



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101297112 B

(45) 授权公告日 2011. 10. 05

(21) 申请号 200580051968. 6

(22) 申请日 2005. 11. 03

(85) PCT申请进入国家阶段日
2008. 04. 29

(86) PCT申请的申请数据
PCT/DK2005/000702 2005. 11. 03

(87) PCT申请的公布数据
W02007/051465 EN 2007. 05. 10

(73) 专利权人 维斯塔斯风力系统有限公司
地址 丹麦兰讷斯

(72) 发明人 A·贝奇

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247
代理人 马江立 吴鹏

(51) Int. Cl.

F03D 1/06 (2006. 01)

F03D 11/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1513084 A, 2004. 07. 14, 全文.

CN 1318135 A, 2001. 10. 17, 全文.

W0 95/21327 A1, 1995. 08. 10, 全文.

W0 99/32789 A1, 1999. 07. 01, 全文.

CN 1610794 A, 2005. 04. 27, 说明书第 3 ~ 4
页以及附图 1 ~ 3.

审查员 王轶凡

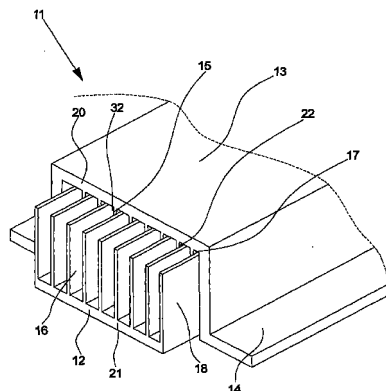
权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图 8 页

(54) 发明名称

包括一个或多个振动阻尼器的风轮机叶片

(57) 摘要

本发明涉及一种风轮机叶片 (5), 其包括一个或多个用于抑制风轮机叶片 (5) 的振动或振荡的振动阻尼器 (11)。该阻尼器 (11) 包括一个或多个具有一个或多个第一阻尼器部分表面 (17) 的第一阻尼器部分 (13)。该第一阻尼器部分 (13) 刚性地连接到所述叶片 (5) 以及 / 或者作为所述叶片 (5) 的一部分。该阻尼器 (11) 还包括一个或多个具有一个或多个第二阻尼器部分表面 (18) 的第二阻尼器部分 (12), 其中第一阻尼器部分表面 (17) 和第二阻尼器部分表面 (18) 布置成在振动期间彼此相对运动。所述阻尼器 (11) 还包括使第一阻尼器部分表面 (17) 和第二阻尼器部分表面 (18) 直接或间接联接的载荷传递联接器 (32), 以使所述相对运动导致动能的振动阻尼耗散。本发明还涉及一种风轮机 (1)、一种振动阻尼器 (11) 以及一种用于抑制风轮机叶片 (5) 的振动的方法及其使用。



1. 一种风轮机叶片 (5), 包括一个或多个用于抑制风轮机叶片 (5) 的振动的振动阻尼器 (11), 所述阻尼器 (11) 包括:

一个或多个第一阻尼器部分 (13), 其具有一个或多个第一阻尼器部分表面 (17), 所述第一阻尼器部分 (13) 刚性地连接到所述叶片 (5) 以及 / 或者作为所述叶片 (5) 的一部分, 一个或多个第二阻尼器部分 (12), 其具有一个或多个第二阻尼器部分表面 (18),

其中, 所述第一阻尼器部分表面 (17) 和所述第二阻尼器部分表面 (18) 布置成在振动期间彼此相对运动, 所述阻尼器 (11) 还包括使所述第一阻尼器部分表面 (17) 和所述第二阻尼器部分表面 (18) 直接或间接联接的载荷传递联接器 (32), 以使所述相对运动导致动能的振动阻尼耗散。

2. 根据权利要求 1 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个振动阻尼器 (11) 安放在所述风轮机叶片 (5) 的由该叶片 (5) 总长度 (BL) 的靠内的 80% (XL) 构成的部分上或该部分内, 所述长度是从所述叶片 (5) 的根部 (9) 测量的。

3. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个振动阻尼器 (11) 安放在所述风轮机叶片的后缘 (7) 内、该后缘上或该后缘附近。

4. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述第二阻尼器部分 (12) 基本是非柔性的。

5. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 的弹性模量和密度之间的比值关系为大于 $10\text{MPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ 。

6. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 由纤维增强式聚合物基体合成物制成。

7. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述载荷传递联接器 (32) 具有高的载荷传递能力, 该能力至少优于水载荷传递能力。

8. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 和 / 或所述一个或多个第一阻尼器部分 (13) 具有细长的形状。

9. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个第一阻尼器部分 (13) 包括一个或多个空腔 (22), 所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 基本位于所述空腔内。

10. 根据权利要求 9 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个空腔 (22) 包括一个以上的所述第二阻尼器部分 (12)。

11. 根据权利要求 9 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个空腔 (22) 形成成为孔口、狭缝和 / 或间隙。

12. 根据权利要求 9 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个以上的第二阻尼器部分 (12) 基本首尾相连地放置在所述一个或多个空腔 (22) 内。

13. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 和 / 或所述一个或多个第一阻尼器部分 (13) 包括隔离和 / 或固定装置 (23, 24), 以基本防止所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 至少沿纵向方向自由移动。

14. 根据权利要求 13 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述隔离装置 (23) 是安放在所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 的端部之间或端部处的体积补偿材料。

15. 根据权利要求 13 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述固定装置 (24) 包括用于在

所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 的纵向方向的中部处或该中部附近固定所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 的装置。

16. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述第一阻尼器部分表面 (17) 和所述第二阻尼器部分表面 (18) 通过半液态物质 (19) 联接。

17. 根据权利要求 16 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述半液态物质 (19) 包围所述一个或多个第二阻尼器部分 (12)。

18. 根据权利要求 16 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述半液态物质 (19) 在 20℃ 下的粘度为 50-200,000Pa·s。

19. 根据权利要求 16 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述半液态物质 (19) 具有大于 80 的粘度指数。

20. 根据权利要求 16 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述半液态物质 (19) 完全被所述一个或多个第一阻尼器部分 (13) 和 / 或所述叶片 (5) 包围。

21. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个第一阻尼器部分 (13) 一体地形成在所述叶片 (5) 的载荷传递结构内。

22. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个振动阻尼器 (11) 安放在所述风轮机叶片 (5) 内和 / 或叶片上的其中由叶片 (5) 的边缘向振动引起的张力最大的位置内、该位置上或该位置附近。

23. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 的纵向尺寸为 10-10,000mm。

24. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 第一阻尼器部分表面 (17) 和第二阻尼器部分表面 (18) 之间的距离 (S) 为 0.001-2mm。

25. 根据权利要求 1 或 2 的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述一个或多个振动阻尼器 (11) 主要设置用于抑制所述风轮机叶片 (5) 的沿边缘方向的振动。

26. 一种风轮机 (1), 包括至少一个根据前述权利要求之一的风轮机叶片 (5)。

27. 一种用于抑制风轮机叶片 (5) 的沿边缘方向的振动的振动阻尼器 (11), 所述阻尼器 (11) 包括一个或多个具有一个或多个第一阻尼器部分表面 (17) 的第一阻尼器部分 (13)、一个或多个具有一个或多个第二阻尼器部分表面 (18) 的第二阻尼器部分 (12), 其中, 所述第一阻尼器部分表面 (17) 和所述第二阻尼器部分表面 (18) 布置成在振动期间彼此相对运动, 所述阻尼器 (11) 还包括使所述第一阻尼器部分表面 (17) 与所述第二阻尼器部分表面 (18) 直接或间接联接的载荷传递联接器 (32), 以使所述相对运动导致动能的振动阻尼耗散。

28. 根据权利要求 27 的振动阻尼器 (11), 其特征在于, 所述第一阻尼器部分表面 (17) 和所述第二阻尼器部分表面 (18) 通过半液态物质 (19) 联接。

29. 根据权利要求 27 或 28 的振动阻尼器 (11), 其特征在于, 所述一个或多个第一阻尼器部分 (13) 包括一个或多个空腔 (22), 所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 基本位于所述空腔内。

30. 根据权利要求 27 或 28 的振动阻尼器 (11), 其特征在于, 所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 和 / 或所述一个或多个第一阻尼器部分 (13) 具有细长的形状。

31. 根据权利要求 27 或 28 的振动阻尼器 (11), 其特征在于, 所述阻尼器 (11) 包括用于

基本防止所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 至少沿纵向方向自由移动的装置 (23, 24)。

32. 根据权利要求 27 或 28 的振动阻尼器 (11), 其特征在于, 所述第二阻尼器部分 (12) 基本是非柔性的, 并且其弹性模量和密度之间的比值关系为大于 $10\text{MPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ 。

33. 一种用于抑制风轮机叶片 (5) 的振动的方法, 所述方法包括下列步骤:

在所述风轮机叶片 (5) 内和 / 或该叶片上一体形成或接合一个或多个第一阻尼器部分 (13), 该一个或多个第一阻尼器部分 (13) 具有一个或多个第一阻尼器部分表面 (17),

将一个或多个第二阻尼器部分 (12) 的一个或多个第二阻尼器部分表面 (18) 布置成在振动期间相对于所述一个或多个第一阻尼器部分表面 (17) 运动, 以及

通过载荷传递联接器 (32) 将所述第一阻尼器部分表面 (17) 直接或间接联接到所述第二阻尼器部分表面 (18), 以使所述相对运动导致动能的振动阻尼耗散。

34. 根据权利要求 33 的方法, 其特征在于, 通过半液态物质 (19) 使所述一个或多个第一阻尼器部分表面 (17) 和所述一个或多个第二阻尼器部分表面 (18) 联接。

