(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102287322 B
(45)授权公告日 2015.12.16

(21)申请号 201110198699.3

(22)申请日 2004.06.30

(62)分案原申请数据
200480043497.X 2004.06.30

(73)专利权人 维斯塔斯风力系统有限公司
地址 丹麦灵克宾

(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)

(56)对比文件
WO 03/078832 A1,2003.09.25,
WO 2004/015265 A1,2004.02.19,
JP 特开2004-11616 A,2004.01.15,
CN 85202949 U,1986.05.07,

审查员 马正颖

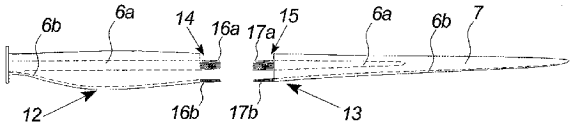
权利要求书2页 说明书14页 附图14页

(54)发明名称

由两个分离的部分制成的风轮机叶片以及装配方法

(57)摘要

本发明涉及一种风轮机叶片(5),该叶片包括至少两个风轮机叶片部分(12,13),该部分包括一个或多个加固结构(6,6a,6b),所述加固结构的端部(14,15)在连接接头内相连接。该端部包括对应的连接面,所述面的一个或多个相关尺寸大于所述端部处的该加固结构的横切面的尺寸。所述连接接头的一个或多个所述相关尺寸大于相邻的加固结构。本发明还涉及风轮机叶片,其中至少两个风轮机叶片部分包括多个基本为长圆形的碳纤维条带以及由一种或多种材料例如木质或玻璃纤维构成的条带。本发明还涉及一种风轮机叶片部分,用于装配风轮机叶片部分(12,13)的装配工作间以及这种风轮机叶片的装配方法以及使用。



CN 102287322 B

1. 一种风轮机叶片，包括：

至少两个分离的风轮机叶片部分，所述叶片部分包括一个或多个加固结构 (6,6a,6b)，所述加固结构具有多个长圆形的碳纤维条带 (10) 和由一种或多种材料构成的条带 (11)，

其中所述加固结构的端部 (14,15) 在连接接头 (21,22) 内相连接，

其中所述端部包括对应的连接面，所述连接面的一个或多个相关尺寸大于在所述端部处的加固结构的横切面的尺寸，所述相关尺寸为面积、长度或厚度值，以及

其中粘接装置将所述连接面相互粘接。

2. 根据权利要求 1 所述的风轮机叶片，其特征在于，每个风轮机叶片部分内的所述长圆形的碳纤维条带 (10) 的碳纤维是连续的。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片，其特征在于，所述碳纤维条带 (10) 的对应端部以及所述由一种或多种材料构成的条带 (11) 的对应端部在连接接头 (21,22) 内连接。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片，其特征在于，叶片部分 (12,13) 中的所述加固结构 (6,6a,6b) 的端部 (14,15) 成形为多个对应或部分对应的齿状端部 (14,15)。

5. 根据权利要求 4 所述的风轮机叶片，其特征在于，所述齿状端部 (14,15) 的齿成形为三角形部 (18)、四边形齿、圆形部或不同形状的组合部。

6. 根据权利要求 5 所述的风轮机叶片，其特征在于，所述齿的侧部包括扇形部。

7. 根据权利要求 5 所述的风轮机叶片，其特征在于，连接接头 (21) 内的一个所述齿的长度 l 由下式给定：

$$\ell \geq \frac{\sigma_{carbon} \cdot b}{\tau_{epoxy} \cdot 2} = \frac{1000 \cdot b}{10 \cdot 2} = 50 \cdot b$$

其中，连接接头 (21) 的高度和加固结构的相邻高度相同，b 是齿状部的宽度。

8. 根据权利要求 5 所述的风轮机叶片，其特征在于，齿状端部 (12,13) 中齿的数量为在每米加固结构上有 25-200 个。

9. 根据权利要求 4 所述的风轮机叶片，其特征在于，所述齿状端部 (14,15) 部分地彼此相对应，并且空腔中填充有一个或多个中间连接装置 (19,19a,19b)。

10. 根据权利要求 4 所述的风轮机叶片，其特征在于，粘接装置将对应的齿状端部 (14,15) 和 / 或所述一个或多个中间连接装置 (19,19a,19b) 相互粘合在一起。

11. 根据权利要求 1 所述的风轮机叶片，其特征在于，所述一个或多个加固结构 (6,6a,6b,10,11) 包括内部梁加固结构 (6a)，尾缘处的内部加固结构 (6b) 和 / 或包括多个嵌入叶片表面内的长圆形条带的表面壳体结构的内部加固结构 (7)。

12. 根据权利要求 5 所述的风轮机叶片，其特征在于，所述连接接头 (22) 相对于相邻的加固结构 (6,6a,6b,10,11) 扩大。

13. 根据权利要求 12 所述的风轮机叶片，其特征在于，扩大的连接接头 (22) 内的一个所述齿的长度 l 由下式给定：

$$\ell \geq \frac{\sigma_{carbon} \cdot h_1 \cdot b}{\tau_{epoxy} \cdot h_2 \cdot 2} = \frac{1000 \cdot h_1 \cdot b}{10 \cdot h_2 \cdot 2} = 50 \frac{h_1}{h_2} \cdot b$$

其中，h_1是加固结构的相邻高度，而 h_2是所述齿状部在相同宽度 b 处的扩大的高度，所述高度 h_2为 h_1的大小的 2-10 倍。

14. 根据权利要求 12 或 13 所述的风轮机叶片，其特征在于，所述连接接头 (22) 的所述一个或多个相关尺寸大于沿风轮机叶片的根部 (34) 方向的相邻加固结构的尺寸。

15. 根据权利要求 12 或 13 所述的风轮机叶片，其特征在于，所述连接接头 (22) 的扩大部相对于相邻加固结构对称。

16. 根据权利要求 1 所述的风轮机叶片，其特征在于，该连接接头覆盖有覆盖面 (20)。

由两个分离的部分制成的风轮机叶片以及装配方法

[0001] 本申请是申请日为2004年6月30日、名称为“由两个分离的部分制成的风轮机叶片以及装配方法”的专利申请200480043497.X的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及风轮机叶片、风轮机部分、方法及其使用。

背景技术

[0003] 风轮机叶片是现代风轮机中非常重要的部件，并且在限定风轮机的发电和寿命方面是非常重要的。但是，现代风轮机的尺寸的增加还使得风轮机叶片更长且更重。因此，叶片从生产地到风轮机竖立地的运输是需要进行大量考虑的问题，例如选择与叶片的特性例如叶片的长度、高度和重量有关的正确路线。此外，运输需要越来越专用的设备来处理风轮机叶片。

[0004] 因此，风轮机叶片的运输增加了竖立风轮机的过程所面临的挑战和成本。

[0005] 现有技术包括许多使风轮机叶片更容易地运输到风轮机竖立地的解决方案。

[0006] 美国专利No.US-A 4474536例如公开了风轮机叶片的制造，其中每个叶片包括两个部分。所述部分被分别运载到风轮机竖立地并装配成风轮机叶片。风轮机叶片在待接合的部分区域包括许多对应的狭槽。通过在狭槽内加入木块接片和粘接装置来装配所述部分。对应的狭槽和木块接片包括菱形并且该接片可封闭该狭槽。

[0007] 现有技术尤其是上述美国专利的问题是强度低，并且刚性会限制大多数现代风轮机叶片的使用。

[0008] 本发明的一个目的是实现一种没有上述缺陷的风轮机叶片技术。此外，本发明的一个目的是实现在大风轮机叶片方面尤其是在正常使用期间所面临的压力方面有利的技术。

发明内容

[0009] 本发明涉及一种风轮机叶片，该叶片包括

[0010] 至少两个风轮机叶片部分，所述部分包括一个或多个加固结构，所述加固结构的端部在连接接头内相连接，

[0011] 其中所述端部包括对应的连接面，所述面的一个或多个相关尺寸大于该加固结构在所述端部处的横切面的尺寸，以及

[0012] 所述连接接头的一个或多个所述相关尺寸相对于相邻的加固结构扩大。

[0013] 因此可构成没有上述缺陷的风轮机叶片。

[0014] 在加固结构之间的连接接头处的扩大的对应连接面是有利地，这是因为表面之间的保持力大大增加。通过相对于叶片的横切面的非常大的对应的连接面，可恢复风轮机叶片的强度。因此，可确保风轮机叶片和连接接头即使在极端条件例如极端气象状况期间仍维持正常使用的力。

[0015] 此外，较大的对应连接面可确保与横切面的连接相比，粘接装置（介质）能更有利且更牢固地连接表面。对应连接面的连接将承受试图使表面彼此相对地滑动的侧向力，其中横切面的连接将受到试图直接将表面拉开的垂直力。粘接装置总是要强于侧向力，因此连接接头将能承受更大的力而不会破裂。

[0016] 另外，所得到的风轮机叶片的表面内的扩大部与现有技术的教导相违背。到目前为止，普遍认为风轮机叶片的表面必须完全光滑。但是，风轮机叶片的尺寸使扩大部的空气动力效果减小。叶片的运输优点可补偿扩大部的空气动力效果。

[0017] 短语“加固结构”通常理解为风轮机叶片内部或内侧的承受来自风能的力的较大部分的任何结构。

[0018] 短语“加固结构的横切面”通常理解为在通过相对于风轮机叶片的纵向方向将该叶片垂直切割成两部分时出现的表面。该表面被看作是通过在给定位置分割风轮机叶片而得到的基本最小的表面。

[0019] 术语“相邻”通常理解为距离连接接头最近的位置，其中该风轮机叶片和／或内部加固结构已恢复其正常形状。因此，横向连接接头和相邻加固结构之间的关系应可看作是可比较的尺寸，例如在风轮机的相同纵向线上的相邻长度（厚度）值。

[0020] 在本发明的一个方面，叶片部分的所述加固结构的端部成形为多个对应的或部分对应的齿状端部。因此，可产生具有非常高的抗拉强度（抗张强度）的连接接头，这是因为叶片的纵向力被传递给该部分的更长、更大且不垂直的连接部。

[0021] 在本发明的另一方面中，所述齿状端部的齿的形状为三角形例如直角和／或等边三角形、四边齿例如矩形、圆形或更任意的形状以及不同形状的组合例如矩形和在尖端的三角形的组合或不同三角形的组合。因此，可形成同时易于制造和连接的具有大表面的对应的齿状端部。

[0022] 在本发明的另一方面中，齿的侧面包括扇形（pie shape），例如圆形或楔形齿，例如以便在加固结构内形成角部。该齿在制造时需要的精度较小，成本效率高且仍可形成大的连接面。

[0023] 在本发明的另一方面中，所述齿状端部部分地彼此相对应，并且（所述齿的）空腔中填充有一个或多个中间连接装置例如三角形或菱形块。因此，可减小齿状端部的齿的长度（或连接面积），这是因为中间连接装置构成了一些必要的长度。如果中间连接装置的长度例如与齿状端部相同，则它们的强度可比得上两倍长度的端部（在没有中间连接装置的情况下）。由于制造和连接复杂性会随着端部长度的增加而增大，所以可通过使齿状端部和中间连接装置相组合来产生有利的连接接头。此外，扩大的连接接头使得齿状端部可进一步减小而不会增加制造和连接复杂性。

[0024] 在本发明的另一方面中，粘接装置例如双组分环氧树脂粘合剂将对应的齿状端部和／或所述一个或多个中间连接装置相互粘合在一起。粘接装置在大的对应表面上的使用与例如使用螺栓等的“有限”连接相比尤其有利。

[0025] 在本发明的另一方面，所述连接面、横切面、连接接头和相邻加固结构的所述一个或多个相关尺寸可以是面积、长度或厚度值，并且大于沿风轮机叶片的根部的方向的相邻加固结构的尺寸。

[0026] 在本发明的又一方面，扩大的连接接头内的一个所述齿的长度 l 由下式给定

[0027] $$\ell \geq \frac{\sigma_{carbon} \cdot h_1 \cdot b}{\tau_{epoxy} \cdot h_2 \cdot 2} = \frac{1000 \cdot h_1 \cdot b}{10 \cdot h_2 \cdot 2} = 50 \frac{h_1}{h_2} \cdot b$$

[0028] 其中，h_1是该加固结构的相邻高度，而 h_2是在相同宽度 b 处的所述齿的扩大的高度，所述高度 h_2为 h_1的大小的 2-10 倍并优选为 3-6 倍，例如为 3 倍。因此，实现了齿的优选长度。由于切割工具的横截面面积（有限），所以太多的短齿是不实际的，而过长的齿会导致细长并且难以控制制造过程中的振动或偏转。

[0029] 在本发明的一个方面内，齿状端部内的齿的数量为每米加固结构上存在 25-200 个，例如每米大约 100 个，也就是说，每个齿的 b 约为 10 毫米。齿的最优数量是仍可有利地和容易地制造的每米的齿的最大数量（由此为连接面积）。

[0030] 在本发明的另一方面，所述一个或多个加固结构包括内部梁加固结构，尾缘处的内部加固结构和 / 或表面壳体结构的包括多个嵌入叶片表面内的长圆形条带例如碳条带（碳纤维条带）、木质和 / 或玻璃纤维条带的内部加固结构。因此，可实现本发明的有利的实施例，因为通过选择加固结构和材料可形成更坚固且更轻的风轮机叶片，并因此使叶片更容易运输。

[0031] 在本发明的另一方面，所述连接接头的扩大部相对于相邻加固结构对称，例如相对于相邻加固结构的路线向内和向外对称地扩展。因此，可实现可传递纵向力而不会在连接接头内生成扭转或转动力的连接接头。

