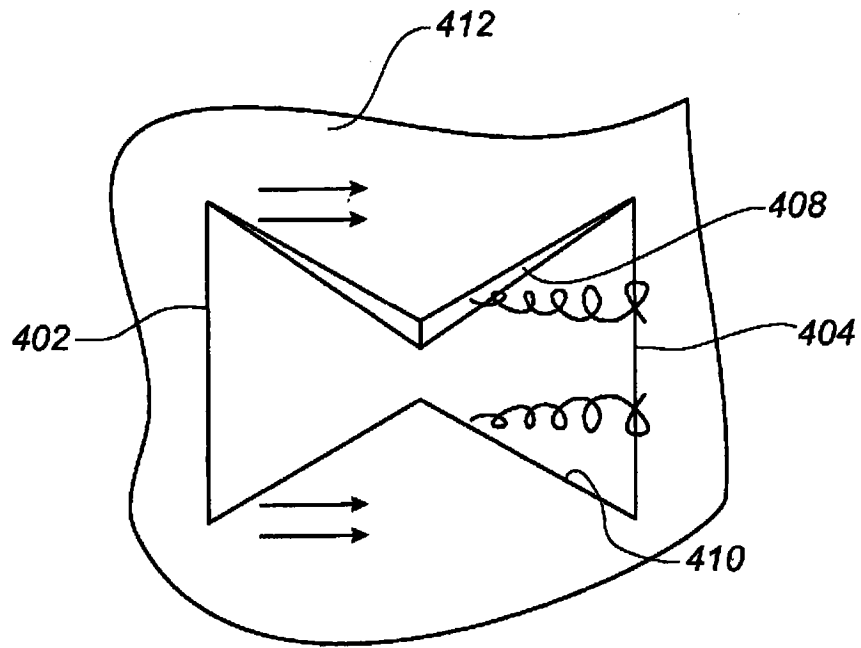


图 8

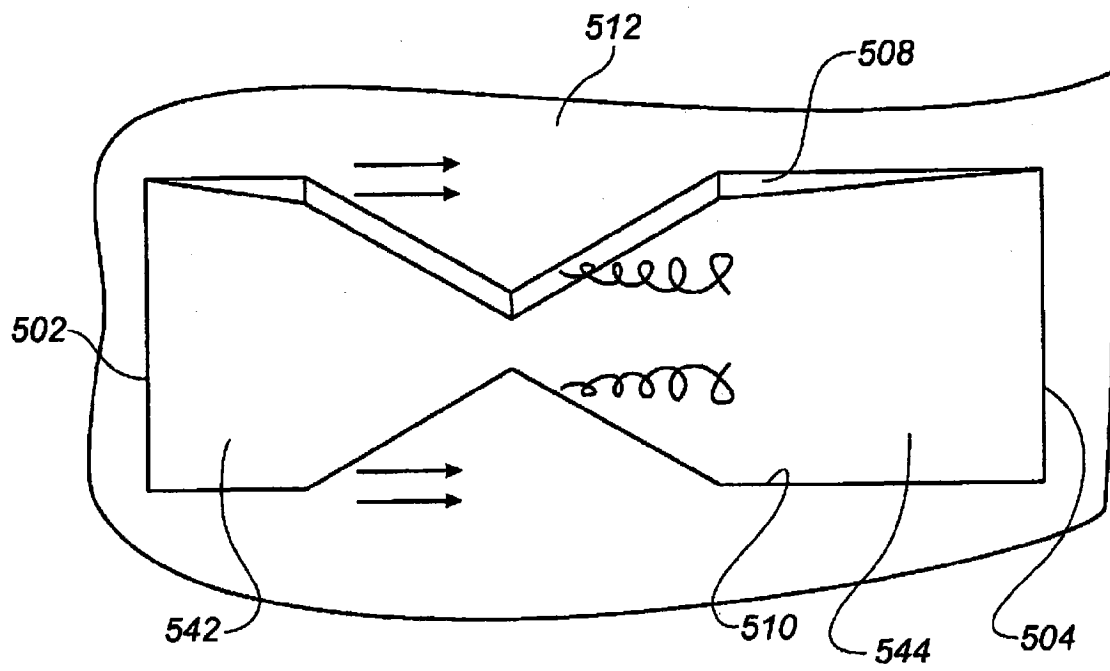


图 9

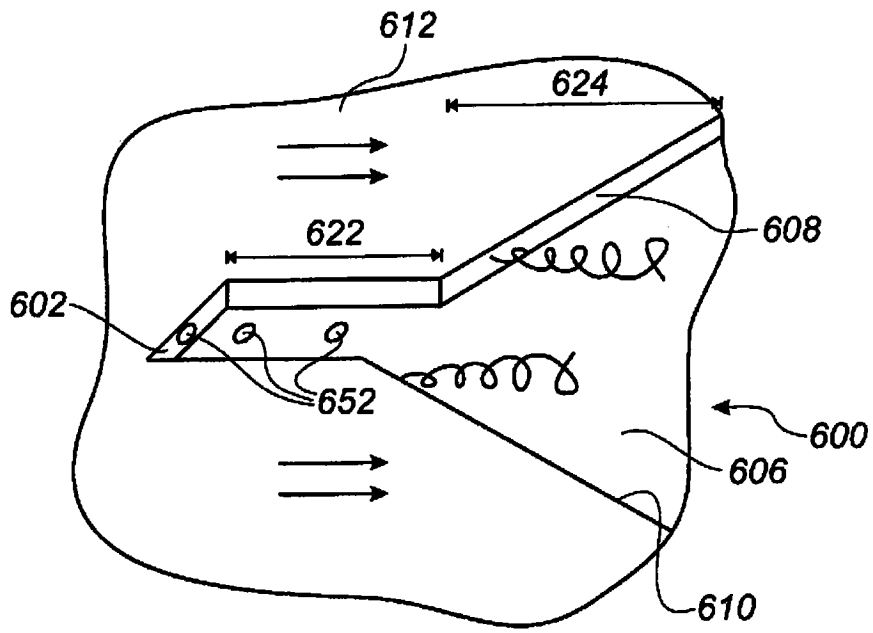


图 10