35. 根据权利要求 34 的方法, 其特征在于, 所述半液态物质 (19) 在 20°C 下的粘度为 $50-200,000\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

36. 根据权利要求 33 或 34 的方法, 其特征在于, 所述方法还包括防止所述一个或多个第二阻尼器部分 (12) 至少沿纵向方向自由移动。

37. 振动阻尼器 (11) 在根据权利要求 1 至 25 之一的风轮机叶片 (5) 中的使用, 所述振动阻尼器作为风轮机叶片 (5) 内或叶片上的补充安装单元。

包括一个或多个振动阻尼器的风轮机叶片

技术领域

[0001] 本发明涉及一种包括一个或多个用于抑制风轮机叶片的振动或振荡的振动阻尼器的风轮机叶片、一种风轮机叶片、一种振动阻尼器、一种用于抑制风轮机叶片的振动的方法及其使用。

背景技术

[0002] 现有技术已知的风轮机包括锥形风轮机塔架以及位于塔架顶部的引擎舱。引擎舱上通过低速轴连接具有多风轮机叶片的风轮机转子，该低速轴从引擎舱的前部伸出，如图 1 所示。

[0003] 风轮机叶片的振动和振荡是不希望的，因为在最坏的情况下，振动或振荡可能损坏风轮机叶片。特别是边缘方向的沿着叶片的前缘和后缘之间的弦的振动，该振动可能损坏叶片，因为叶片没有抑制该振动模式的措施。

[0004] 此外，边缘方向的振动的特别有害之处在于，该振动可能引起叶片根部处或沿后缘的裂纹。在已知情况中，这种振动已经引起使得叶片从风轮机上脱落的问题。

[0005] 失速控制式风轮机和俯仰控制式风轮机都存在被边缘方向的振动损坏的危险。失速控制式风轮机的这一问题经常出现在当该风轮机工作在超过失速点的高风速的情况下。俯仰控制式风轮机的这一问题经常出现在该风轮机停泊在高风速中而转子被锁止的情况下。

[0006] 为避免叶片的振动，已知提供具有不同形式的机械阻尼器的叶片，所述阻尼器经常基于这样的原理，即，将安装弹簧的团块与缓冲装置组合或者设置不同的液体阻尼器。

[0007] WO 99/32789 公开了这种液体阻尼器的一个示例，其中叶片的末端设有可调谐的液体阻尼器系统。液体在多个尽可能地靠近叶片末端放置的室中自由流动。该室具有特定的长度，该长度适合于特定叶片类型的边缘方向自然频率。即使这些特定频率的阻尼器的重量小于常规多频率阻尼器，这些阻尼器仍然具有较大地增加希望其重量最小的叶片末端的重量的缺点。减振能力与频率和阻尼器的宽度成比例。

[0008] 由于现代风轮机在输出和尺寸方面日益变大，叶片的长度和尺寸也随之增加。随着叶片变大并且变重，它们的边缘方向的自然频率变小——小到几个 Hz 甚至小于一个 Hz，因此叶片变得容易被风带动。由于边缘方向的自然频率变低，因此必须增加机械阻尼器、液体阻尼器或调谐式液体阻尼器的质量，而这会导致尺寸增大。

[0009] 叶片的宽度朝向末端减小，而当阻尼器变长并且变宽时，叶片末端处的内侧空间会变得太小以至于不能容纳阻尼器。必须将阻尼器移离末端，而阻尼器离末端越远，该阻尼器就必须越大且越重。这当然是不利的，因为叶片越重，引入风轮机的其它部件的载荷就越大。这就需要使用成本通常较高的更结实的部件。

[0010] 常规叶片阻尼器的另一个缺点是，靠近叶片末端的阻尼器还会不利地干扰叶片的承载结构，由此可能需要保持叶片结构的完整性。

[0011] 本发明的一个目的是提供一种包括没有上述缺点的振动阻尼器的风轮机叶片。

[0012] 特别地,本发明的一个目的是提供一种抑制风轮机叶片的振动的技术,该技术即使大型的长风轮机叶片中也有效。

发明内容

[0013] 本发明提供了一种风轮机叶片,它包括一个或多个用于抑制风轮机叶片的振动或振荡的振动阻尼器。该阻尼器包括一个或多个具有一个或多个第一阻尼器部分表面的一个或多个第一阻尼器部分。该第一阻尼器部分刚性地连接到所述叶片以及/或者作为所述叶片的一部分。该阻尼器还包括一个或多个具有一个或多个第二阻尼器部分表面的第二阻尼器部分,其中,第一阻尼器部分表面和第二阻尼器部分表面布置成在振动期间彼此相对运动。该阻尼器还包括使第一阻尼器部分表面和第二阻尼器部分表面直接或间接联接的载荷传递联接器,以使所述相对运动导致动能的振动阻尼耗散。

[0014] 通过使第一阻尼器部分刚性连接到叶片,确保了当叶片振动时,第一阻尼器部分基本以与叶片相同的量伸展或压缩。

[0015] 通过利用载荷传递联接器使第一和第二阻尼器部分表面直接或间接联接,第一和第二阻尼器部分之间的源于叶片的振动的相对运动可引起这两部分之间的剪切力。如果联接是摩擦联接或者如果联接材料具有塑性性能,则第一和第二阻尼器部分之间的运动将导致形式为动能的耗散的能量损耗,由此产生阻尼。

[0016] 此外,常规阻尼器经常力图减少叶片振动的幅度,并因此必须安放在叶片偏转量最大的位置。这是不利的,因为偏转在叶片的末端最大,并且来自阻尼器的附加重量将使得叶片、轮毂和风轮机的其它部分约靠近末端,张力越大。

[0017] 如果根据本发明的阻尼器定位在叶片中张力最大的位置—靠近叶片根部的位置比靠近叶片末端的位置更常出现,该阻尼器将具有最佳阻尼效果。因此使用本发明的阻尼器是有利的,因为该阻尼器可安放在叶片内或上的载荷敏感度较小的位置。

[0018] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个振动阻尼器安放在所述风轮机叶片的由该叶片总长度的靠内的 80%,优选所述叶片总长度的靠内的 50%,构成的部分上或该部分内,该长度是从所述叶片的根部测量的。

[0019] 越靠近叶片的末端向叶片增加给定的重量,尤其是当叶片转动时,该重量引起的张力越大,该张力既在叶片自身内,又在风轮机的轮毂和其它部分内。因此,有利的是在考虑阻尼器效率的情况下,使阻尼器的重量保持尽可能地低,并且将该阻尼器尽可能靠近叶片根部安放。

[0020] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个振动阻尼器安放在所述风轮机叶片的后缘内、该后缘上或该后缘附近。

[0021] 当风轮机叶片沿边缘方向振动时,叶片的后缘和前缘之一伸展或压缩。由于后缘离叶片弹性中心最远,所以该后缘出现最大张力,从而由边缘向的振动引起的应力是沿后缘最关键的。因此,有利的是将振动阻尼器定位在围绕风轮机叶片后缘的位置。

[0022] 在本发明的一个方面中,所述第二阻尼器部分基本是非柔性的。

[0023] 通过将第二阻尼器部分制成非柔性,较柔韧的第一阻尼器部分和较僵硬的第二阻尼器部分之间的相对运动变得相当大,由此能高度耗散动能,从而使阻尼器具有有效阻尼特性。

[0024] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个第二阻尼器部分的弹性模量和密度之间具有这样的关系,即大于 $10\text{MPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ 。

[0025] 该关系示出材料的相对于重量的柔性。有利的是利用刚性且僵硬的材料形成第二阻尼器部分,因为这将增加第一和第二阻尼器部分之间的相对运动。此外,有利的是材料很轻,因为叶片的重量对叶片自身以及风轮机的其它部分具有关键性的影响。

[0026] 因此,该限制是有利的,因为低于该限制的材料变得僵硬且太重。

[0027] 用于形成第二阻尼器部分的合适材料可例如为钢、不锈钢、铝或者其它刚性或非柔性材料或合金。或者,该材料可为某些非柔性塑料或者可纤维增强的合成物。

[0028] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个第二阻尼器部分由纤维增强式聚合物基体合成物 (fibre reinforced polymer-matrix composite) 制成,例如碳纤维增强式树脂。

[0029] 纤维增强式聚合物基体合成物,例如碳纤维增强式树脂,是弹性模量与密度间的关系非常高的坚固材料。此外,这些材料的有利之处在于,它们通常耐用且廉价的。

[0030] 在本发明的一个方面中,所述载荷传递联接器具有高的载荷传递能力,该能力至少优于水载荷传递能力 (water load transferring capacity)。

[0031] 第一和第二阻尼器部分之间传递的载荷越多,阻尼器运行将越有效率。因此,有利的是载荷传递联接器具有高的载荷传递能力,并且由于水具有较低的粘着性和粘附性,在载荷传递方面较差,所以联接器的载荷传递能力至少优于水是很重要的。

[0032] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个第二阻尼器部分和 / 或所述一个或多个第一阻尼器部分具有细长的形状。

[0033] 通过使阻尼器部分具有细长的形状,可提供具有尤其在细长方向上的良好减振特性的长阻尼器。这是有利的,因为阻尼器将用在细长叶片的纵向方向上。

[0034] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个第一阻尼器部分包括一个或多个空腔,所述一个或多个第二阻尼器部分基本位于所述空腔内。