[0032] 本发明还涉及一种风轮机叶片，该风轮机叶片包括：

[0033] 至少两个风轮机叶片部分，所述部分包括一个或多个具有多个基本为长圆形的碳（化）纤维条带以及由一种或多种材料例如木质或玻璃纤维构成的条带的加固结构，

[0034] 其中所述加固结构的端部在连接接头内相连接，以及

[0035] 所述端部包括对应的连接面，所述面的一个或多个相关尺寸大于所述端部处的加固结构的横切面的尺寸。

[0036] 因此可构成没有上述缺陷的风轮机叶片。

[0037] 在风轮机叶片部分内使用碳纤维条带并因此分隔和连接碳纤维同样与现有技术的教导相违背。但是，在加固结构之间在连接接头处形成较大的对应的连接面大大增加了抗拉强度。因此，可确保风轮机叶片和连接接头即使在极端条件例如极端气象状况期间仍维持正常使用的力。

[0038] 此外，较大的对应连接面可确保与横切面的连接相比，粘接装置以更有利和更牢固的方式连接表面。对应连接面的连接将承受试图使表面彼此相对地滑动的侧向力，其中横切面的连接将受到试图直接将表面拉开的垂直力。粘接装置总是要强于侧向力，因此连接接头将能承受更大的力而不会破裂。

[0039] 在本发明的一个方面，每个风轮机叶片部分内的所述基本为长圆形的碳纤维条带的碳纤维都是完整的（连续的）。此外，所述碳纤维条带的对应端部以及所述一种或多种材料的条带的对应端部在连接接头内相连接。将每个部分内的碳条带都选定为完整的以便使用材料的全强度（整个强度），并且对应的条带通过连接接头内的扩大的对应表面恢复连接的条带的全强度。

[0040] 在本发明的一个方面，所述碳纤维条带的对应端部以及所述一种或多种材料的条带的对应端部在连接接头内相连接，并且风轮机叶片的所述加固结构的端部的形状为多个

对应的或部分对应的齿状端部。

[0041] 在本发明的一个方面，所述齿状端部的齿的形状为三角形例如直角和 / 或等边三角形、四边齿例如矩形、圆形或更任意的形状以及不同形状的组合例如矩形和在尖端的三角形的组合或不同三角形的组合，并且齿的侧面包括扇形例如圆形或楔形齿，例如以便在加固结构内形成拐角。

[0042] 在本发明的另一个方面，连接接头内的一个所述齿的长度由下式给定

[0043] $$\ell \geq \frac{\sigma_{carbon} \cdot b}{\tau_{epoxy} \cdot 2} = \frac{1000 \cdot b}{10 \cdot 2} = 50 \cdot b$$

[0044] 其中，连接接头的高度和加固结构的相邻高度相同或基本相同。齿的长度和宽度之间的关系形成连接接头内的必要强度。

[0045] 在本发明的一个方面内，齿状端部内的齿的数量为每米加固结构上存在 25-200 个，例如每米上存在约 100 个，即每个齿的 b 约为 10 毫米。该关系确保相对于风轮机叶片的一般强度该连接接头内存在必要的强度，其中较低的值会形成较不坚固的连接而较高的值将大大增加制造成本。

[0046] 在本发明的一个方面，所述齿状端部部分地彼此相对应，并且空腔中填充有一个或多个中间连接装置例如三角形或菱形块。所述块例如碳纤维材料的块的使用使得在连接接头内形成必要的对应面。

[0047] 在本发明的另一方面，粘接装置例如双组分环氧树脂粘合剂将对应的齿状端部和 / 或所述一个或多个中间连接装置相互粘合在一起。因此，可实现本发明的有利的实施例。

[0048] 在本发明的另一方面，所述连接接头相对于相邻的加固结构扩大。因此，可通过使碳纤维条带的使用和扩大的连接接头相结合即使强度和更大的表面相结合可形成非常坚固的连接。

[0049] 本发明还涉及一种将用于风轮机叶片的风轮机叶片部分，所述叶片部分包括：

[0050] 具有端部的加固结构，该端部包括用于连接到另一叶片部分的连接面，

[0051] 所述表面的一个或多个相关尺寸大于所述端部处的加固结构的横切面的尺寸，以及

[0052] 所述结构端部包括施用有隐藏在可除去式覆盖物内的连接装置的连接面。

[0053] 现代风轮机叶片的长度可轻易地超过 40 米，因此通常需要非常长的制造大厅。通过将每个风轮机叶片制造成多个部分，可减小制造工作间的大小。此外，通过使用叶片部分可大大改进在制造工作间内的以及运输到风轮机竖立场地的叶片的运输。

[0054] 风轮机叶片的连接面可在制造工作间内具有必要的连接装置和隐藏覆盖物。因此，可控制施用和隐藏连接装置的环境，从而可确保在过程期间存在最优环境。

[0055] 在本发明的一个方面，所述连接装置是粘接装置例如双组分环氧树脂粘合剂，其被隐藏在可除去的覆盖物的气密性塑料层下方。因此，可确保连接装置被保持在受保护的环境内，直至叶片部分到达风轮机竖立场地。

[0056] 在本发明的另一方面，该连接接头覆盖有覆盖面例如一些玻璃纤维层。该覆盖物可用作在连接接头处的叶片表面的空气动力轮廓的恢复，以及保护连接接头。

[0057] 本发明还涉及风轮机叶片部分的装配工作间，所述装配工作间包括：

[0058] 用于彼此相对地安放风轮机叶片部分以便在所述部分之间形成连接接头的装置，

[0059] 至少封闭风轮机叶片部分的连接接头的遮蔽物，以及

[0060] 用于控制遮蔽物内的一个或多个环境值的装置。

[0061] 该装配工作间是有利的，因为其建立了为了在风轮机竖立场地或在附近位置例如在当地工工作间连接风轮机叶片部分所必需的环境。所必需的装置都可使用一辆或多辆货车运输到现场，随后拆除并将它们移动到新场地。

[0062] 在本发明的一个方面，所述用于控制一个或多个环境值的装置包括供热和湿度控制、传感器例如温度和湿度传感器以及用于控制粘接过程的控制装置。通过控制温度和湿度，可提高或加速粘接过程并从而在部分之间产生更牢固的粘接连接。

[0063] 在本发明的一个方面，所述安放风轮机叶片部分的装置包括用于相对于另一个部分沿垂直和水平方向移动至少一个部分的致动器，位置测量装置例如安放在风轮机叶片部分上的发射器和接收器，以及反射器和接收器装置和控制装置。在部分的每个端部内使用致动器是有利的，这是因为该部分必须在相互压紧之前非常好地对准以便建立牢固的连接。发射器优选地为激光束以便提高部分安放过程的精度。

[0064] 在本发明的一个方面，所述遮蔽物是相对于温度和／或湿度密封地封闭连接接头的帐篷。帐篷的使用是有利的，这是因为其围绕连接接头形成必要的遮蔽。此外，其在运输期间成本效果合算且紧凑。

[0065] 本发明还涉及一种在不同于风轮机叶片部分的制造场地的位置将所述风轮机叶片部分装配成风轮机叶片的方法，该方法包括以下步骤：

[0066] 在每个部分的加固结构的一端形成用于连接的至少一个连接面，其中所述表面大于该结构的横切面，

[0067] 使用提升装置例如致动器彼此相对地安放风轮机叶片部分，

[0068] 通过使用连接装置在所述至少一个连接面处连接风轮机叶片部分，

[0069] 其中在装配期间控制连接区域的至少一个环境值。

附图说明

[0070] 下面将参照附图说明本发明，在附图中：

[0071] 图 1 示出大型现代风轮机，

[0072] 图 2a 和 2b 示出包括内部梁结构的风轮机叶片，以及示出嵌入的碳纤维的叶片的放大横截面视图，

[0073] 图 3a 和 3b 示出由不同材料的条带制成的风轮机叶片，以及示出条带位置的叶片的放大横截面视图，

[0074] 图 4a 到 4c 示出具有对应的齿状梁端部的作为两个叶片部分的风轮机叶片，其中该叶片可以是图 2a 到 3b 中所示的叶片之一，

[0075] 图 5 示出叶片部分之间的接头处的风轮机叶片的内部梁的横截面视图和透视图，

[0076] 图 6a 示出从叶片边缘看过去的贯穿包括内部加固梁的风轮机部分的横截面视图，

[0077] 图 6b 示出从叶片表面上方看过去的根据本发明的包括内部梁的风轮机部分的视图，

[0078] 图 6c 示意性地示出从叶片尖端看过去的包括扩大部的风轮机叶片，

[0079] 图 7a 和 7b 示出叶片部分的接头中齿状梁端部的大小和一组齿的大小，

[0080] 图 7c 示出普通切口与齿状梁端部的大小以及它们之间的关系，

[0081] 图 8a 到 8c 示出风轮机叶片的内部加固结构中的对应的齿状梁端部或表面壳体结构的不同实施例，

[0082] 图 9a 到 9c 示出风轮机叶片的内部加固结构中的对应的齿状梁端部或表面壳体结构的另外的实施例，

[0083] 图 9d 和 9e 示出风轮机叶片的内部加固结构中的对应的齿状梁端部或表面壳体结构的更多实施例，

[0084] 图 10a 到 10c 示出风轮机叶片的内部加固结构中的对应的齿状梁端部或表面壳体结构的实施例，

[0085] 图 11a 到 11c 示出风轮机部分的装配方法的一些步骤，

[0086] 图 12 示出风轮机叶片的内部加固结构中齿状梁端部或表面壳体结构的单个齿以及该齿的放大横截面视图，以及

[0087] 图 13a 和 13b 示出用于安放和装配风轮机叶片部分并控制装配期间的条件的现场单元的实施例。

具体实施方式

[0088] 图 1 示出具有塔架 2 和安放在塔架顶端的风轮机引擎舱 3 的现代风轮机 1。风轮机转子的叶片 5 通过延伸出引擎舱前端的低速轴连接到引擎舱。

[0089] 如图中所示，超过一定程度的风将起动转子并使转子沿垂直于风的方向旋转。如本领域内的技术人员已知的，旋转运动被转化成通常将提供给输电网的电能。

[0090] 图 2a 和 2b 示出具有内部加固结构 6 的风轮机叶片以及该叶片的放大横截面视图。

[0091] 图 2a 示意性地示出内部加固结构 6 如何包括从风轮机叶片 5 的根部指向叶片尖端的内部梁结构。该梁结构直接连接到根部凸缘，其中该凸缘建立了另外的从叶片到轮毂以及风轮机 1 的剩余部分的连接。梁结构增加了风轮机叶片的强度，使风轮机叶片的表面壳体结构 7 变宽并将表面力传递到风轮机的剩余部分。

[0092] 图 2b 示出风轮机叶片的横截面视图以及图 2a 的内部梁结构，其中该梁结构包括基本为四边形的形状。

[0093] 该图还示意性地示出，该实施例的结构由通过碳纤维 8 增强的标准玻璃纤维材料 9 制成。碳纤维示出为多个单个的纤维，所述纤维嵌入在玻璃纤维材料中，例如在施用树脂材料之前织在玻璃纤维层内或与所述层并排安放。碳纤维完整地（连续地）安放在玻璃纤维材料内并在内部梁结构的两端之间延伸，以产生轻且强度高的风轮机叶片。

[0094] 内部加固结构 6 可例如在尾缘（在图 4a 内示意性地示出）或前缘处包括附加加固结构，其中可将独立的结构例如作为板或类似形状的装置在每个边缘侧嵌入表面材料。如果必要，可在风轮机叶片内建立附加的内部加固结构，例如安放在叶片表面的内侧上的一个或多个被拉挤的碳纤维板或杆和 / 或玻璃纤维板或杆。

[0095] 应强调，内部加固结构除了所示的四边形状外还可包括许多不同的形状，例如一个或多个 I 形梁、U 形梁或蜂窝状结构。此外，内部加固结构可包括两个或多个不同形状的

组合。内部加固结构的各种不同的形状可能性是本领域技术人员公知的。

[0096] 图 3a 和 3b 示出风轮机叶片的另一实施例及该叶片的放大横截面视图。

[0097] 图 3a 示出包括表面壳体结构 7 而无上述内部梁结构的风轮机叶片 5。

[0098] 包括放大横截面视图的图 3b 还示出表面壳体结构 7 的内部结构。该内部结构构成风轮机叶片 5 的必需的内部加固结构 6。该视图尤其示出用不同材料制成并相互并排安放的多个条带如何构成风轮机叶片。可通过将不同类型的条带例如完整的碳纤维条带 10 以及木制或玻璃纤维条带组合来获得最佳条带性能。所述条带通过合适的方法结合，例如通过在条带之间注射或真空灌装树脂而接合。

[0099] 所述包括条带的表面壳体结构还可与安放在叶片表面内侧的一个或多个被拉挤的碳和 / 或玻璃纤维板或杆相结合。

[0100] 因此，不同类型的条带和树脂形成风轮机叶片 5 的表面 7。条带和树脂同时构成内部加固结构，该内部加固结构的强度可比得上图 2a 和 2b 中所示风轮机叶片的内部加固结构的强度。

[0101] 此外，应强调，图 2a 和 2b 所示的风轮机叶片的内部梁结构还例如可使用条带制造，而不是仅使用嵌入的碳纤维或仅使用玻璃纤维材料制造。

[0102] 最后，风轮机叶片可制造成具有加固结构例如内部梁结构以及表面壳体结构中的内部加固结构的组合。但是，图 3b 的 I 形梁示出用于控制表面壳体结构的移动的支承（非加固）结构。

[0103] 图 2a 到 3b 示出本领域技术人员已知的风轮机叶片的法向剖面，例如内部梁和 / 或叶片表面的从根部到尖端的路线 (course) 和形状。此外，图中示出风轮机叶片内的两种标准类型的内部加固结构，即由叶片表面限定的内部中的结构或叶片表面内的结构。

[0104] 图 4a 到 4c 以两个独立的叶片部分示出如图 2a 或 3a 的风轮机叶片，所述叶片部分带有根据本发明的对应的齿状梁端部。

[0105] 图 4a 示出如何将图 2a 的风轮机叶片制造成具有相似长度或尺寸的两个叶片部分 12、13。所述部分包括突出超过叶片部分的表面壳体结构 7 的两个内部梁端部 14、15。梁端部 14、15 加工成具有特定形状例如多个三角形齿或指状接头的齿状梁端部 16a、17a。

[0106] 该图还示出，齿状梁端部 16a、17a 由在尾缘附近从叶片内部突出的另一组齿状梁端部 16b、17b 补充。后一组示出为其齿的数量比第一齿状梁端部 16a、17a 少但是结构和形状相同。

[0107] 该图还示出，具有内部梁端部 14、15 的两个部分 12、13 相互面对并且以能够无缝地相互插入的方式彼此对应。通过使所述部分相互插入就可构成完整的风轮机叶片 5。

[0108] 优选在将叶片部分的表面壳体结构 7 围绕所述梁安放并紧固之后，加工所述梁端部。加工过程可包括在突出超过叶片部分的表面的梁端部内切割出齿或指状部的高压水切割机械 / 自动机械。在一个实施例中，所述机械 / 自动机械可从上部和下部切割出齿或指状部，从而当风轮机叶片被安放成侧表面朝上 / 下和 / 或侧面 / 侧面时产生垂直的和 / 或水平的齿或指状部。在此位置，梁端部可相互插入并随后仅沿上 / 下方向移动，直到例如通过将齿或指状部的表面相互粘接在一起来刚性紧固所述部分。

[0109] 图 4b 示出如何将不带内部梁结构的风轮机叶片 - 例如图 3a 所示的风轮机叶片 - 制造成两个具有类似长度或大小的部分 12、13。每个部分包括定位在该部分的端部并

从该端部延伸出的齿状梁端部16c、17c。如图中用虚线示出的，齿状梁端部仅向风轮机叶片部分12、13内延伸有限的距离，以作为表面壳体结构7的内部加固结构内的某种短的内部梁结构部分。齿状梁端部16c、17c的形状基本对应，并且例如通过使用粘接装置连接到风轮机叶片的内表面。

[0110] 该图还示出，齿状梁端部16c、17c由在尾缘附近从叶片内部突出的另一组齿状梁端部16d、17d补充。后一组示出为其齿的数量比第一齿状梁端部16c、17c少但是结构和形状相同。

[0111] 该图还示出，具有两组齿状梁端部16c、17c、16d、17d的两个部分12、13相互面对，并且以能够无缝地相互插入的方式彼此对应。

[0112] 风轮机叶片的这两个部分可使用四个叶片半壳体制造，其中在将两个半壳体安放在另两个半壳体上并固定在其上之前，将预先制造的齿状梁端部组16c、17c、16d、17d安放在该另两个半壳体的内表面上。预先制造的齿状梁端部组还可制成四个相同的半端部，其中每个半端部固定在一半壳体上，从而在半壳体相互紧固在一起时相接合。

[0113] 通过在表面壳体结构7内使用和安放预先制造的齿状梁端部组，可使齿延伸到风轮机叶片的空腔内。

[0114] 此外，可如上面进一步说明的，在将叶片部分的壳体相互紧固在一起之后加工突出的端部。

[0115] 图4b（有一些修改）还可看作是如图3a和3b内所示的表面壳体结构7的两个端部之间的连接，其中在表面壳体结构内－例如在连接处的所有对应表面内或一部分表面内－形成齿状齿。

[0116] 图4c示出一内部加固结构，其具有两个对应的包括多个齿的齿状端部，例如（如图4a和4b所示的）内部梁的两个端部或者（如图3a和3b内所示的）表面壳体结构的两个端部。

[0117] 图5示出贯穿风轮机叶片的内部梁6a的优选实施例的横截面视图和透视图。这是风轮机叶片的两个部分之间的扩大的连接接头22附近的视图，并且未示出叶片表面。这两个部分利用以无缝连接相互插入的多个齿而在对应的齿状梁端部14、15处相连。齿的表面包括粘接装置，并且连接接头扩大以形成具有比不设扩大部的情况更大的连接面的连接接头。

[0118] 透视图示出加固结构6a的正常外部长度或厚度W_o与扩大的长度或厚度X_1之间的关系，其中这两个值是在相同的纵向测量线m上测量的。线m可由连接接头处的扩大的长度或厚度X_1和正常外部长度或厚度W_o中的峰值限定。W_o值是紧邻在正常风轮机叶片的路线上的扩大部的起点测量的，例如在横向线n处沿风轮机叶片的根部的方向与连接接头22的连接的距离小于1m处测量。线n指示正常风轮机叶片的路线和扩大部之间的分隔线，即指示扩大部的开始和结束的扩大部两侧的横线。此外，该图示出例如在线n上的加固结构6a的正常内长度或厚度W_i。

[0119] 该图还示出扩大的连接接头22如何沿水平方向（朝叶片边缘－图6b和6c内示出）以及垂直方向（朝叶片表面及中心－如图6a内示出）扩展。但是，扩大的连接接头22也可仅沿一个方向扩展，例如沿水平方向朝叶片表面和／或朝叶片的中心扩展。

[0120] 图5最后示出作为梁结构内的角部一部分的示出为楔形的两个对应的齿，其中楔

形可看作是端部的尖齿或圆形齿的替代（如由梁的一个上角部内的彼此紧邻的扇形件示出）。

[0121] 图 6a 还示出图 5 的原理，其中风轮机内的内部梁 6a 的部分在扩大的连接接头 22 处相连接。扩大部在线 n 之间沿垂直方向示出，并且可从风轮机叶片的朝加固结构 6a 的侧面的边缘看到。该扩大部还示出为在两条线 n 之间的区域内相对于叶片的正常路线对称，即该扩大部对称地以及向外地扩展到叶片内部。

[0122] 内部加固结构的内部梁 6a 被表面壳体结构 7 覆盖，因此构成根据本发明的风轮机叶片的一个优选实施例。该风轮机叶片示出为具有正常叶片表面但又具有在连接接头处横跨叶片表面即从边缘到边缘的横向扩大部或边界。

[0123] 梁的扩大部可有许多不同的尺寸，例如：

[0124] X_1为与 X_1附近的加固结构的一般横切面的长度 W_o相比的加固结构（例如图 2a 和 2b 的梁或图 3a 和 3b 的表面壳体结构 7）内扩大的连接接头 22 的横切面长度。该长度在扩大部的顶点例如在连接接头内的叶片的最高点测量，其中该最高点通常在连接接头的中心。长度 W_o是在扩大部刚开始处例如沿风轮机叶片的根部 34 的方向在线 n 上测量的。叶片的宽度对于 W_o和 X_1的位置基本相同，因此表面积之间的关系反映为 X_1和 W_o之间的关系（X_1对于扩大的连接接头 22 非常大）。如果该结构在连接接头 22 处构成最小可能切面的切口内横向切开，则表面长度 W_o和 X_1可看作相关的表面值。

[0125] W_o为在与扩大部有关的风轮机叶片的相邻正常路线处的加固结构的外部距离。

[0126] W_i为加固结构的内部距离。该内部距离可沿通过扩大部的正常路线一致或减小以生成更多用于连接的表面区域。该距离是在与扩大部的顶点相交例如在连接接头内的叶片的最高点处的线上纵向测量的。

[0127] 图 6b 示出根据本发明的风轮机叶片部分 5。该包括内部加固结构 6a 的叶片是从叶片表面的上方看过去的。

[0128] 扩大部 22 示出为在加固结构 6a 上方的第一扩大部 22a 和从第一扩大部 22a 延续到叶片 7 的前缘和尾缘的第二扩大部 22b。第二扩大部的高度可与第一扩大部相同或朝叶片边缘减小（如图 6c 的 X-X 视图内非常示意性示出的），并因此形成从边缘到边缘的连续边界。第一扩大部 22a 还可是唯一的扩大部，因此是一种在叶片部分 5 处在表面 7 的中心部分上凸起的孤立部。

[0129] 图 6c 示意性地示出从叶片尖端看的包括扩大部的风轮机叶片。如图可见，扩大部形成从边缘到边缘的连续边界，其中可使用扩大部的覆盖面以改进叶片在扩大的连接接头 22 处的空气动力轮廓（如图 11b 和 11c 内进一步示出的）。

[0130] 图 6b 和 6c 还示出从不同位置看的线 m 和 n 的路线。

[0131] 图 7a 和 7b 更详细地示出风轮机叶片中的内部加固结构 6 例如齿状梁端部和连接接头的齿的尺寸。所述多个齿具有总长度为 L 的连接面，该长度远长于内部加固结构的横切面的长度（长度 W_o或 X_1）。上部或下部齿示出为比其它齿厚以示出四个角部的可能的形式（如图 5 内进一步示出）。

[0132] 此外，图 7a 示出另一实施例，其中扩大的连接接头 22 由连接到正常加固结构 6（在虚线 n 处建立的连接部）的两个齿单元形成。所述单元固定在正常加固结构的端部，以作为用于在制造工作间的制造过程中或就刚制造完成后例如通过使用长表面和如上文

和下文所述的粘附装置互补地安装的单元。

[0133] 图 7c 示出梁的端部和粘合在连接接头内的齿状梁端部的示例之间的关系。两个端部示出为具有相同宽度 b_1、b_2。端部的高度 h_1、h_2可相同或者例如 h_2大于 h_1从而在接头生成扩大部。高度 h_2可例如至少为风轮机叶片的正常高度 h_1的 2 倍，例如为 3 倍。

[0134] 粘合接头是粘合有环氧树脂的碳纤维，其中碳的抗拉强度为 σ_{carbon}～1000Mpa。碳部分的强度可表示为 $\sigma_{carbon} \cdot h_1 \cdot b$。

[0135] 环氧树脂粘合剂的剪切强度为 τ_{epoxy}～10Mpa。粘合部分的强度可表示为 $\tau_{epoxy} \cdot h_2 \cdot 2\ell$。

[0136] 1. 如果碳条带的强度小于等于接头的强度（对于 $b = b_1 = b_2$）

[0137] $\sigma_{carbon} \cdot h_1 \le \tau_{epoxy} \cdot h_2 \cdot 2\ell$

[0138] $\ell \ge \frac{\sigma_{carbon} \cdot h_1}{\tau_{epoxy} \cdot h_2 \cdot 2} = \frac{1000 \cdot h_1}{10 \cdot h_2 \cdot 2} = 50\frac{h_1}{h_2}$

[0139] 即$h_1 = h_2 \Rightarrow \ell \ge 50b, b = 10mm$，然后

[0140] 齿长度$\mathbf{l} = \ell = 50 \cdot 10 = \mathbf{500mm}$（非常细长的齿）

[0141] 2. 如果$h_1 > h_2 \Rightarrow \ell < 50 \cdot b$（对于 $b = b_1 = b_2$）

[0142] 例如 $h_2 = 3h_1$，以及 b = 10mm，然后，

[0143] 齿长度$\mathbf{l} = \ell \ge \frac{50 \cdot 10}{3} = 167mm$（更优选的尺寸）。

[0144] 3. 如果$h_2 >> h_1 \Rightarrow \ell < 50 \cdot b$（对于 $b = b_1 = b_2$）

[0145] 例如 $h_2 = 6h_1$，以及 b = 10mm，然后，

[0146] 齿长度$\mathbf{l} = \ell \ge \frac{50 \cdot 10}{6} = 83mm$（优选尺寸）。

[0147] 如上所述，齿的数量优选地为每米接头连接部例如正常连接部（$h_2 = h_1$）上或每米扩大连接部（$h_2 > h_1$）上存在约 100 个（每个齿的 b = 10 毫米）。但是，齿的数量可在每米 25-200 个之间自由选择，例如通过改变高度之间的关系以实现优选的齿长度。

[0148] 图 8a 到 8c 示出风轮机叶片（例如图 2a、2b 或 3a、3b 中的叶片）的内部加固结构中对应的齿状梁端部或表面壳体结构端部的不同实施例。所述实施例均示出两个风轮机叶片部分的连接，其中每个部分包括多组完整的木质或玻璃纤维条带 11 和碳条带 10。木质或玻璃纤维条带 11 通过使用长表面和粘接装置的不同实施例在连接接头例如在正常大小的或扩大的连接接头内连接。

[0149] 图 8a 示出至少三组木质或玻璃纤维条带 11 之间的连接。该连接通过成形为直角三角形的对应的条带端部建立，每个端部形成厚度与条带的剩余部分接近的矩形连接。碳条带 10 的端部没有对应的连接面。

[0150] 图 8b 也示出至少三组木质或玻璃纤维条带 11 之间的连接。所述条带形成两种形状：直角三角形和等边三角形，其中不同条带类型共同形成条带之间的矩形连接。碳条带 10 的端部没有对应的连接面。

[0151] 图 8c 示出图 8b 的连接，其中至少三组木质或玻璃纤维条带 11 之间的连接是通过使用中间连接装置 19 建立的。中间连接装置 19 为菱形，并且封闭条带之间的具有相同表面积但齿长度比前面的示图小的空腔。碳条带 10 的端部没有对应的连接表面。

[0152] 图 9a 到 9c 示出风轮机叶片的内部加固结构中对应的齿状梁端部或表面壳体结构的另外的实施例。所述实施例的对应表面通过粘合装置相互粘接在一起。

[0153] 图 9a 示出两个木质或玻璃纤维条带 11 之间的连接部，其中一个条带的端部为三角形而另一个条带为对应的叉形。

[0154] 该图还示出碳条带之间的连接部的三个不同实施例，其中每个连接部的形状不同并且至少两个包括使用中间连接装置 19。

[0155] 两个碳条带之间的上部连接（1.）通过形状为直角三角形的对应的条带端部建立，所述端部形成厚度与条带的其它部分相同的矩形连接部。

[0156] 两个碳条带之间的中心连接（2.）通过形状为直角三角形的条带端部尖对尖地建立。它们之间的空腔被三角形中间连接装置 19 封闭，其中所述三角形件和装置构成将用于碳条带的粘接和连接的对应表面。该连接的表面积与前面的图（1.）相同但是齿长度较小。