[0035] 第二阻尼器部分可为与叶片和第一阻尼器部分分离的部分,除了载荷传递联接器。因此,有利的是使第二阻尼器部分位于第一阻尼器部分的空腔内,因为它提供了控制第二阻尼器部分的位置的简单而有效的方式。此外,将第二阻尼器部分安放在第一阻尼器部分的空腔内提供了非常有效的阻尼器设计。

[0036] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个空腔包括一个以上的所述第二阻尼器部分。

[0037] 当叶片因振动而偏转时,叶片的一部分可在叶片每米的长度上伸展 (伸长) 1mm 以上。如果例如在该区域安放 5 米长的阻尼器,并且第二阻尼器部分是一个放在第一阻尼器部分的空腔内的 5 米长的栅条,则第二阻尼器部分和第一阻尼器部分 (或叶片) 上相邻位置的端部之间的相对距离将变动超过 2.5mm ,其中假设第二阻尼器部分是完全非柔性的。如果阻尼器部分之间的联接器是摩擦联接器,则这会导致阻尼器部分的非常不均匀的磨损;而如果联接器例如是半液态物质,以及如果剪切率由于这两个部分件的较小距离而较高,则可导致该物质的撕裂。

[0038] 因此,有利的是将一个以上的第二阻尼器部分设置在空腔内,因为第二阻尼器部分可制成较短,由此减少了第二阻尼器部分的端部和第一阻尼器部分内的空腔地侧部之间的相对距离变动,从而使不均匀或不希望的磨损或撕裂最少。

[0039] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个空腔形成为孔口、狭缝、间隙和 / 或孔洞。

[0040] 由此可实现本发明的有利实施例。

[0041] 在本发明的一个方面中,所述一个以上的第二阻尼器部分基本首尾相连地放置在所述一个或多个空腔内。

[0042] 将第二阻尼器部分基本首尾相连地放在空腔内是有利的,因为这使阻尼器更耐用且有效。

[0043] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个第二阻尼器部分和 / 或所述一个或多个第一阻尼器部分包括隔离和 / 或固定装置,以基本防止所述一个或多个第二阻尼器部分至少沿它们的纵向方向自由移动。

[0044] 如果第二阻尼器部分可在空腔内自由移动,则存在该部分朝向空腔的一端弯折并由此碰撞的潜在危险。对接部分可能导致该第二阻尼器部分的结构损坏以及 / 或者导致阻尼器特性的改变。因此,将第二阻尼器部分隔开和 / 或固定是有利的。

[0045] 在本发明的一个方面中,所述隔离装置是安放在所述一个或多个第二阻尼器部分的端部之间或端部处的体积补偿材料,例如包括充有气泡的气体的弹性体。

[0046] 利用体积补偿材料分离第二阻尼器部分是有利的,因为它能使第二阻尼器部分的端部在受到来自联接器的载荷时基本自由地移动,但由于该体积补偿材料,第二阻尼器部分将在载荷去除或翻转时返回其初始位置。

[0047] 此外,有利的是为此使用诸如弹性体的材料—该弹性体包括充有气泡的气体,因为弹性体的性能是非常柔韧—这确保该弹性体在变形后恢复到初始形状,并且在弹性体中使用填充有例如空气或 CO₂ 的气泡是有利的,因为它能使弹性体改变体积,由此当第二阻尼器部分试图移动或略微伸展时补偿第二阻尼器部分的端部处的空腔内的体积改变。

[0048] 在本发明的一个方面中,所述固定装置包括用于在所述一个或多个第二阻尼器部分的纵向方向的中部处或该中部附近固定所述一个或多个第二阻尼器部分的装置。

[0049] 如先前所述的,在叶片振动时,第二阻尼器部分的端部和第一阻尼器部分内空腔的侧部之间的相对距离变动可以较大(取决于第二阻尼器部分的长度和坚硬度),但原则上第二阻尼器部分的中部和第一阻尼器部分内空腔的侧部上相邻点之间的相对距离变动是无穷小的。因此,通过在中部固定第二阻尼器部分而有利地防止了第二阻尼器部分在空腔内自由弯折,这不会明显影响它们的功能。

[0050] 在本发明的一个方面中,所述第一阻尼器部分表面和所述第二阻尼器部分表面通过半液态物质联接。

[0051] 使用半液态物质形成所述表面之间的直接或间接联接是有利的,因为例如两个阻尼器部分之间的摩擦联接由于磨损和撕裂可能在一段时间以后会丧失转换叶片振动的能量的功能,而由半液态物质形成的联接可非常耐用,并且因此能将阻尼器形成为完全不必维护。

[0052] 应当指出,术语“半液态物质”应理解为粘性很高的液体,该液体稠到几乎是固体。这种物质的示例可例如为半固态环氧树脂、粘性很高的硅油、沥青、聚脲或其它聚合物熔融体。

[0053] 在本发明的一个方面中,所述半液态物质包围或基本包围所述一个或多个第二阻

尼器部分。

[0054] 如果两个阻尼器部分之间的联接是摩擦联接,则仅相互“摩擦”的表面能转换能量,但通过使半液态物质包围或基本包围第二阻尼器部分,可使用第二阻尼器部分的所有表面来转换能量,不管阻尼器部分的形状如何。

[0055] 在本发明的一个方面中,所述半液态物质在 20 °C 下的粘(滞)度为 50-200,000Pa·s,优选为 200-60,000Pa·s,最优选为 500-8,000Pa·s。

[0056] 如果半液态物质的粘度很低,则该半液态物质的传递载荷以及由此转换能量的能力减小。如果半液态物质的粘度太高,则存在撕裂该物质并由此也减小转换能量的能力的较大危险。

[0057] 特别对于半液态物质能量转换效率而言,本粘度范围因此提供了本发明的有利实施例。

[0058] 在本发明的一个方面中,所述半液态物质具有大于 80 的粘度指数。

[0059] 粘度指数是流体的粘度-温度特性的经验测量值。当变动较小时,指数较高。此外,半液态物质的有助于抑制振动的能力取决于其粘度。因此有利的是,粘度指数高并且优选高于 80,以确保半液态物质的粘度仅在较小程度上取决于温度。

[0060] 在本发明的一个方面中,所述半液态物质完全被所述一个或多个第一阻尼器部分和/或所述叶片包围。

[0061] 即使半液态物质具有非常高的粘度,它在某种程度上仍然是能流动的液体,尤其是当阻尼器部分的运动导致变形时。为确保半液态物质在阻尼器的整个寿命期间保持就位,因此有利地通过第一阻尼器部分和/或叶片完全包围该物质。

[0062] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个第一阻尼器部分一体地形成在所述叶片载荷传递结构内。

[0063] 在叶片载荷传递结构内一体形成第一阻尼器部分是有利的,因为第一阻尼器部分的重量由此能合并并在叶片的结构部件中,由此较大地减少阻尼器的总重量。

[0064] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个振动阻尼器安放在所述风轮机叶片内和/或上的其中由叶片的边缘向振动引起的张力最大的位置内、该位置上或该位置附近。

[0065] 如果安装或一体形成在叶片的膨胀和压缩最大的部分中,根据本发明的阻尼器将最有效率。因此,有利的是将阻尼器定位在张力最大的部位,因为这也是叶片伸展或压缩最大的部分。

[0066] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个第二阻尼器部分的纵向尺寸为 10-10,000mm,优选为 100-5,000mm,最优选为 200-3,000mm。

[0067] 伸展和收缩的第一和第二阻尼器部分之间的张力差将以剪切力作用在所述两个阻尼器部分之间。无论通过摩擦还是通过半液态物质,该载荷都传递到第二阻尼器部分。第二阻尼器部分越长,传递到各部分的力就越大。如果第二阻尼器部分很长,则栅条的中间部分将屈服,并且传递到该部分上的剪切力将很低。如果第二阻尼器部分较短,则剪切变形将较低,并且力和效率也低。因此,可存在第二阻尼器部分长度的最佳值。该最佳值将取决于第二阻尼器的僵硬程度以及第二阻尼器部分和第一阻尼器部分之间的剪切功能。

[0068] 因此,当使用在具有第一和第二阻尼器部分之间的现实剪切功能阻尼器中,以及第二阻尼器部分由基本非柔性的材料例如碳纤维增强式聚合物基体合成物制成时,本长度

范围特别在效率 / 功效方面提供了本发明的有利实施例。

[0069] 在本发明的一个方面中,第一阻尼器部分表面和第二阻尼器部分表面之间的距离为 0.001-2mm,优选为 0.01-1mm,最优选为 0.1-0.6mm。

[0070] 如果相邻表面间的距离太小,则在两个阻尼器部分间的相对运动太高的情况下,将存在较大的撕裂半液态物质的危险。如果所述表面之间的距离太大,则在所述两个阻尼器部分之间的相对运动期间相对剪切角度差将变小并且阻尼器的效率将下降。

[0071] 因此,本距离范围为阻尼器的耐用性和效率之间提供了有利的关系。

[0072] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个振动阻尼器主要提供用于抑制所述风轮机叶片的沿边缘方向的振动或振荡。

[0073] 由于风轮机叶片很少能自我抑制朝向边缘方向的振动,因此有利地为叶片提供主要用于抑制边缘方向的振动的振动阻尼器。

[0074] 本发明还提供了一种风轮机,该风轮机包括至少一个根据前述权利要求之一的风轮机叶片。

[0075] 为风轮机提供根据本发明的叶片是有利的,因为根据本发明的振动阻尼器多数情况下比常规叶片阻尼器轻,并且来自根据本发明的振动阻尼器的任何附加重量都增加在靠近叶片转动中心的位置。由此,风轮机上的应力较小。

[0076] 本发明还提供了一种用于抑制风轮机叶片的沿边缘方向的振动或振荡的振动阻尼器。所述阻尼器包括一个或多个具有一个或多个第一阻尼器部分表面的第一阻尼器部分、一个或多个具有一个或多个第二阻尼器部分表面的第二阻尼器部分,其中,所述第一阻尼器部分表面和所述第二阻尼器部分表面布置成在所述振动期间彼此相对运动。所述阻尼器还包括使所述第一阻尼器部分表面与所述第二阻尼器部分表面直接或间接联接的载荷传递联接器,以使所述相对运动导致动能的振动阻尼耗散。

[0077] 由此可实现根据本发明的振动阻尼器的优选实施例。

[0078] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个第一阻尼器部分表面和所述一个或多个第二阻尼器部分表面通过半液态物质联接。

[0079] 在本发明的另一方面中,所述一个或多个第一阻尼器部分包括一个或多个空腔,所述一个或多个第二阻尼器部分基本位于所述空腔内。

[0080] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个第二阻尼器部分和 / 或所述一个或多个第一阻尼器部分具有细长的形状。

[0081] 在本发明的一个方面中,所述一个或多个空腔包括用于基本防止所述一个或多个第二阻尼器部分至少沿纵向方向自由移动的装置。

[0082] 在本发明的一个方面中,所述第二阻尼器部分基本是非柔性的,并且其弹性模量和密度之间的关系为大于 $10\text{MPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ 。

[0083] 本发明还提供了一种用于抑制风轮机叶片的振动的方法,所述方法包括下列步骤:

[0084] • 在所述风轮机叶片内和 / 或该叶片上一体形成或接合一个或多个第一阻尼器部分,该一个或多个第一阻尼器部分具有一个或多个第一阻尼器部分表面,

[0085] • 将一个或多个第二阻尼器部分的一个或多个第二阻尼器部分表面布置成在所述振动期间相对于所述一个或多个第一阻尼器部分表面移动,及

[0086] 通过载荷传递联接器将所述第一阻尼器部分表面直接或间接联接到所述第二阻尼器部分表面,以使所述相对运动导致动能的振动阻尼耗散。

[0087] 常规阻尼器原则上通常储存叶片的偏转能量 / 运动,并利用该能量 / 运动产生使偏转颠倒的反运动,例如以减小振动的幅度或禁止以叶片的自然频率进行的振动。但储存振动叶片的运动能量使得质量很大,并且该质量必须沿载荷方向放置,这对有效发挥其功能非常不利。

[0088] 通过将叶片的运动从第一阻尼器部分传递到第二阻尼器部分,可将运动的能量转变成热量,并由此能完全或至少部分去除该能量。这种用于抑制叶片的振动的方法是有利的,因为它提供了能更有利地安放在叶片重量分布方向上的较简单且轻的阻尼器,并且甚至在频率较低例如低于 3Hz 时仍然有效。

[0089] 在本发明的一个方面中,通过半液态物质使所述一个或多个第一阻尼器部分表面和所述一个或多个第二阻尼器部分表面联接。

[0090] 在本发明的一个方面中,所述半液态物质在 20℃ 下的粘度为 50-200,000Pa·s,优选为 200-60,000Pa·s,最优选为 500-8,000Pa·s。

[0091] 在本发明的一个方面中,所述方法还包括防止所述一个或多个第二阻尼器部分至少沿纵向方向自由移动。

[0092] 本发明还提供了振动阻尼器在根据权利要求 1 至 26 之一的风轮机叶片中的使用,所述振动阻尼器作为风轮机叶片内或上的补充安装单元。

[0093] 将根据本发明的振动阻尼器用作风轮机叶片内或上的补充安装单元是有利的,因为与常规阻尼器相比,本发明的阻尼器既能安装在叶片内,又能安装在叶片上。如果将它安装在叶片内,则可简单地进行翻新改型,尤其是因为它通常较靠近叶片的根部安装,在该根部处叶片既高又宽,因此能够并且实际上可以在已有叶片内 / 上翻新改型成本发明的阻尼器。

附图说明

[0094] 下面将参照附图说明本发明,在附图中:

[0095] 图 1 示出现有技术中已知的现代大型风轮机的前视图;

[0096] 图 2 示出从前面看去的风轮机叶片;

[0097] 图 3 示出根据本发明的振动阻尼器的一个实施例的一部分的透视图;

[0098] 图 4 示出从侧面看去的安装在风轮机叶片上的振动阻尼器实施例的横截面;

[0099] 图 5 示出从侧面看去的安装在风轮机叶片上的另一振动阻尼器实施例的横截面;

[0100] 图 6 示出从顶部看去的包括逐渐变细的第二阻尼器部分的振动阻尼器实施例的横截面;

[0101] 图 7 示出一体形成在叶片载荷传递结构中的阻尼器实施例的横截面;

[0102] 图 8 示出包括阻尼器的风轮机叶片的透视图;

[0103] 图 9 示出包括振动阻尼器实施例的风轮机叶片的横截面;

[0104] 图 10 示出图 9 中的风轮机叶片的横截面的一部分;

[0105] 图 11 示出包括另一振动阻尼器实施例的风轮机叶片的横截面;

[0106] 图 12 示出图 11 中的风轮机叶片的横截面的一部分;以及

[0107] 图 13 示出包括另一振动阻尼器实施例的风轮机叶片的横截面。

具体实施方式

[0108] 图 1 示出现代大型风轮机 1, 它包括塔架 (塔筒) 2 和安放在塔架 2 顶部的引擎舱 (吊舱) 3。引擎舱 3 上通过低速轴连接有包括三个风轮机叶片 5 的风轮机转子 4, 该低速轴从引擎舱 3 的前面伸出。

[0109] 图 2 示出从前侧 / 压力侧 31 看去的风轮机叶片 5。风轮机叶片 5 包括前缘 6、后缘 7、末端 8 和根部 9。现有技术已知的风轮机叶片 5 通常由玻璃纤维、通过碳纤维增强的合成树脂、碳纤维增强木料及其组合制成。

[0110] 现有技术已知的风轮机叶片 5 具有弹性中心, 对于叶片 5 的绝大部分, 该中心离前缘 6 比离后缘 7 近。如果出现其频率处在或接近叶片第一自然边缘频率的沿边缘的振动, 则尤其是后缘 7 会受到相当大的应力, 该应力在某些情况下会损坏叶片并导致沿后缘 7 出现裂纹 10。

[0111] 叶片 5 的长度示出为 BL。XL 表示叶片 5 的靠内的 80%, 而 YL 表示叶片 5 的靠内的 50%。

[0112] 图 3 示出根据本发明的振动阻尼器实施例 11 的一部分的透视图。该阻尼器 11 包括第二阻尼器部分 12, 该第二阻尼器部分在本例中看起来象“梳子”状的用于冷却电子器件的散热片。阻尼器 11 还包括对应的第一阻尼器部分 13。通过这样设计这两个阻尼器部分 12、13, 并使它们相互插入, 它们两个之间的剪切区域可非常大。

[0113] 第一阻尼器部分 13 可在伸出的侧部 14 处例如通过螺钉、螺栓、粘接装置或焊接连接到风轮机叶片, 当叶片 5 由于振动而开始伸长或缩短时, 该第一阻尼器部分 13 基本同样地伸长或缩短。如果第一阻尼器部分 13 和第二阻尼器部分 12 上的栅条 15、16 宽至它们的侧面 17、18 相互接触, 则这两个阻尼器部分 12、13 可直接联接 (耦合), 并且第一阻尼器部分的表面 17 和第二阻尼器部分的表面 18 将相互摩擦。从而, 第二阻尼器部分 12 可由基本非柔性的材料制成, 例如可由钢、不锈钢、铝或纤维增强式聚合物基体合成物如碳纤维增强式树脂制成, 从而确保第二阻尼器部分 12 基本不会在柔性的第一阻尼器部分 13 伸展时伸展。

[0114] 当叶片 5 由于振动而伸展时, 运动的能量或至少部分运动能量传递到柔性部分 13, 并由此转变成由侧表面 17、18 间的摩擦产生的热。

[0115] 当叶片 5 的振动已经达到最大值, 并且该叶片 5 再次开始收缩时, 阻尼器 11 将再次通过消耗动能反抗该运动。

[0116] 在本发明的优选实施例中, 第二阻尼器部分 12 和第一阻尼器部分 13 的栅条 15、16 的侧表面 17、18 略微间隔开, 这两个阻尼器部分 12、13 之间的空间填充有高粘滞性的流体, 例如半固态或半液态物质 19, 该物质使这两个阻尼器部分 12、13 间接地联接在一起。该半液态物质 19 可以是例如半固态环氧树脂、高粘性硅油、某些聚合物熔体, 或者其它的在 20°C 下粘度为 50-200, 000Pa · s、优选为 200-60, 000Pa · s 且更优选为 500-8, 000Pa · s 的物质。此外, 物质 19 必须具有较高的粘度指数, 因为阻尼器 11 必须在不同的温度下起作用。温度可由于环境温度的变化而变动, 也可因为半液态物质 19 被叶片 5 的振动加热而变动。此外, 半液态物质 19 必须具有良好的粘附力和粘着力。