[0157] 两个碳条带之间的下部连接（3.）通过形状为三角形的条带端部（不是直角尖端）尖对尖地建立。两个空腔（在条带的两侧）被两个三角形中间连接装置 19 封闭，其中三角形件和装置构成将用于碳条带 10 的粘接和连接的对应表面。

[0158] 图 9b 示出两个木质或玻璃纤维条带 11 之间的连接，其中所述两个条带端部的形状相似。该形状包括不同的三角形，其中倾斜程度在不连续的位置改变，从而三角形部分对接并且两个空腔（在条带的两侧）被两个三角形中间连接装置 19 封闭，其中所述三角形件和装置构成将用于木质或玻璃纤维条带 11 的粘接和连接的对应表面。

[0159] 图 9c 示出两个木质或玻璃纤维条带 11 之间的连接，其中一个条带的端部为三角形而另一个为对应的叉形。

[0160] 两个碳条带之间的连接通过端部为对应的双尖和三尖叉状部的条带建立。所述两个叉状部形成相对于碳条带的剩余部分扩大的连接。两个木质或玻璃纤维条带 11 之间的连接部的尺寸减小，从而产生不同类型的条带之间实现连续无缝连接所必需的空间。

[0161] 应强调，只要对应的端部或端部和中间连接装置也可改变，则内部加固结构内的每个齿状梁端部或表面壳体结构端部例如其长度、位置或齿的数量也可改变。此外，端部和中间连接装置的不同实施例可与任何类型的条带例如木质、玻璃纤维或碳纤维条带结合使用。

[0162] 图 9d 到 9e 示出风轮机叶片的内部加固结构中的对应的齿状梁端部或表面壳体结构的另外的实施例。

[0163] 图 9d 示出两个木质或玻璃纤维条带 11 之间的连接，其中一个条带的端部为三角形而另一个条带的端部为对应的叉形。该图还示出两个碳条带 10 之间的连接，该连接是通过条带端对端地对接且两个中间连接装置 19 捆绑在端部的两侧以将条带绑在一起而建立。使第一和第二条带分别与两个中间连接装置 19 互连的表面的大小与例如图 9a 的碳条带端部之间的非常长的连接的表面相对应。

[0164] 所示出的两个木质或玻璃纤维条带 11 之间的连接相对于条带的正常长度或厚度减小，从而适合稍微扩大的碳条带连接。

[0165] 图 9e 示出两个木质或玻璃纤维条带 11 之间的连接，其中一个条带的端部为三角形而另一个条带的端部为对应的叉形。该图还示出两个碳条带 10 之间的连接，该连接是由条带端部对接并且通过捆绑在碳条带 10 的一侧上的一个中间连接装置 19 连接构成的。

[0166] 图 10a 到 10c 还示出条带例如碳和木质条带之间的一些可能的连接。

[0167] 图 10a 的连接很大程度上对应于图 9d 内的碳条带之间的连接，其中两个中间连接装置 19 与条带端部的形状相对应并伸展以覆盖一些规则的条带表面。两个中间连接装置 19 示出为与条带的端面对应的形状相当自由的装置。

[0168] 图 10b 示出两个中间连接装置 19，所述装置为安放在条带 10/11 的两侧并封闭条带的相互对应的两个端部之间的连接的三角形件。

[0169] 图 11a 到 11c 示出用于装配风轮机叶片的部分的方法中的一些步骤。

[0170] 将风轮机叶片从制造场地运输到风轮机的竖立场地是分段进行的。使用货车运输叶片部分，其中由于与一体式风轮机叶片相比（本发明的叶片部分的）长度和载荷重量减小，所以可通过更标准的方式进行运输。

[0171] 通常，风轮机叶片的两个部分可并排放置在一个货车上。但是，可将标准货车的最大载荷限制作为一个确定风轮机叶片划分成的部分的数量以及可在每个货车上放置多少个部分的参数。可例如将每个叶片制造成三个或更多部分而非如本发明的示例性实施例内所述的两个部分，也可在一个单独的货车上放置一个叶片部分。所述部分还可利用一个或多个集装箱 - 例如用于火车或航运的标准集装箱 - 来运输。

[0172] 图 11a 示出到达风轮机叶片竖立场地时的风轮机叶片 5 的部分。将所述部分压紧以使齿状梁端部形成无缝连接。该连接包括梁端部的表面上的粘接装置，从而在叶片部分之间形成固定的连接接头 21 或扩大的连接接头 22。

[0173] 图 11b 示出在粘接装置已经硬化并因此已经构成固定的接头连接之后的叶片部分。在连接接头 21/22 上方的所述部分之间的打开距离被覆盖面 20 例如多个玻璃纤维层密封。该覆盖还用于在该连接接头处重建叶片的空气动力轮廓。

[0174] 图 11c 示出风轮机叶片，其中在覆盖面被上漆以便与风轮机叶片的其余部分融为一体之后，连接接头准备好安装在风轮机上。

[0175] 图 12 示出风轮机叶片的内部加固结构中齿状梁端部或表面壳体结构的单个齿 18 以及该齿的放大横截面视图。

[0176] 该齿的形状示出为基本呈三角形，但是该齿可包括可在风轮机叶片部分之间的连接接头处确保有长的对应表面的任何形式。该连接接头的齿可例如包括矩形、对应的圆形或更任意的形状以及具有圆形尖端的三角形，以便有助于制造过程。此外，齿的形状可以是不同形状的组合，例如在侧面为矩形而在梁端部或表面壳体结构的中心为三角形。

[0177] 放大横截面视图示意性地示出准备好被运输的齿 18。在制造工作间的齿的制造过程之后，齿的表面在受控的环境下覆盖有粘接装置 23 以便为以后的使用最优地准备粘接装置。随后通过保护层 24 例如气密封的塑料层保持该粘接装置。该层可在风轮机叶片部分装配成风轮机叶片的场地例如利用潜在固化或热熔技术容易地除去。

[0178] 图 13a 和 13b 示出用于安放和装配风轮机叶片部分并在装配期间控制条件的现场单元。

[0179] 图 13a 示意性地示出用于安放和装配风轮机叶片 5 的现场单元的实施例。

[0180] 该现场单元包括连接到风轮机叶片部分的端部的多个液压或电动致动器 a-d。将所述部分隔开一定距离安放以便能自由地上下移动。可通过致动器和致动器控制装置 28 控制所述部分相对于彼此以及相对于地面 25 的位置。可以非常高的精度确定部分 12、13

的位置，这是因为所述部分设有水平／高度测量装置，所述测量装置的形式为具有对应的发射器和接收器控制装置 27a、27b 的激光发射器和接收器 26a、26b。

[0181] 致动器和激光器的控制装置 27a、27b、28 连接到控制装置 29，该控制装置控制致动器以将该叶片部分升高到激光接收器 26b 看到激光发射器 26a 的位置。优选在到达该位置并因此风轮机叶片部分准备好被相互压紧时，使所述叶片部分对齐，直到它们无缝地相互插在一起。该插入可例如包括风轮机叶片的内部加固结构的对应的齿状梁端部（如图所示）或表面壳体结构的齿状端部。该部分的插入可通过一个或多个致动器执行，该致动器将该部分相互压紧，例如致动器在风轮机叶片的根部和尖端朝连接接头施加压力。该插入优选地在从齿状端部除去气密性保护覆盖物并因此使连接表面上的粘接装置暴露之后迅速执行。

[0182] 图 13b 还示出图 13a 的现场单元，其中该单元包括用于控制在风轮机叶片部分的连接期间的环境条件的装置。

[0183] 该单元包括遮蔽物 33，例如将所述部分 12、13 的接头连接处的空间与外部隔开的帐篷。该遮蔽物确保该空间内的条件例如该空间内的温度和湿度可控。为检测空间条件，其包含多个传感器 31，例如温度和湿度传感器。所述传感器连接到控制装置 30，该控制装置根据传感器测量结果控制遮蔽物的供热 32 和／或湿度控制。

[0184] 通过该遮蔽物内的被限定和控制的环境，可在风轮机叶片 5 的内部加固结构内的对应的齿状梁端部或表面壳体结构之间确保最优的粘接，例如这些部分之间的更牢固和／或更快的接头连接。

[0185] 上文已参照包括齿状端部的风轮机部分的特定示例说明了本发明。但是应当理解，本发明并不局限于上文所述的特定实施例，而是例如其大小、形状、齿的数量以及材料的选择可改变。此外，应理解，在权利要求指明的本发明的范围内该风轮机叶片可设计具有许多变型。