[0117] 当第一阻尼器部分 13 由于叶片 5 振动而伸展时,该运动将通过该半液态物质传递到第二阻尼器部分 12。由于第二阻尼器部分 12 基本是非柔性的,并且因此不伸展或移动,或者与叶片 5 和第一阻尼器部分 13 相比仅有很小的伸展或移动,因此剪切力和剪切变形将被半液态物质 19 “吸收”,并转换成热量,只要部分 12、13 之间存在相对运动就是如此。

[0118] 因为半液态物质 19 呈现可塑性,所以运动的能量由于该半液态物质 19 内的内摩擦而转换成热。如果半液态物质 19 具有弹性特性,则该能量将仅作为势能被存储,并且阻尼器 11 将实际起到弹簧的作用,这是非常不利的,因为这不仅不会抑制振动,反而可能使振动增强。

[0119] 在本发明的该实施例中,第二阻尼器部分 12 和第一阻尼器部分 13 上的栅条 15、16 分别形成为从公共基部 20、21 延伸的翅片,但在本发明的其它实施例中,第二阻尼器部分 12 上的栅条 16 也可形成为放置在第一阻尼器部分 13 的狭缝或凹槽 22 内的多个独立的栅条 16。

[0120] 图 4 示出从侧面看去的安装在风轮机叶片上的振动阻尼器 11 的实施例的横截面。

[0121] 在本发明的该实施例中,第二阻尼器部分 12 包括多排栅条 16。每排包括如图所示基本首尾相连地布置的四个栅条 16。第一阻尼器部分 13 在端部封闭,并防止栅条 16 在该空腔的一个端部聚集,栅条 16 被形式为立方体的隔离装置 13 隔开,该立方体由充有气泡的弹性体制成。弹性体是这样的材料,该材料可在其上的应力释放后立即显著且重复地伸长或压缩,并且能返回其初始长度。通过使弹性体中嵌入气泡,该隔离装置 23 能在受到例如压力时由于弹性体的特性而改变体积,当压力消除或减小时,隔离装置 23 将趋向于返回其初始尺寸。由此可补偿空腔 22 的体积的改变,该体积的改变可在第一阻尼器部分 13 由于叶片 5 振动而伸展或压缩时出现。

[0122] 在本发明的该实施例中,第二阻尼器部分 12 的栅条 16 的长度 L 约为 1,000mm,但在本发明的其它实施例中,该长度可更短或更长,这取决于第二阻尼器部分 12 和第一阻尼器部分 13 之间的联接、传递剪切力和第二阻尼器部分 12 的刚度或非柔韧度的能力。

[0123] 图 5 示出从侧面看去的安装在风轮机叶片上的振动阻尼器 11 的另一实施例的横截面。

[0124] 在本发明的该实施例中,第二阻尼器部分 12 的栅条 16 通过固定装置 24 防止在空腔的一端内聚集。固定装置 24 可以通过中部固定栅条 16 的销、铆钉、螺钉、粘接装置等,由此当栅条因为第一阻尼器部分 13 的剪切而伸长时,该栅条不能移动,但其端部可略微地自由移动。

[0125] 在本发明的其它实施例中,固定栅条 16 的固定装置 24 可以是空腔内的凸出部分,或其它基本使得栅条不能移动但允许栅条的端部略微移动的东西。

[0126] 图 6 示出从顶部看去的包括逐渐变细的第二阻尼器部分 12 的振动阻尼器 11 的实施例的横截面。部分 12、13 之间的剪切率由于所述部分 12、13 之间的相对运动的增加而朝向第二阻尼器部分 12 的端部增加。因此撕裂半液态物质 19 的危险朝向第二阻尼器部分 12 的端部增加。在本发明的该实施例中,因此,当第一阻尼器部分 13 伸展或压缩时,第二阻尼器部分 12 朝向端部逐渐变细。逐渐变细的形状因此在某些程度上补偿剪切率的增加,并由此在某些程度上使半液态物质 19 中的应力沿阻尼器部分 11 的纵向方向相等。在本发明的该实施例中,逐渐变细的第二阻尼器部分 12 在中部宽至它们能在接触空腔 22 的内侧。这

样,逐渐变细的第二阻尼器部分 12 在接触部分例如通过粘接剂连接到空腔 22 的内侧。

[0127] 在本发明的该实施例中,逐渐变细的第二阻尼器部分 12 大致为线性,但在其它实施例中,逐渐变细的侧部可以是弯曲的,或者所述部分的宽度可逐渐减小。总体上可以说,整个第二阻尼器部分 12 可有无限数量的各种设计,这都取决于其构成材料、半液态物质 19 的特性、所应用的叶片的类型以及所处的环境。

[0128] 图 7 示出与叶片 5 载荷传递结构形成一体的阻尼器 11 的实施例的横截面。

[0129] 在本发明的该实施例中,第一阻尼器部分 13 的基部 20 和栅条 15 一体形成在叶片 5 载荷传递结构中。这意味着,对于第一阻尼器部分 13 使叶片 5 增加的每公斤重量,叶片 5 的刚度和初始稳定性都基本上象该区域由常用叶片材料制成一样地增加。

[0130] 第一阻尼器部分 13 包括五个空腔 22,所述空腔完全由栅条 12、基部 20 和顶盖 8 环绕。在每个空腔 22 中,多个单独的栅条 16 基本首尾相连地放置,从而构成第二阻尼器部分 12。阻尼器 11 基本被一帽形轮廓 22 包围,该帽形轮廓由与构成叶片 5 的其它表面的材料相同的材料制成。帽形轮廓 26 和阻尼器 11 间的不规则空间填充有叶片装填物 27,该装填物的构成材料与填充叶片 5 的其它部分空间的材料相同。阻尼器 11、帽形轮廓 26 和叶片装填物 27 通过粘接剂 27 连接在叶片 5 的其它部分上,从而使阻尼器 11 一体形成在叶片 5 载荷传递结构内。

[0131] 在本发明的其它实施例中,阻尼器可在制造叶片 5 的过程中一体形成在叶片 5 内,以及/或者叶片 5 可包括多个阻尼器 11,所述阻尼器一体形成在叶片 5 载荷传递结构中、额外地添加在叶片 5 上或者以前述两种方式形成。

[0132] 第二阻尼器部分 12 上的第二阻尼器部分表面 18 与最接近的第一阻尼器部分 13 上的第一阻尼器部分表面 17 之间的距离 S 必须较小,以改善相对剪切角偏差,由此增加阻尼器 11 的效率。

[0133] 图 8 示出包括阻尼器 11 的风轮机叶片 8 的透视图。

[0134] 当风轮机叶片 5 沿边缘方向振动时,叶片 5 的后缘 7 和前缘 6 各自伸展或压缩。当边缘 6、7 伸展时,在某些情况下可使边缘 6、7 的每米延长多于 1mm。由于后缘 7 较远离叶片弹性中心,该延长更有意以,因此沿后缘 7 更关键。

[0135] 由于叶片 5 的重量,叶片 5 上的张力在靠近根部 9 处最大,并且由于后缘 7 在根部 9 处是倒圆的并因此围绕叶片弹性中心基本对称,叶片 5 中的张力在后缘 7 的该后缘被倒圆之前的内部部分 29 处最大。

[0136] 在本发明的该实施例中,阻尼器 11,例如图 7 中示出的阻尼器,一体形成在后缘 7 的内部部分 29 中,这这样实现:通过粘接装置 25 将后缘 7 的一部分连接到叶片 5 的其余部分上,以使阻尼器 11 或至少第一阻尼器部分 13 成为叶片载荷传递结构的一体部分。

[0137] 在本发明的该实施例中,阻尼器 11 安放在叶片 5 的构成其总长度 BL 的靠内的 50% YL 的部分上,但在本发明的其它实施例中,阻尼器 11 可安放在叶片 5 的靠内的 80% XL 上。

[0138] 图 9 示出包括振动阻尼器 11 的实施例的风轮机叶片 5 的横截面。

[0139] 在本发明的该实施例中,阻尼器 11 安放在叶片的外侧,并直接放在叶片 5 的表面上一既在后缘 7 的压力侧 31 又在其背风侧 30。阻尼器 11 的该实施例可例如对已有叶片 5 进行翻新改型。

[0140] 图 10 示出图 9 中的风轮机叶片 5 的一部分的横截面。在该实施例中,振动阻尼器 11 包括围绕后缘 7 紧密配合在叶片 5 的表面上的第一阻尼器部分 13。该第一阻尼器部分 13 包括多个矩形或基本为矩形的空腔 22,其中设有多个矩形第二阻尼器部分 12,该第二阻尼器部分被半液态物质 19 包围或基本包围。

[0141] 通过使空腔 22 和第二阻尼器部分 12 形成矩形,可形成大的剪切区域,并且同时使阻尼器在垂直于叶片表面的部分最小,但在本发明的其它实施例中,空腔 22 和第二阻尼器部分 12 可为圆形、椭圆形或多边形,或者其中之一或二者可具有不规则的形状。

[0142] 图 11 示出包括振动阻尼器 11 的另一实施例的风轮机叶片 5 的横截面。

[0143] 在本发明的该实施例中,阻尼器 11 安放在叶片内,既在后缘 7 的压力侧 31 上又在其背风侧 30 上。阻尼器 11 的该实施例可例如对已有叶片 5 进行翻新改型。

[0144] 图 12 示出图 11 的风轮机叶片 5 的部分横截面。在本发明的该实施例中,第一阻尼器部分 13 可由较柔韧的材料制成。由此,阻尼器 11 可适应叶片 5 内侧或外侧的不规则表面。通过使空腔 22 和第二阻尼器部分 12 形成圆形,它们可较少地对第一阻尼器部分 12 的横向弯曲敏感。由此可在已有叶片 5 上对阻尼器 11 进行翻新改型。在本发明的其它实施例中,第二阻尼器部分 12 可具有其它横截面形状,例如椭圆形、正方形、矩形或多边形。

[0145] 在本发明的其它实施例中,第二阻尼器部分 12 也可为空心的,例如管状,以减少重量并且同时确保它们具有大的剪切区域。

[0146] 图 13 示出包括振动阻尼器的其它实施例的风轮机叶片的横截面。在本发明的该实施例中,第二阻尼器部分 12 形成为附装在叶片 5 沿后缘 7 的外表面上的一个大的板状件。在第二阻尼器部分 12 和叶片 5 之间设有半液态物质 19,该半液态物质在本实施例中起到第一阻尼器部分 13 的作用,并且该物质完全被叶片 5 和第二阻尼器部分 12 包围以防止移出。

[0147] 当叶片 5 沿边缘方向振动时,半液态物质 19 将起到载荷传递联接器的作用,并且尽力将运动传递到第二阻尼器部分 12。如果第二阻尼器部分基本是非柔性的,则运动的动能将基本消散,从而使阻尼器 11 提供期望的阻尼效果。

[0148] 上面已经参照用于风轮机叶片 5 的振动阻尼器 11 的具体实施方式说明了本发明。但应当理解,本发明决不限于上述具体示例,而是可在如权利要求限定的本发明的范围内进行各种改变和变型。

[0149] 附图标记列表

- [0150] 1、 风轮机
- [0151] 2、 塔架
- [0152] 3、 引擎舱
- [0153] 4、 转子
- [0154] 5、 叶片
- [0155] 6、 前缘
- [0156] 7、 后缘
- [0157] 8、 末端
- [0158] 9、 根部
- [0159] 10、 裂纹

- [0160] 11、 振动阻尼器
- [0161] 12、 第二阻尼器部分
- [0162] 13、 第一阻尼器部分
- [0163] 14、 侧部
- [0164] 15、 第一阻尼器部分的栅条
- [0165] 16、 第二阻尼器部分的栅条
- [0166] 17、 第一阻尼器部分表面
- [0167] 18、 第二阻尼器部分表面
- [0168] 19、 半液态物质
- [0169] 20、 第一阻尼器部分的基部
- [0170] 21、 第二阻尼器部分的基部
- [0171] 22、 空腔
- [0172] 23、 隔离装置
- [0173] 24、 固定装置
- [0174] 25、 粘接剂
- [0175] 26、 帽形轮廓
- [0176] 27、 叶片装填物
- [0177] 28、 顶盖
- [0178] 29、 后缘的内部
- [0179] 30、 背风侧
- [0180] 31、 压力侧
- [0181] 32 载荷传递联接器
- [0182] S、 第一阻尼器部分表面和第二阻尼器部分表面间的距离
- [0183] BL、 叶片长度
- [0184] XL、 叶片的靠内的 80%
- [0185] YL、 叶片的靠内的 50%
- [0186] L、 第二阻尼器部分的长度