[0186] 列表

[0187] 1、风轮机

[0188] 2、风轮机塔架

[0189] 3、风轮机引擎舱

[0190] 4、风轮机轮毂

[0191] 5、风轮机叶片

[0192] 6、内部加固结构

[0193] 6a、内部梁加固结构

[0194] 6b、尾缘处的内部梁加固结构

[0195] 7、风轮机叶片的表面壳体结构

[0196] 8、碳纤维层

[0197] 9、玻璃纤维层

[0198] 10、碳纤维条带

[0199] 11、木质或玻璃纤维条带

[0200] 12、风轮机叶片的第一部分

[0201] 13、风轮机叶片的第二部分

[0202] 14,15、对应的齿状梁端部

[0203] 16a,17a、对应的齿状梁端部

[0204] 16b,17b、对应的齿状尾缘端部

[0205] 16c,17c、对应的齿状梁端部单元

[0206] 16d,17d、对应的齿状尾缘端部单元

[0207] 18、齿状梁端部的齿

[0208] 19,19a,19b、中间连接装置

[0209] 20、覆盖面

[0210] 21、风轮机叶片部分的连接接头

[0211] 22、扩大的连接部分

[0212] 23、连接装置,例如粘接材料

[0213] 24、保护盖或层

[0214] 25、风轮机竖立场地的地平面

[0215] 26a,26b、用于测量相对位置的发射器和接收器

[0216] 27a,27b、用于测量信号的发射器和接收器

[0217] 28、致动器装置

[0218] 29、用于控制粘接过程的控制装置

[0219] 30、用于控制装配过程的控制装置