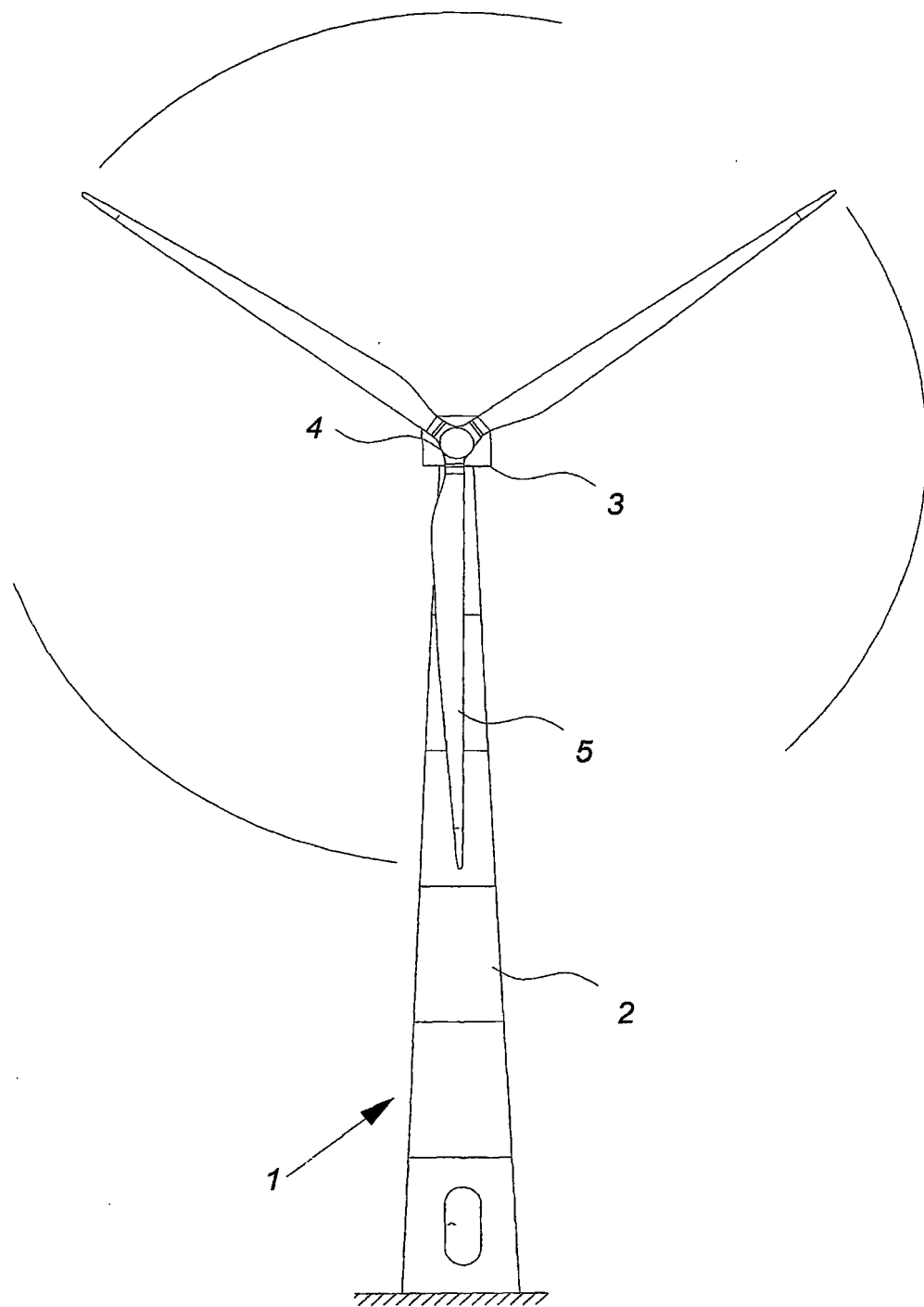


图 1

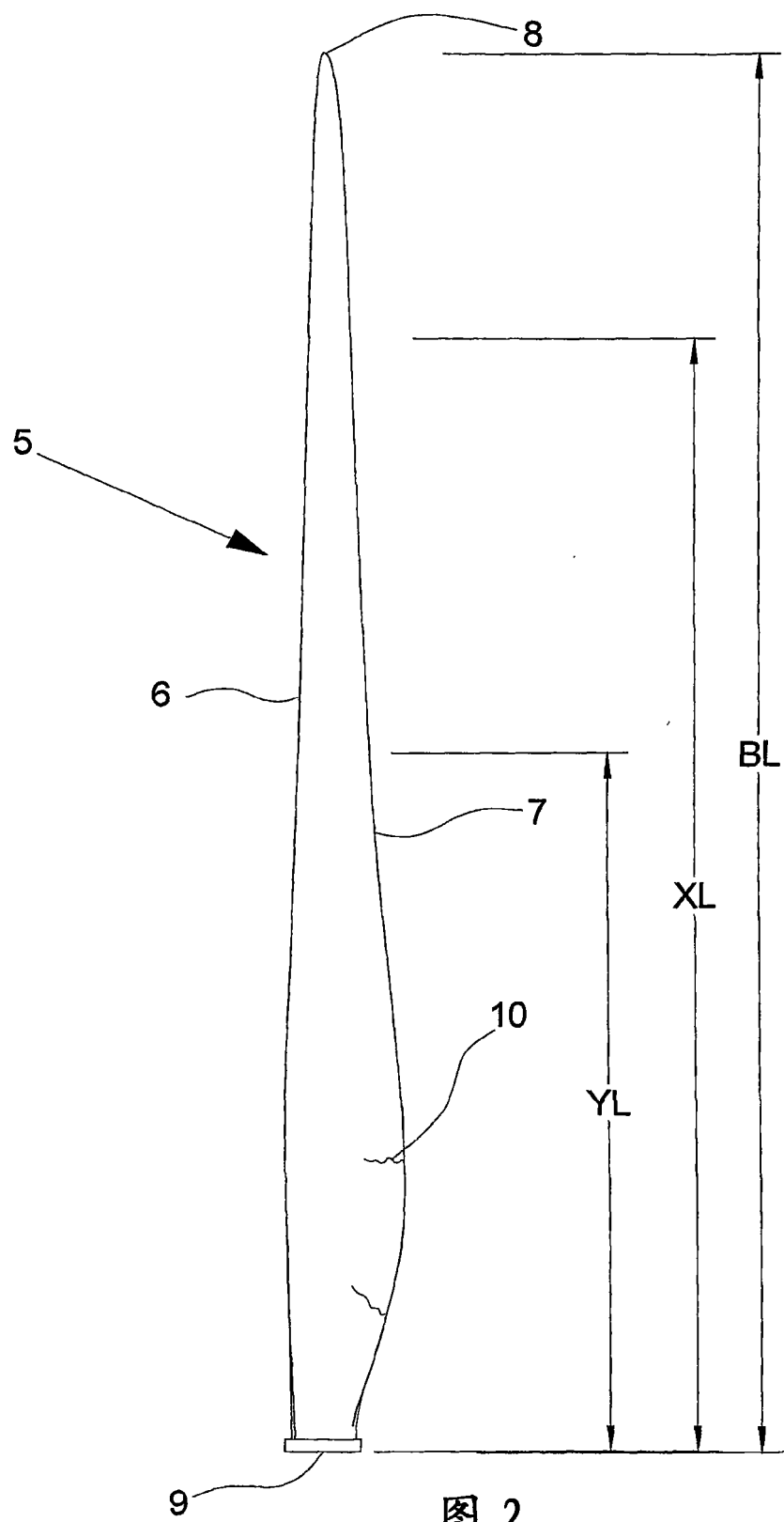


图 2

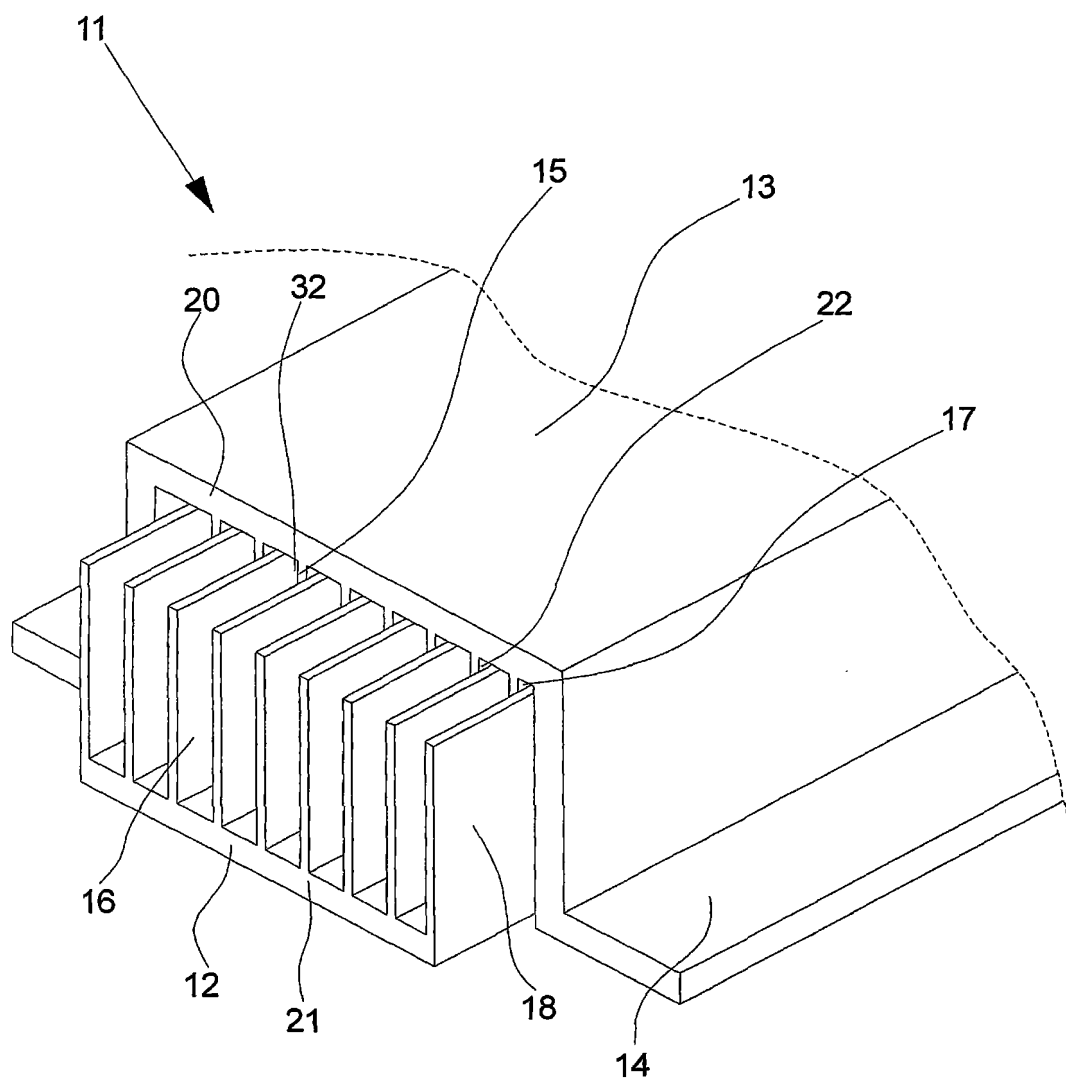


图 3

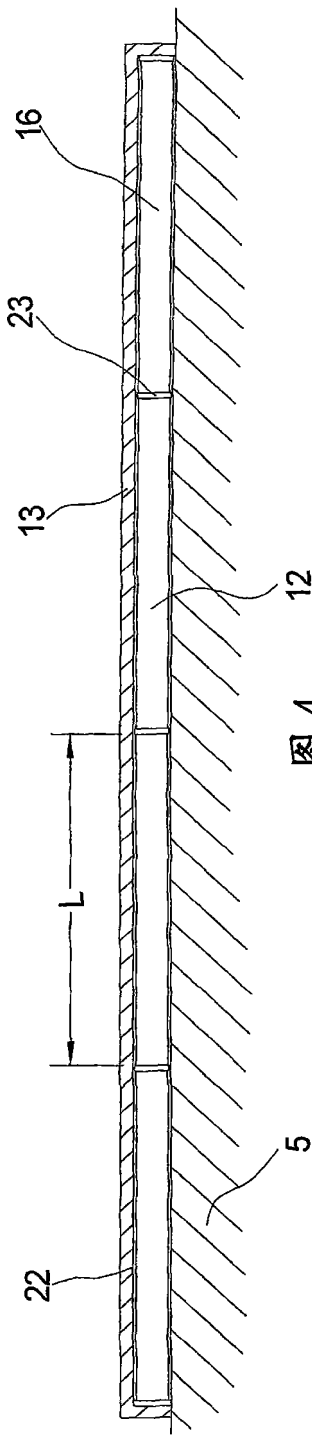


图 4

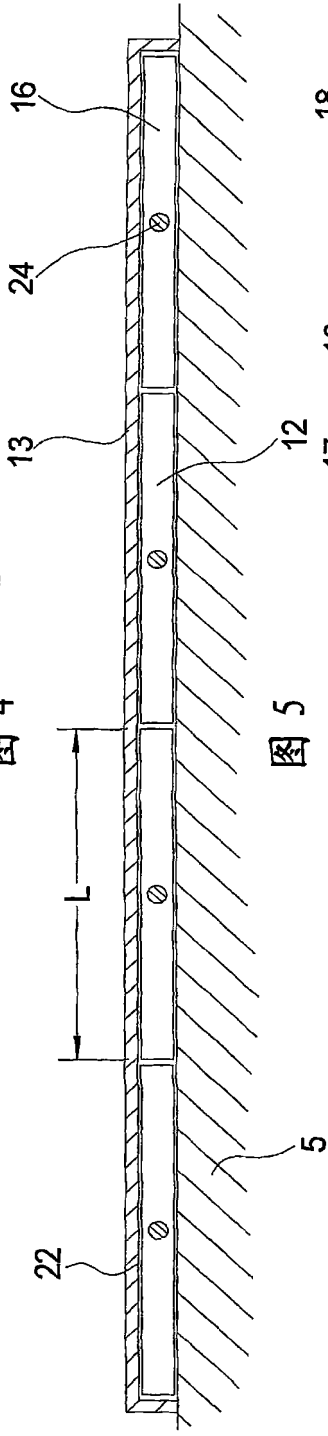


图 5

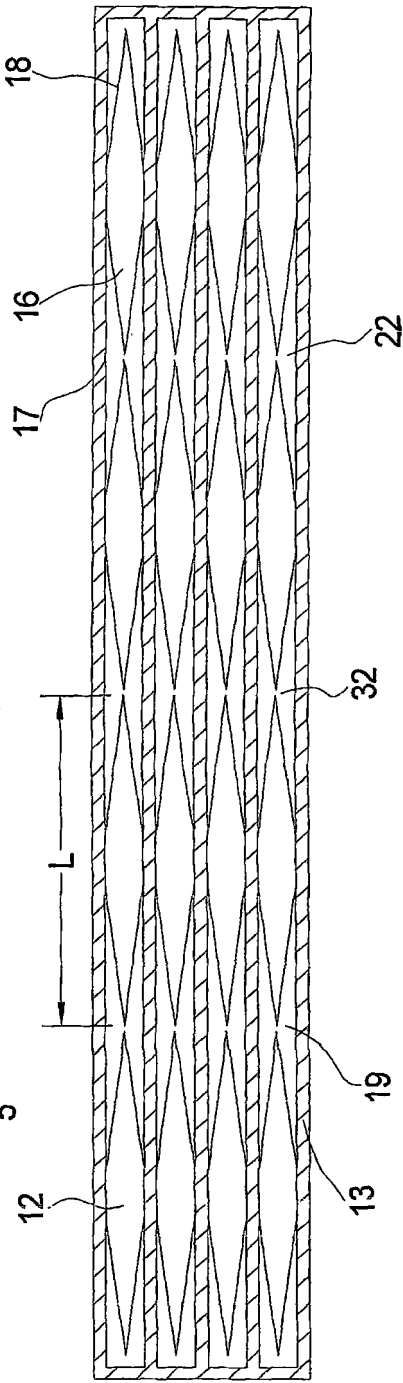