[0220] 31、传感器,例如温度和湿度传感器

[0221] 32、供热

[0222] 33、包围风轮机叶片部分的接头连接部的封装

[0223] 34、风轮机叶片根部

[0224] 35、风轮机叶片尖端

[0225] a-d、致动器

[0226] m、纵向测量线

[0227] n、扩大的连接接头与相邻正常叶片之间的横断线

[0228] l、齿状梁端部的齿的长度

[0229] L、加固结构的连接表面

[0230] X_1、加固结构中扩大的接头的横向长度,例如扩大的接头的最大长度

[0231] W_i、加固结构的内部距离,例如在线 n 处扩大的接头附近的加固结构的横向长度

[0232] W_o、加固结构的外部距离,例如在线 n 处扩大的接头附近的加固结构的横向长度

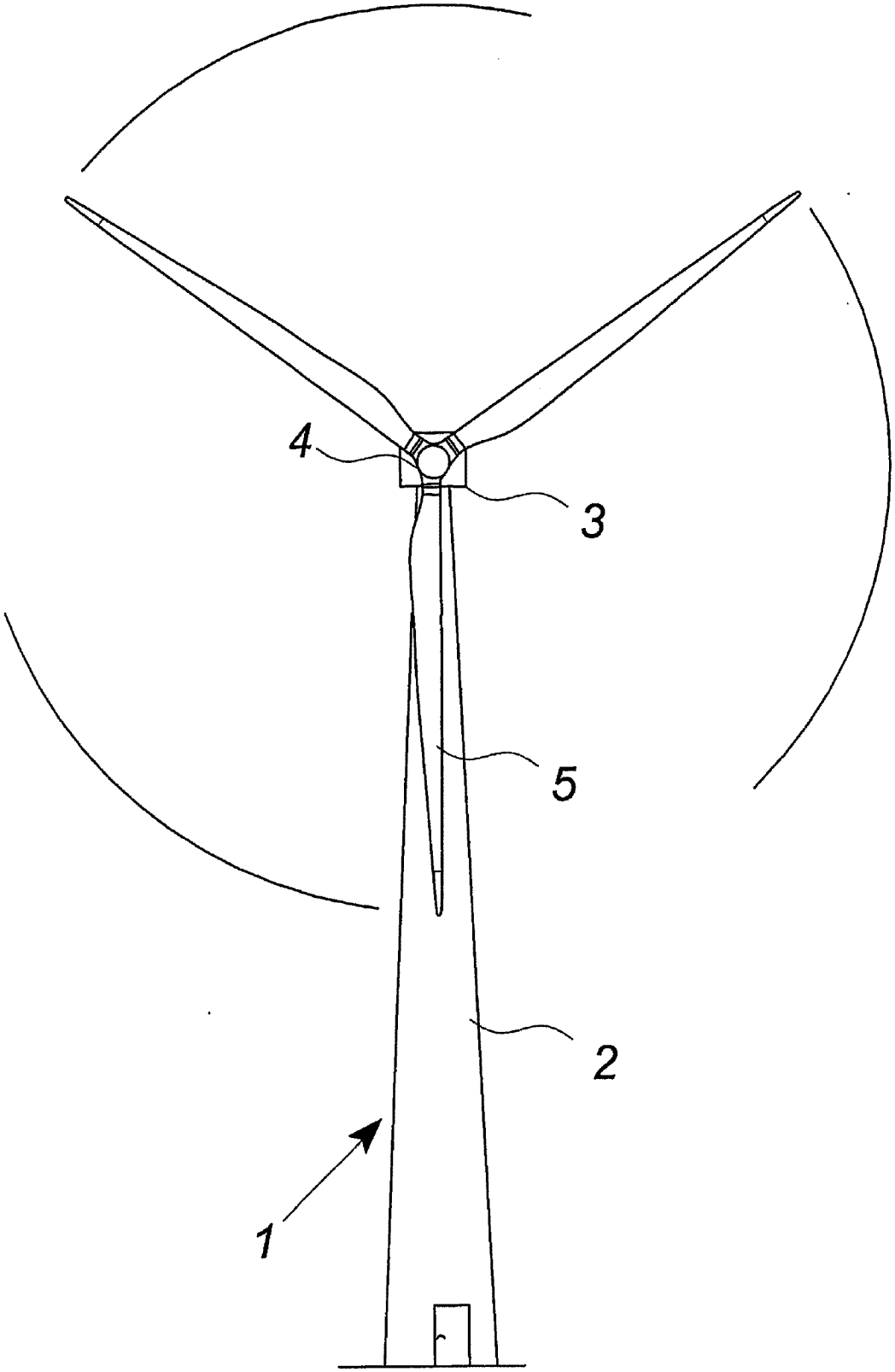


图 1

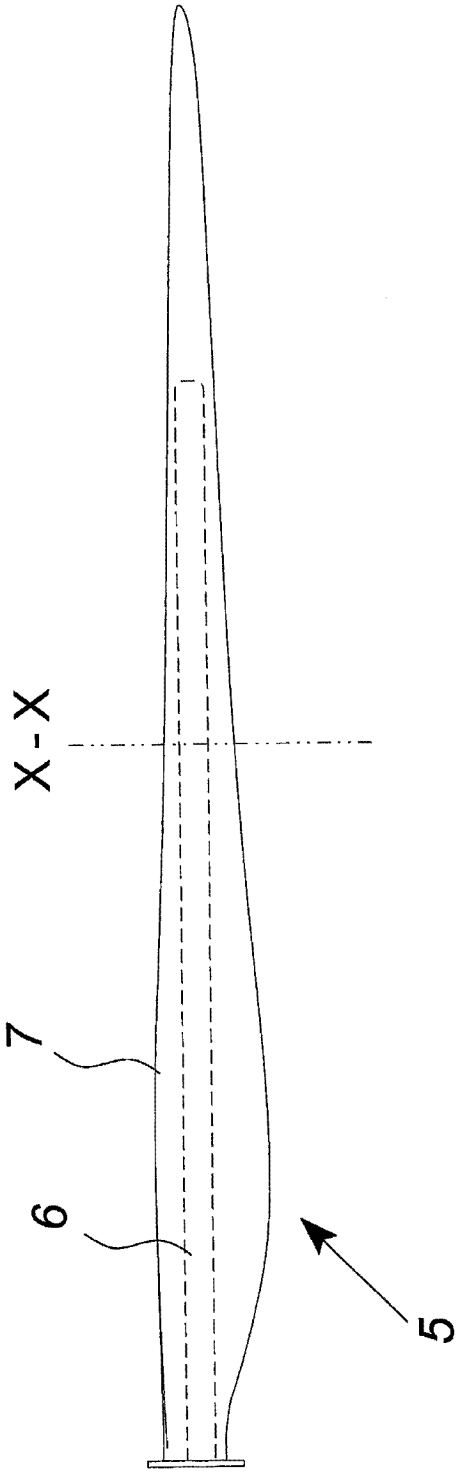


图 2a

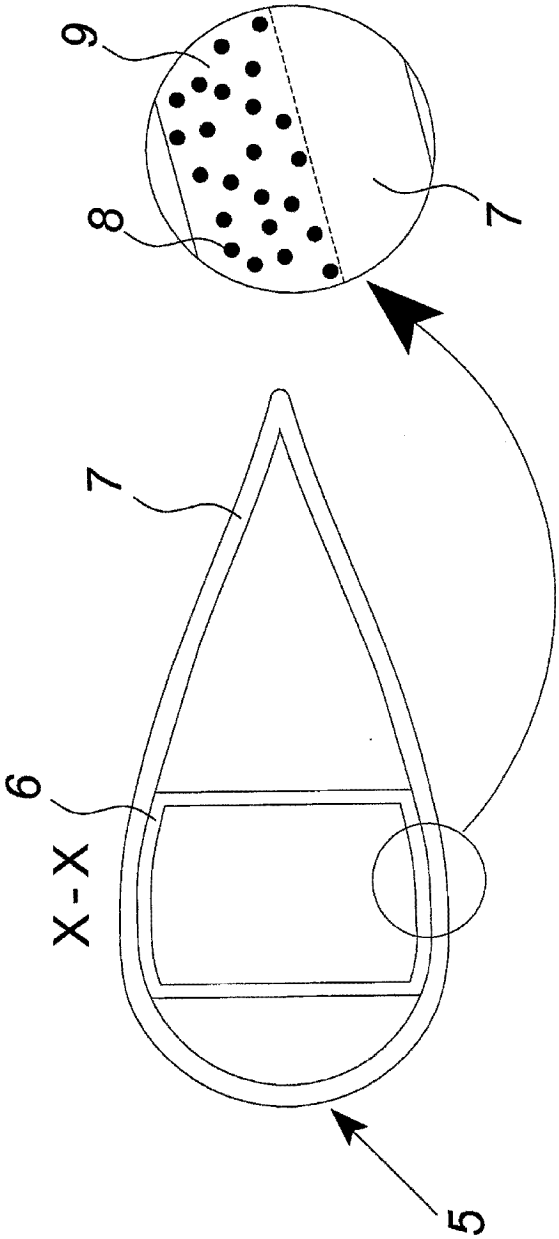


图 2b

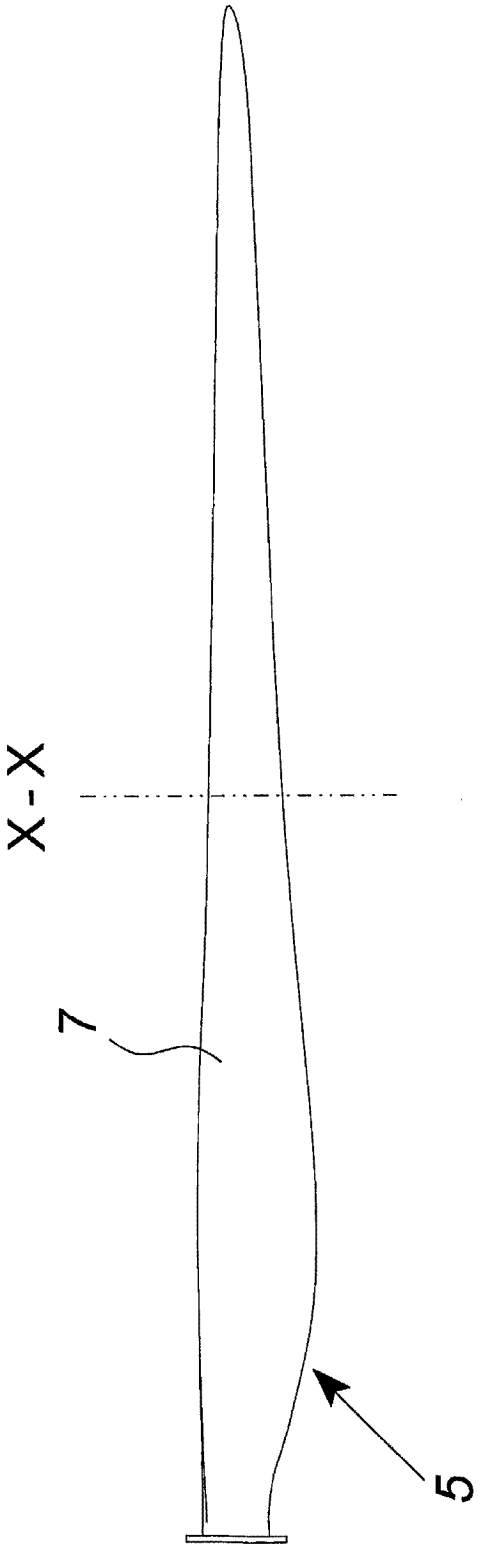


图 3a

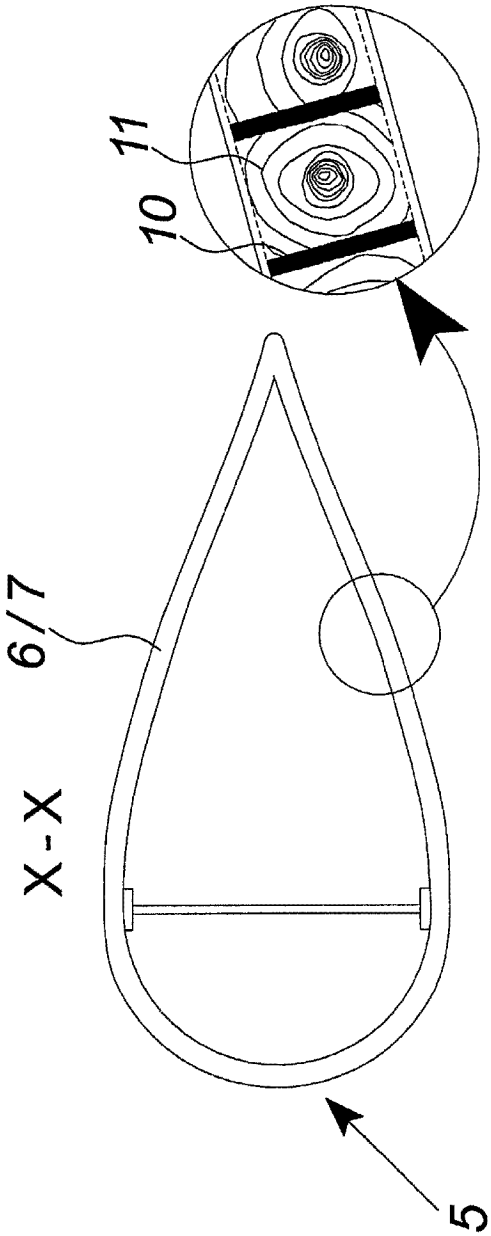


图 3b

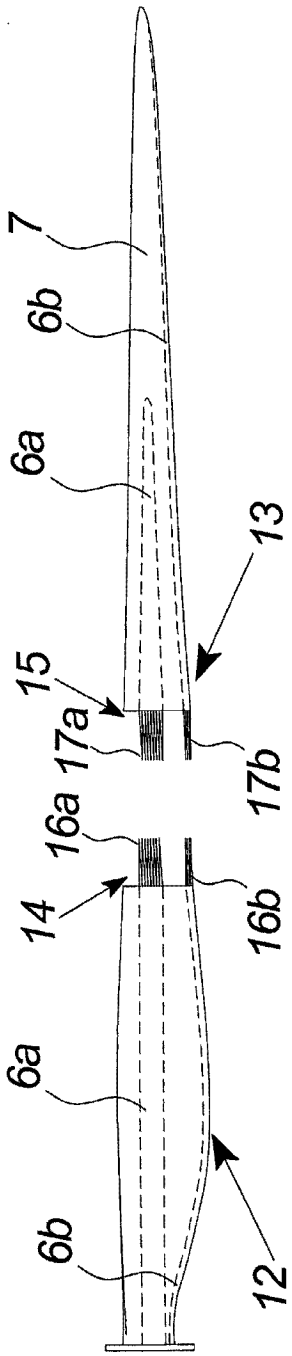

7
6b
6a
13
15
17a
17b
16a
16b
14
6a
6b
12

图 4a

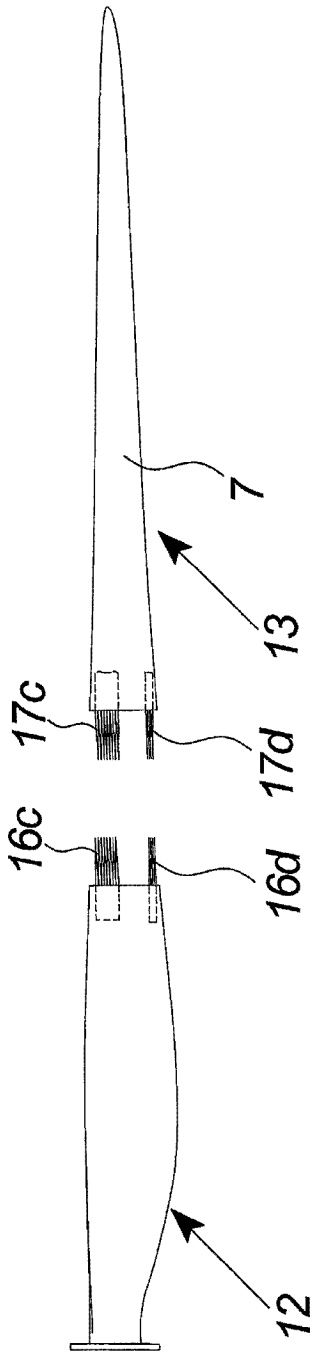

7
13
17c
17d
16c
16d
12

图 4b

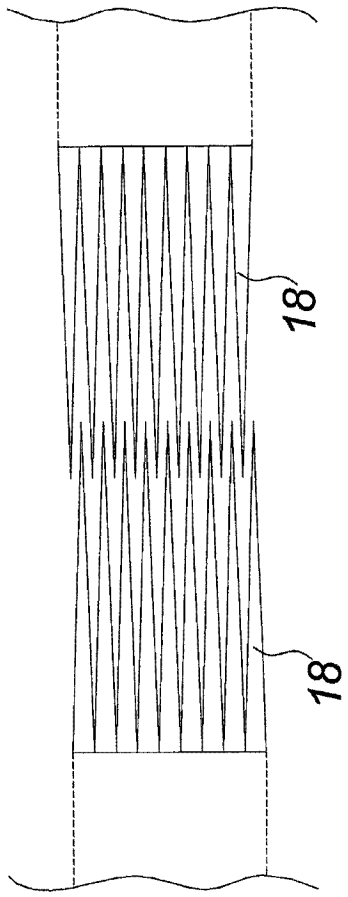

18
18

图 4c

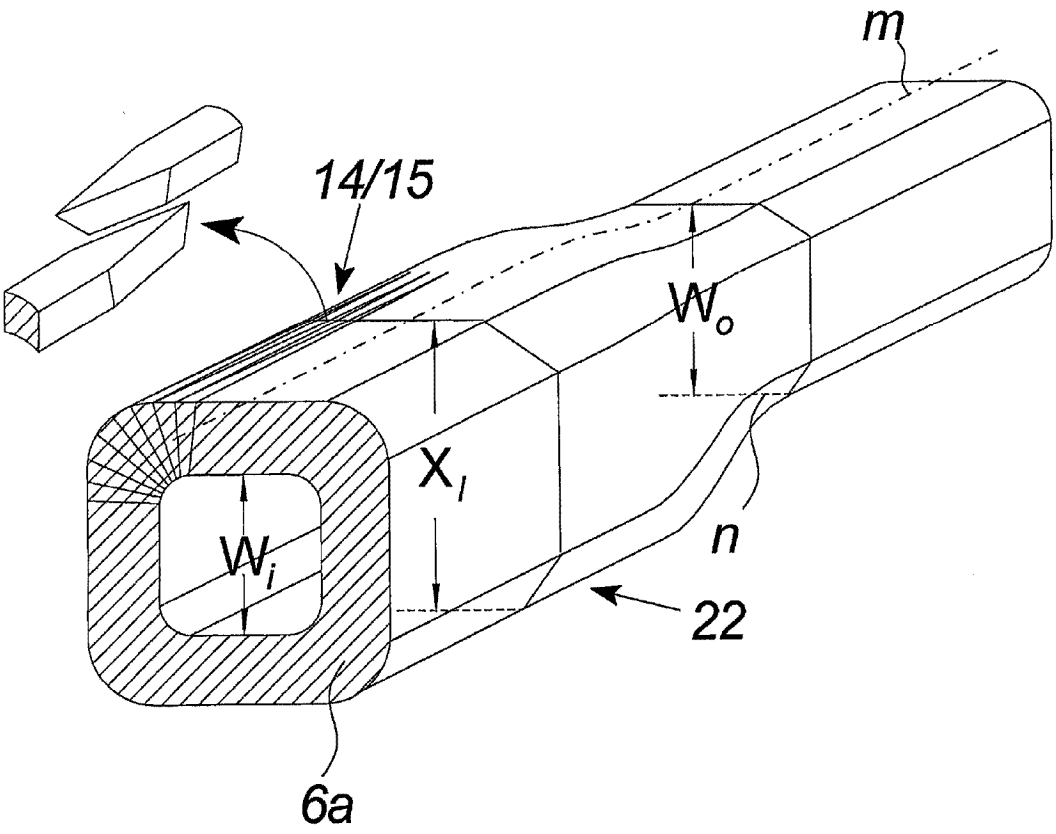


图 5

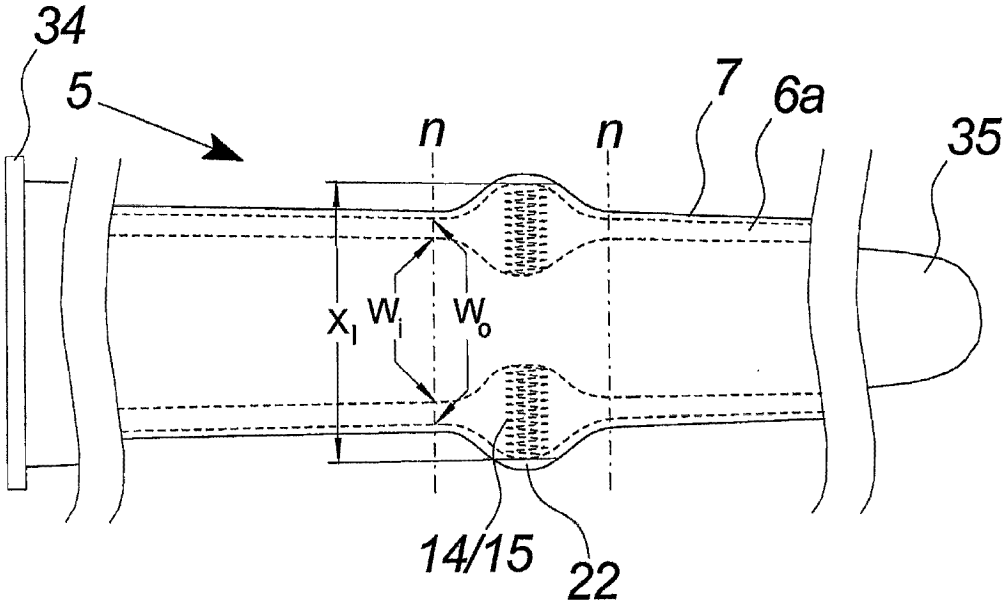


图 6a

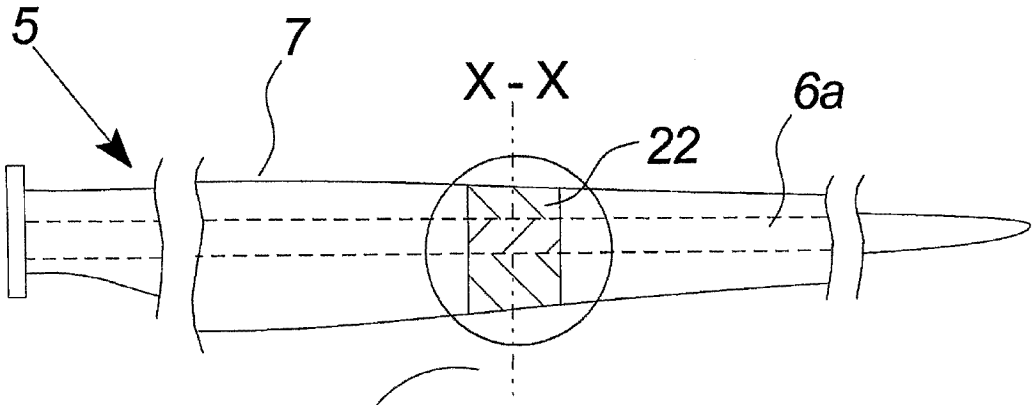


图 6b

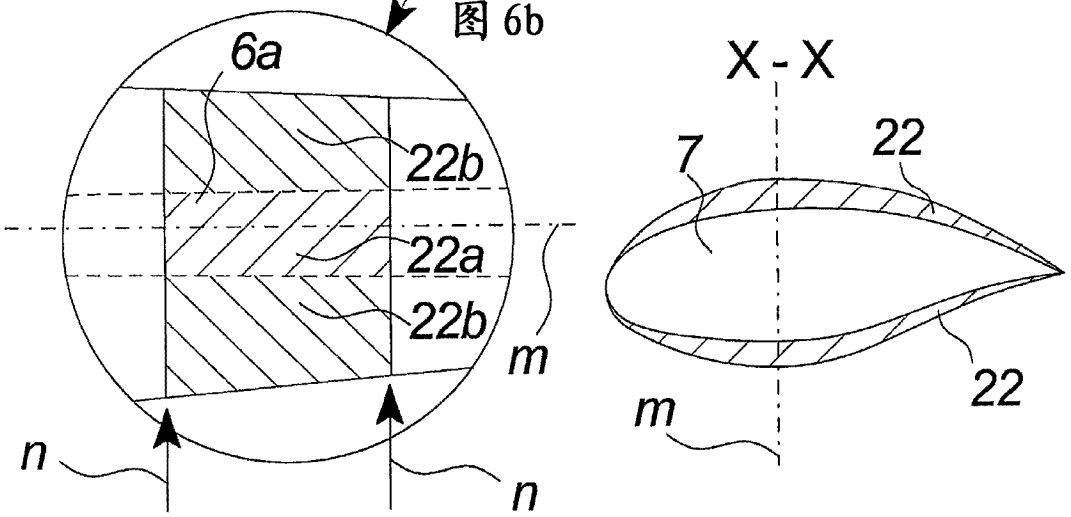


图 6c

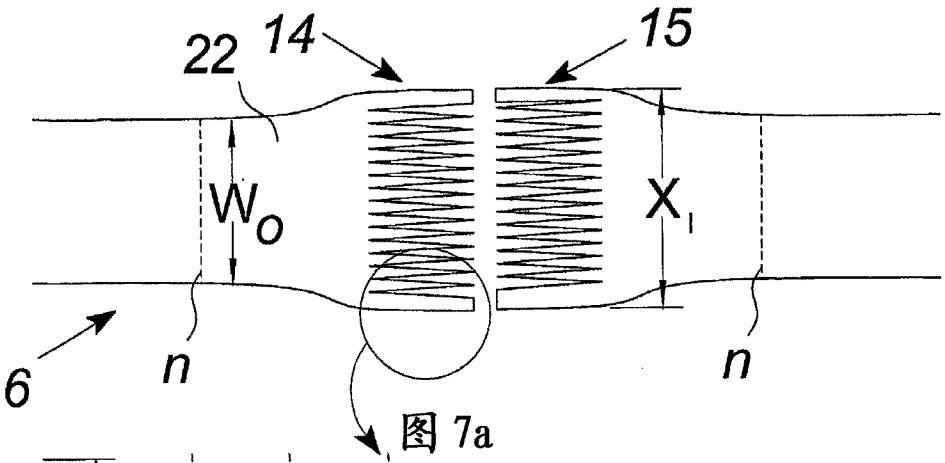


图 7a

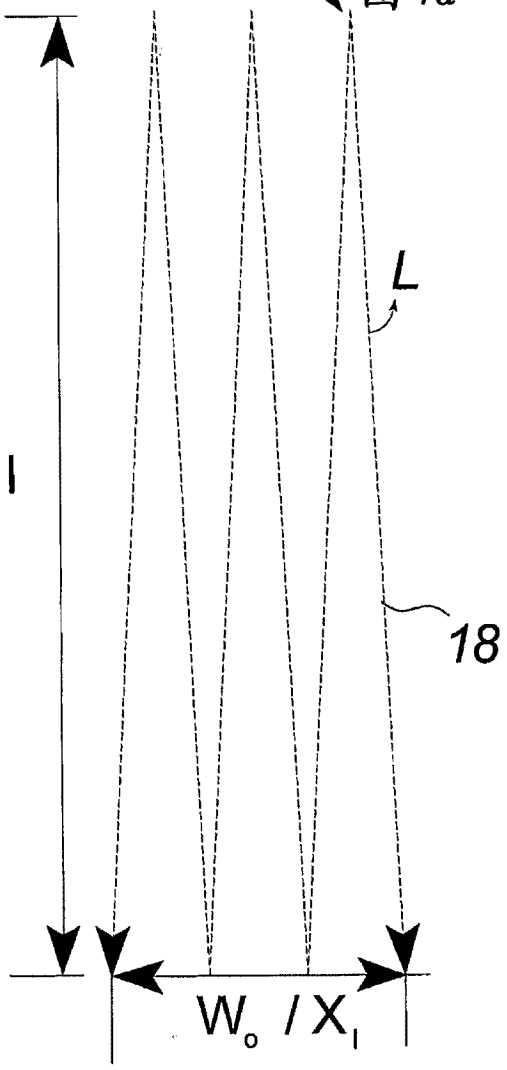


图 7b

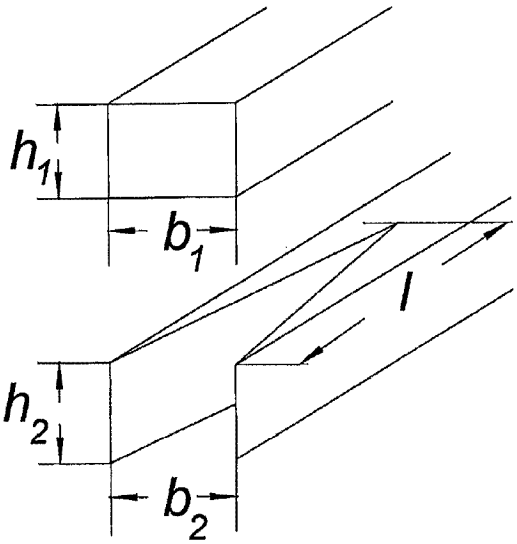


图 7c

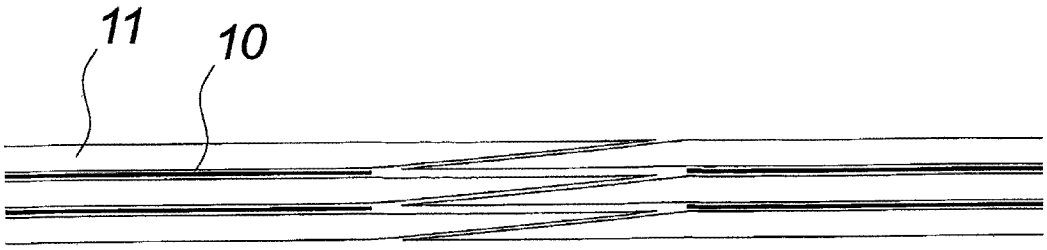


图 8a

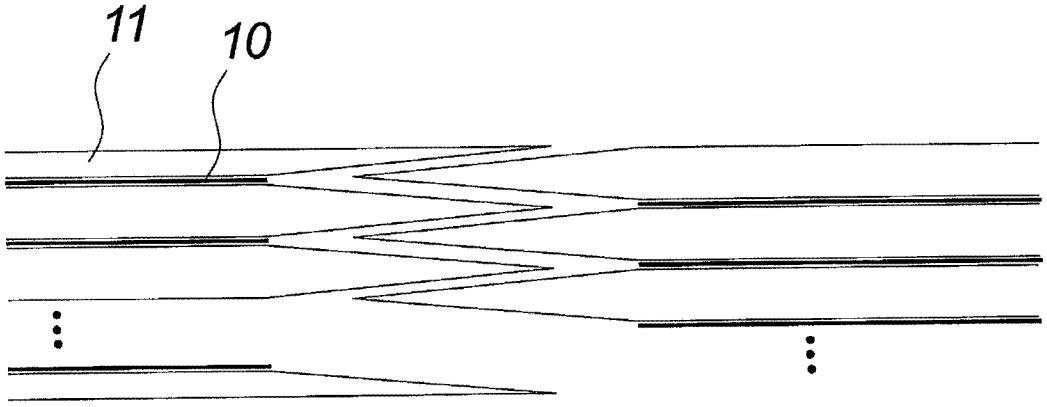


图 8b

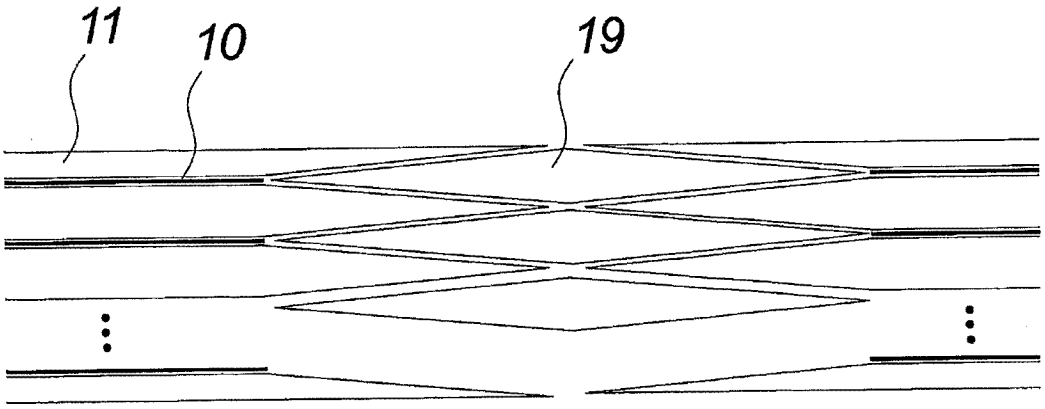


图 8c

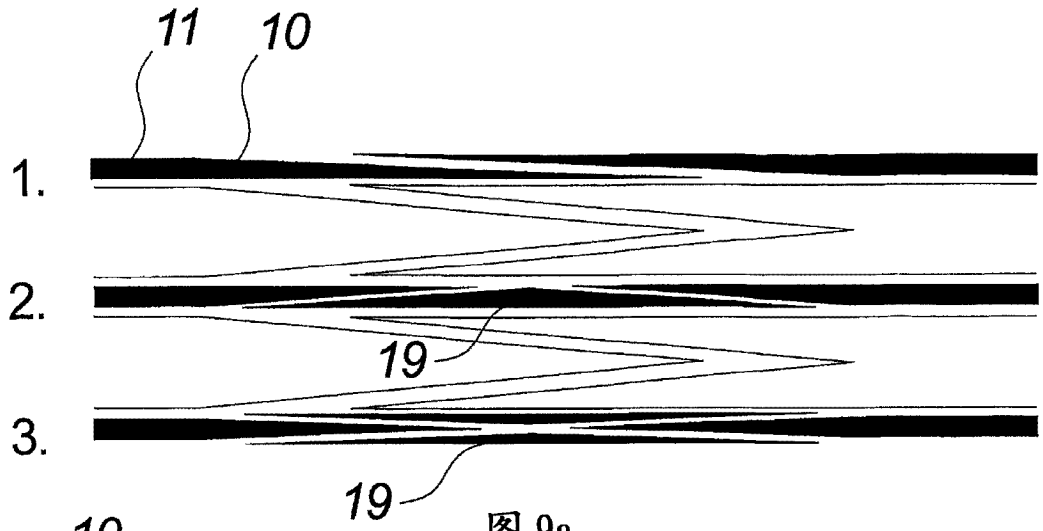


图 9a

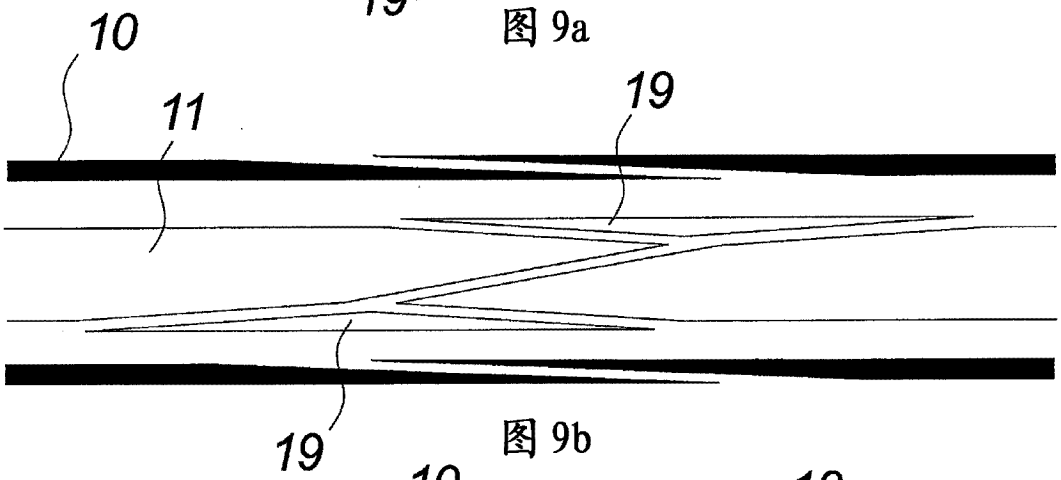