图 6

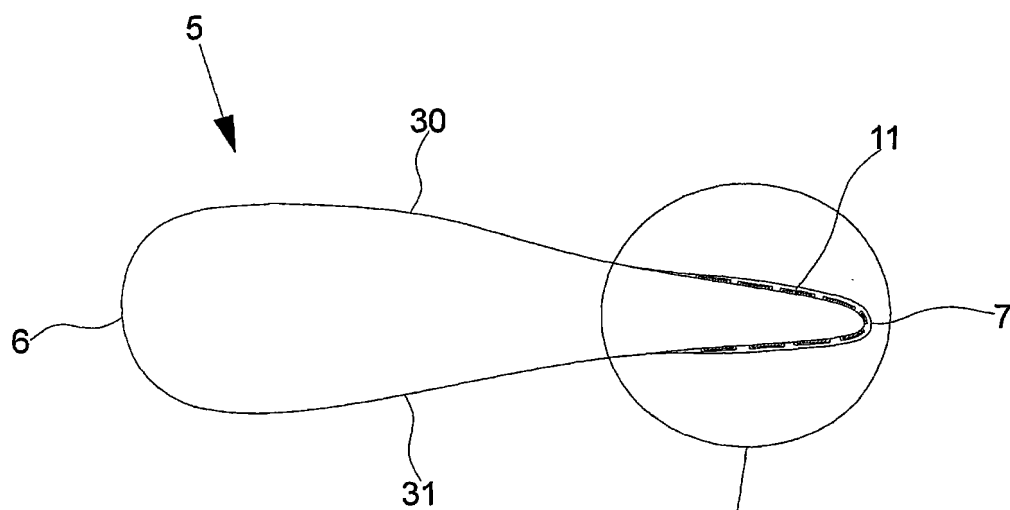


图 9

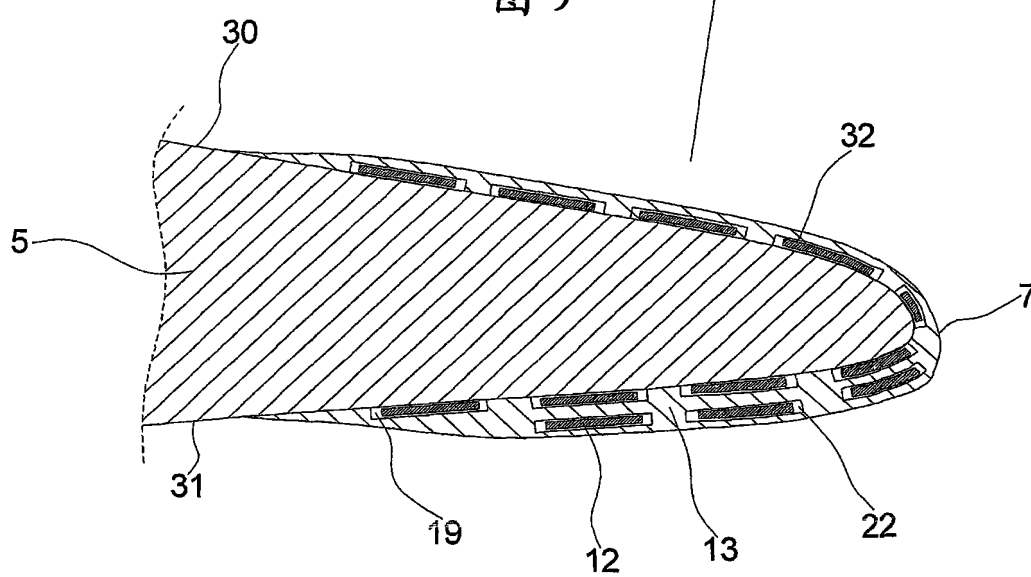


图 10

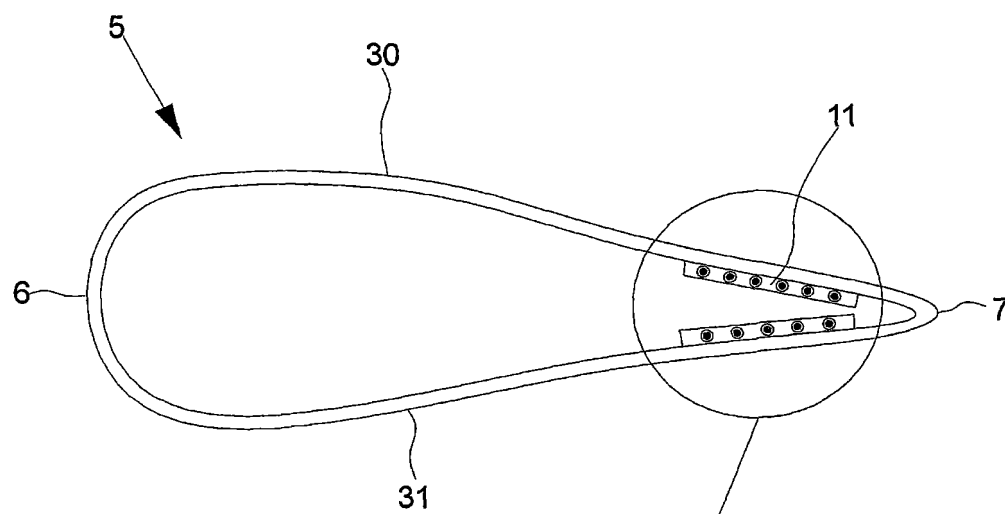


图 11

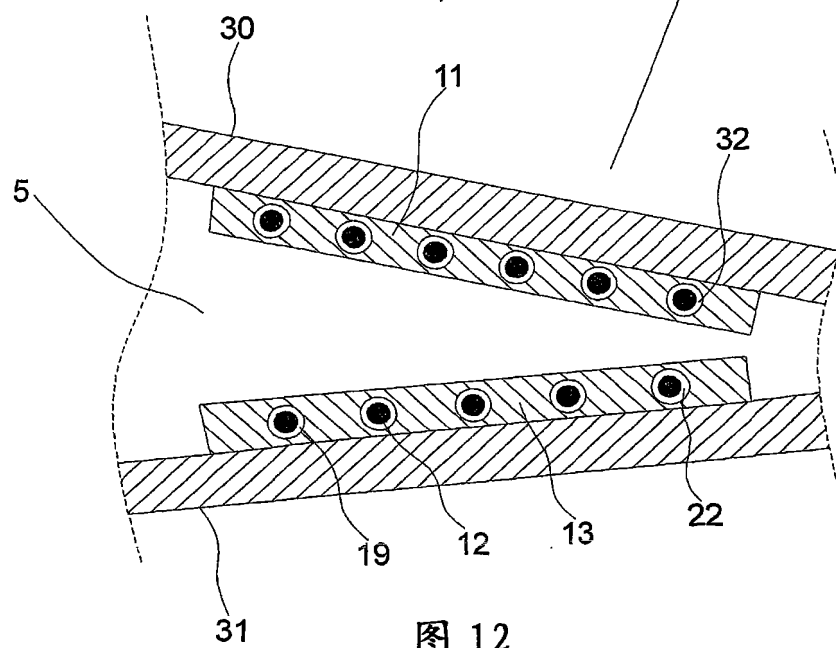


图 12

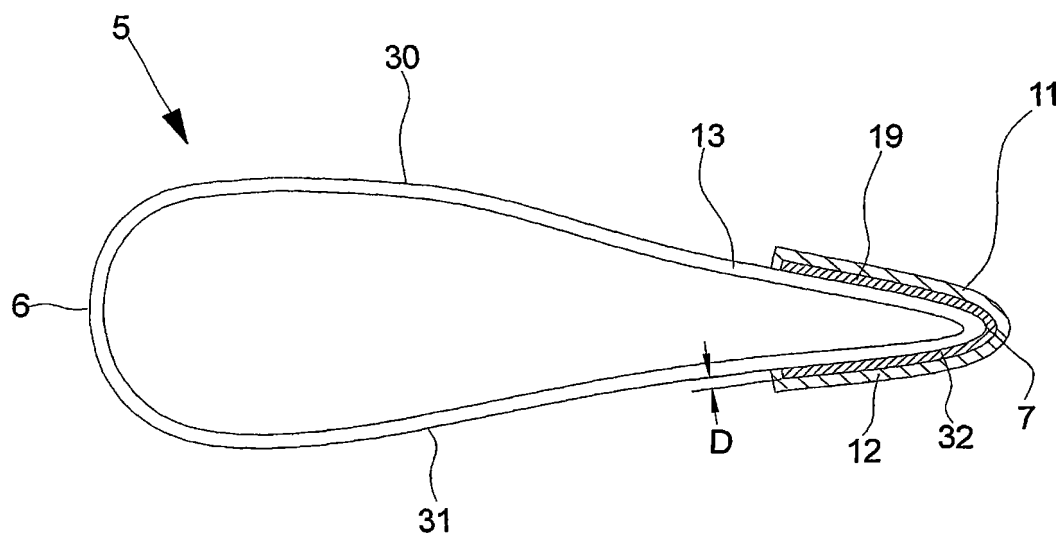


图 13