图 9b

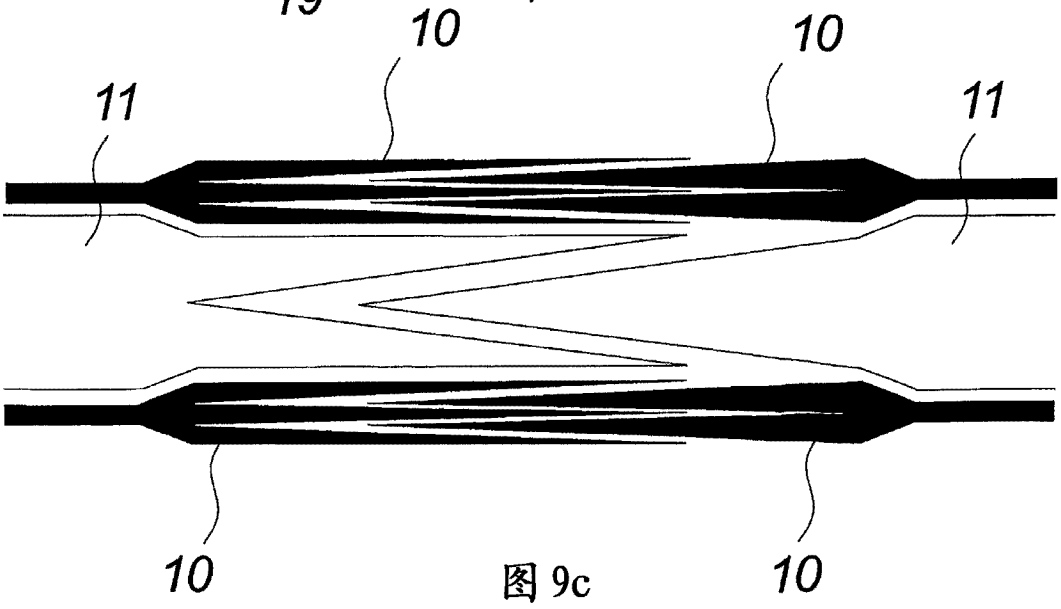


图 9c

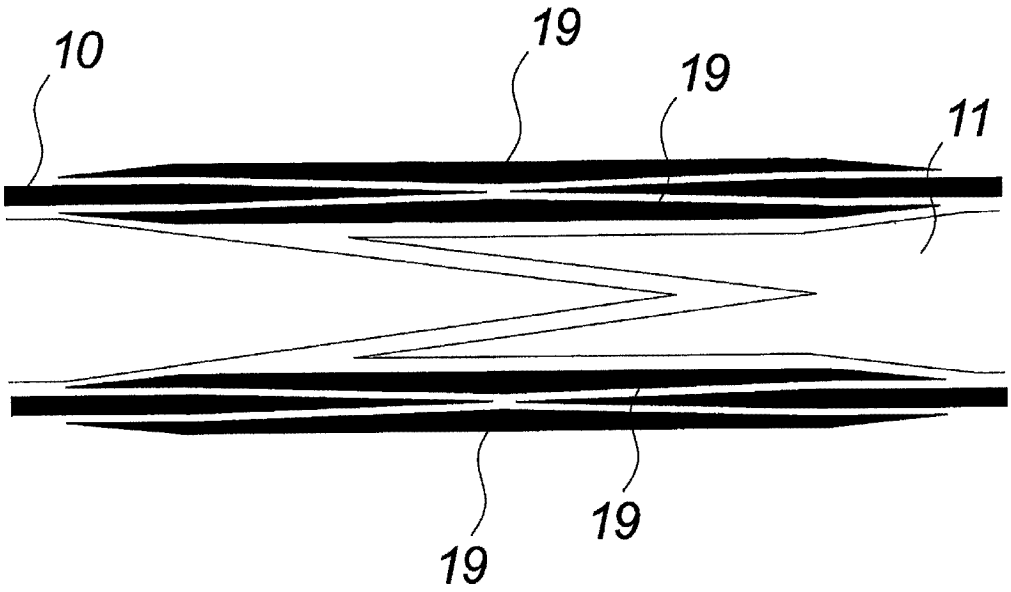


图 9d

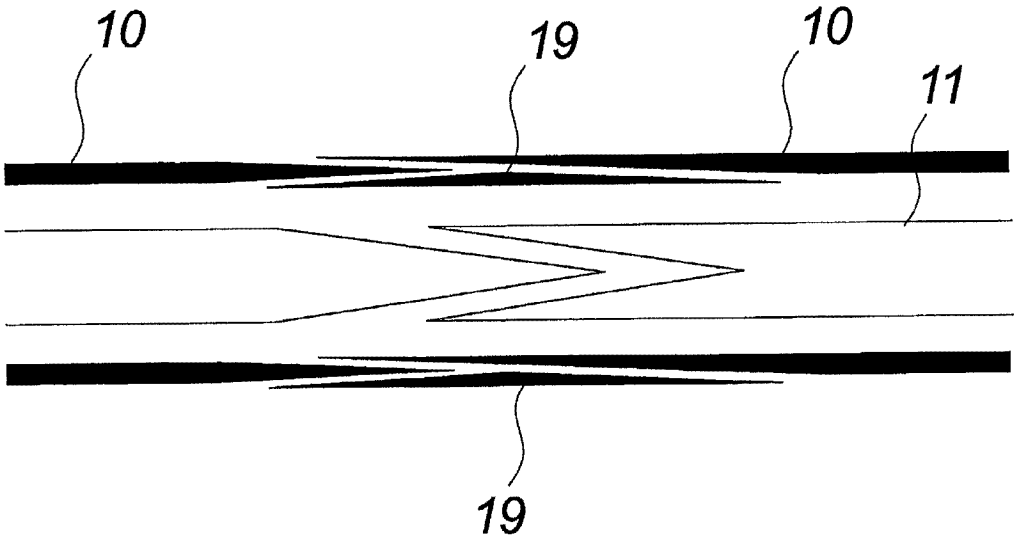


图 9e

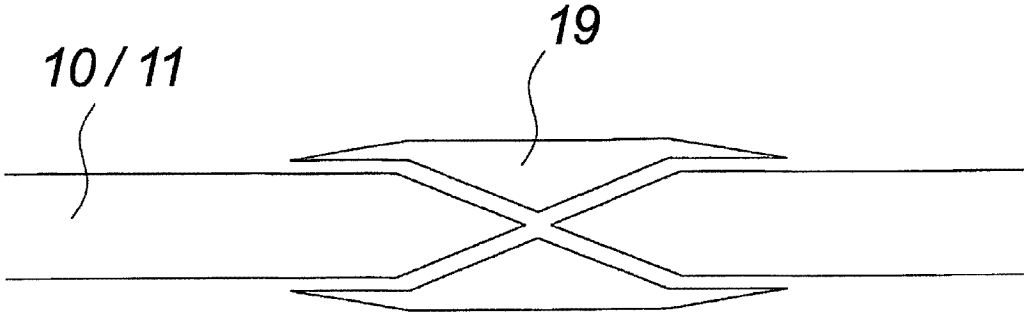


图 10a

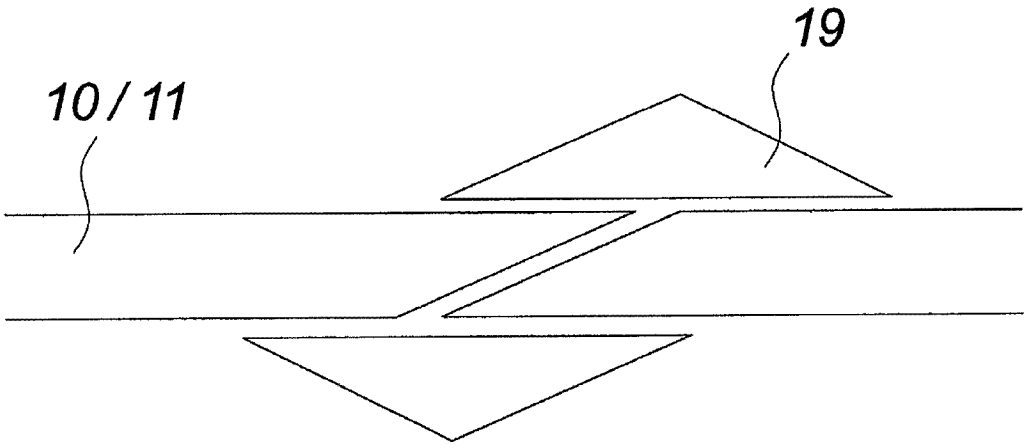


图 10b

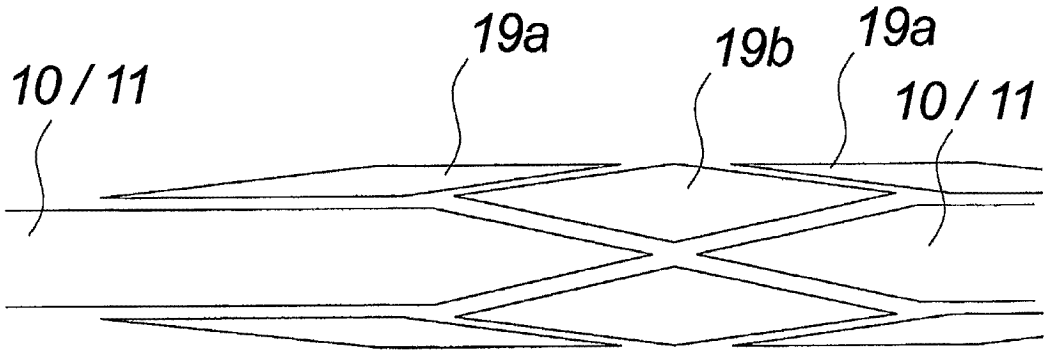


图 10c

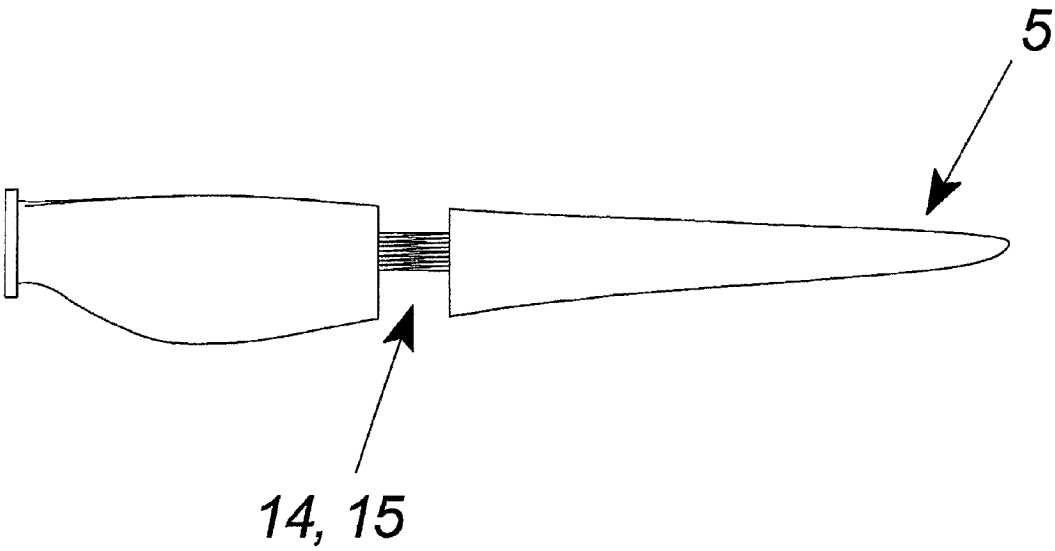


图 11a

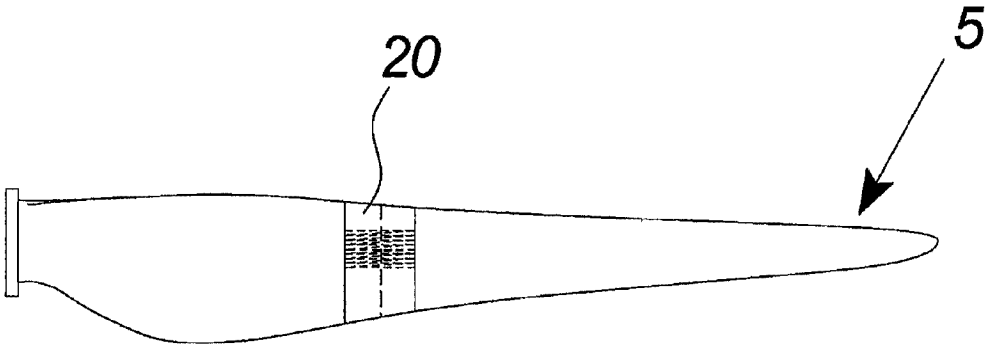


图 11b

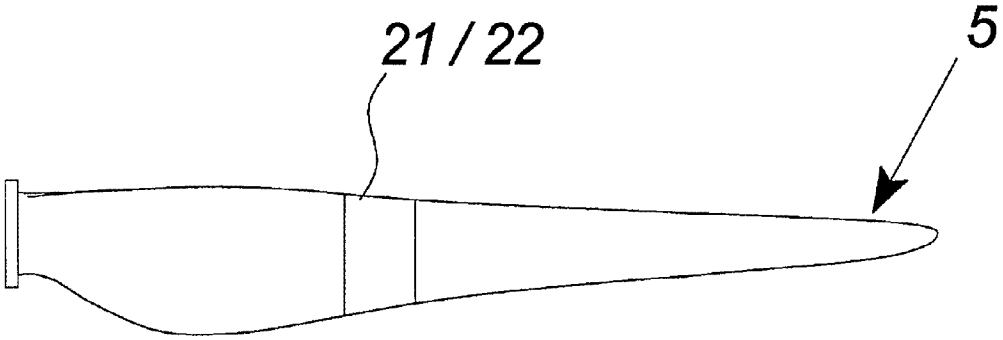


图 11c

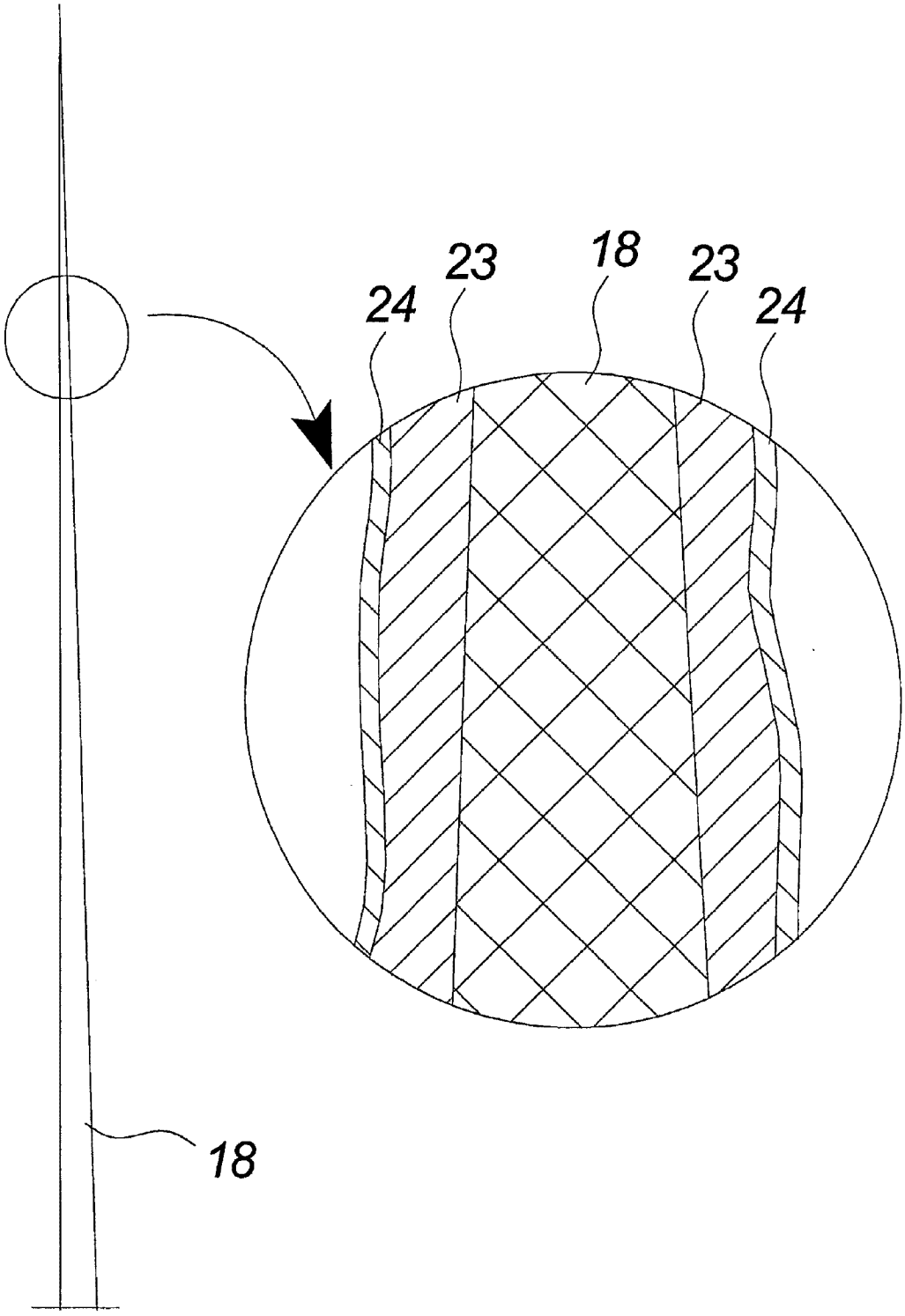


图 12

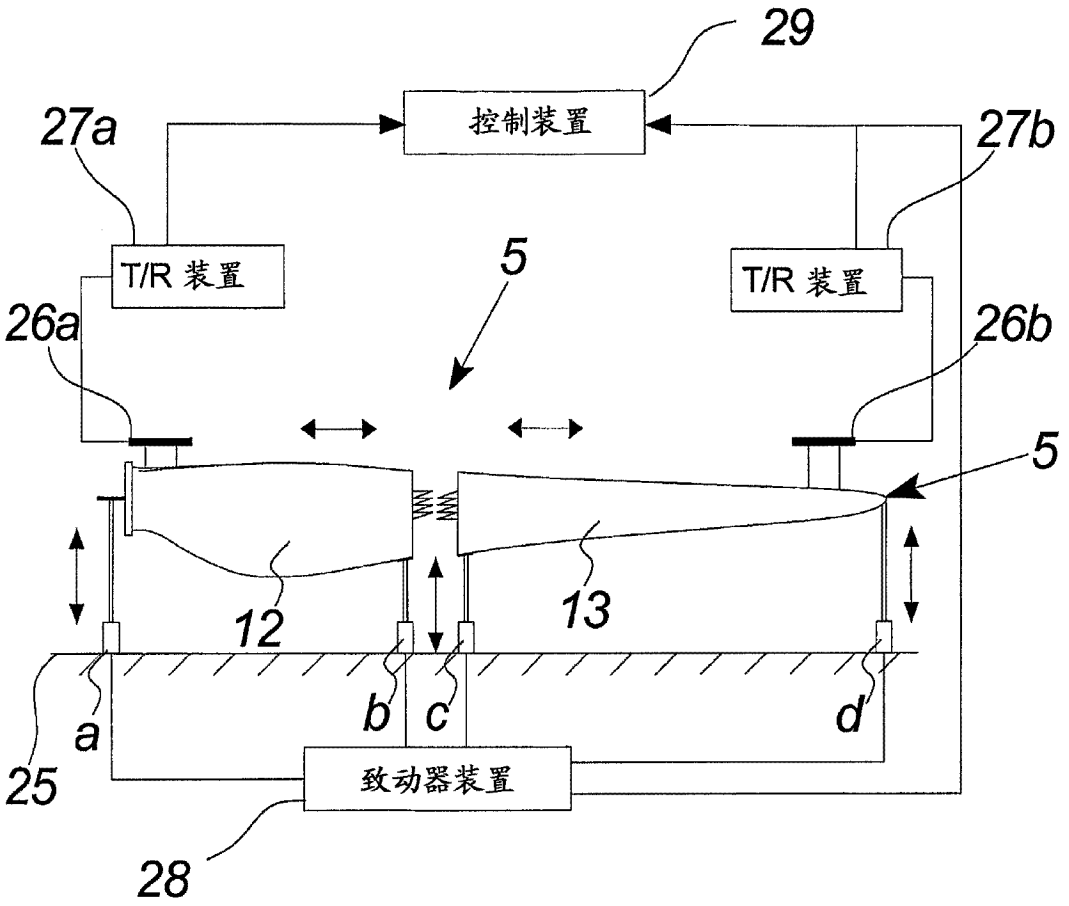

29
控制装置
27a
27b
T/R 装置
T/R 装置
5
26a
26b
5
12
13
a
b
c
d
25
致动器装置
28

图 13a

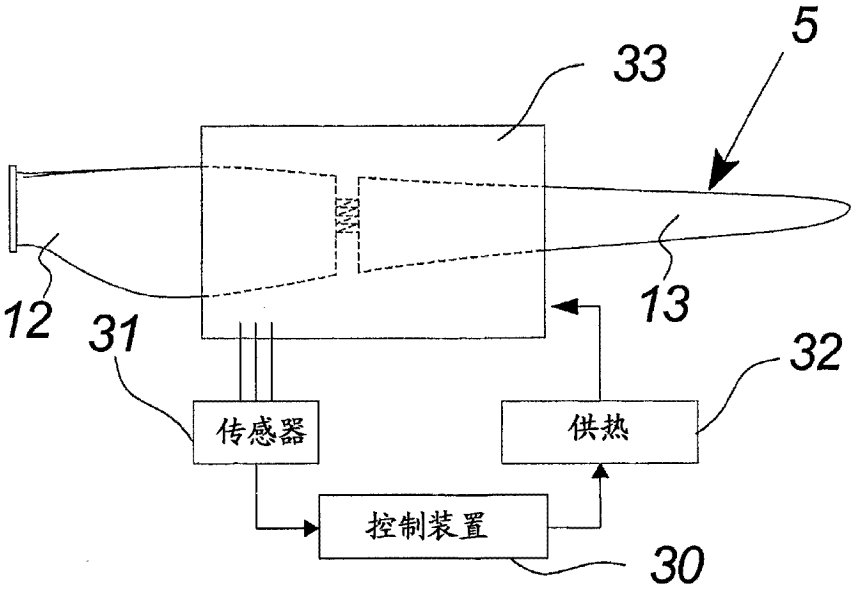

5
33
12
13
31
32
传感器
供热
控制装置
30

图 13b