



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108472902 A

(43)申请公布日 2018.08.31

(21)申请号 201680079053.4

(22)申请日 2016.11.23

(30)优先权数据

PA201570763 2015.11.26 DK

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.07.16

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/DK2016/050388 2016.11.23

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/088885 EN 2017.06.01

(71)申请人 维斯塔斯风力系统有限公司

地址 丹麦奥尔胡斯

(72)发明人 安东·贝什

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 王小东

(51)Int.Cl.

B29D 99/00(2006.01)

F03D 1/06(2006.01)

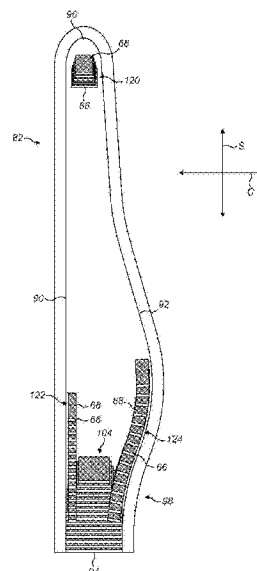
权利要求书2页 说明书9页 附图13页

(54)发明名称

关于风轮机叶片制造的改进

(57)摘要

描述一种制作风轮机叶片的方法。所述叶片包括具有层压结构的外壳。所述方法包括：提供限定所述叶片的所述外壳的至少一部分的形状的叶片模具(82)。所述模具沿翼展方向在根部端(94)与梢端(96)之间延伸，并且沿翼弦方向在前缘(90)与尾缘(92)之间延伸。所述方法进一步包括提供包括干结构纤维材料的多个干层片(66)以及包括浸渍有树脂的结构纤维材料的多个预浸渍层片(68)。将所述多个干层片以及所述多个预浸渍层片布置在所述模具中，以形成所述叶片的所述外壳的多层所述层压结构。将所述层片布置在所述模具中，使得所述干层片与所述预浸渍层片间插以形成混合壳结构，在该混合壳结构中所述层片以交错的关系布置，使得所述干层片的相应边缘沿所述模具的所述翼展方向以及/或者所述翼弦方向相互偏置并且/或者使得所述预浸渍层片的相应边缘沿所述模具的所述翼展方向以及/或者所述翼弦方向相互偏置。



1. 一种制作风轮机叶片(18)部件的方法,所述部件包括具有层压结构的外壳(38),所述方法包括:

提供限定所述叶片的所述外壳的至少一部分的形状的叶片模具(82),所述模具沿翼展方向在根部端(94)与梢端(96)之间延伸,并且沿翼弦方向在前缘(90)与尾缘(92)之间延伸;

提供包括干结构纤维材料的多个干层片(66);

提供包括浸渍有树脂的结构纤维材料的多个预浸渍层片(68);

将所述多个干层片(66)以及所述多个预浸渍层片(68)布置在所述模具(82)中,以形成所述叶片的所述外壳(38)的多层所述层压结构,

其中,将所述层片布置在所述模具中,使得所述干层片(66)与所述预浸渍层片(68)间插以形成混合壳结构(105),在该混合壳结构中所述层片以交错的关系布置使得所述干层片的相应边缘沿所述模具的所述翼展方向以及/或者所述翼弦方向相互偏置并且/或者使得所述预浸渍层片的相应边缘沿所述模具(82)的所述翼展方向以及/或者所述翼弦方向相互偏置。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述方法包括将一个或者多个预制体(106)布置在所述模具(82)中以形成所述混合壳结构(105),其中各个预制体包括所述多个干层片中的粘附至所述多个预浸渍层片中的至少一个预浸渍层片(68)的至少一个干层片(66)。

3. 根据权利要求1或者权利要求2所述的方法,该方法包括由所述多个干层片(66)与所述多个预浸渍层片(68)在所述模具(82)外部形成所述混合壳结构(105)并且将所述混合壳结构提升到所述模具中。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述方法包括在所述模具(82)的与所述外壳(38)的需要增大厚度的区域对应的一个或者多个不连续的区域中形成所述混合壳结构(105)。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述方法包括在所述模具(82)的所述根部端(94)处以及/或者所述模具的所述梢端(96)处以及/或者邻近所述模具的所述前缘(90)以及/或者邻近所述模具的所述尾缘(92)形成所述混合壳结构(105)。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,该方法进一步包括在所述模具(82)中布置或者形成诸如翼梁帽或者纵梁之类的细长的加强构件(52),使得所述加强结构的一端或者两端布置在所述混合壳结构(105)的一个或者多个层片的顶部上或者这些层片之间。

7. 根据权利要求6所述的方法,所述方法包括布置所述混合壳结构(105)以在所述模具(82)的所述根部端(94)以及/或者梢端(96)处形成所述加强构件(52)的延续部分。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中,所述加强构件(52)的第一端与所述模具(82)的所述根部端(94)间隔开,并且所述混合壳结构(105)布置成沿翼展方向在所述模具的所述根部端与所述加强构件的所述第一端之间延伸。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中,所述混合壳结构(105)的宽度在翼弦方向上随从所述模具的所述根部端(94)朝所述加强构件(52)的所述第一端的位置变动逐渐变小。

10. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,该方法进一步包括在所述模具的所述根部端(94)处设置一个或者多个根部嵌件(138),所述根部嵌件位于所述混合壳结构(105)的层片的顶部上或者这些层片之间。

11. 根据前述权利要求中任一项所述的方法, 其中, 所述混合壳结构 (105) 布置成形成所述叶片 (38) 的所述外壳的内蒙皮以及/或者外蒙皮的一部分。

12. 根据前述权利要求中任一项所述的方法, 其中, 所述方法包括在将所述混合壳结构布置在顶部上之前在所述模具 (82) 中设置初层预浸渍材料 (86)。

13. 根据前述权利要求中任一项所述的方法, 该方法进一步包括提高所述层片的温度以使树脂从所述预浸渍层片 (69) 灌注到所述干层片 (66) 中。

14. 根据前述权利要求中任一项所述的方法, 该方法进一步包括使所述树脂固化。

15. 根据前述权利要求中任一项所述的方法, 该方法进一步包括借助含在所述预浸渍材料 (68) 中的树脂而在不供应来自外部源的额外树脂的情况下将构成所述叶片的所述外壳的所述材料整合在一起。

16. 一种风轮机叶片 (18), 该风轮机叶片包括根据前述权利要求中任一项所述的方法制造的所述外壳 (38)。

17. 一种包括权利要求15的风轮机叶片的风轮机 (10)。

关于风轮机叶片制造的改进

技术领域

[0001] 本发明涉及风轮机叶片的制造。

背景技术

[0002] 风轮机叶片通常包括这样的叶片壳,该叶片壳具有复合构造的层压结构。一般利用真空辅助的树脂灌注过程制造壳。该过程通常包括在叶片模具中布置干纤维加强材料以形成铺叠体。

[0003] 形成铺叠体的干纤维材料通常包括玻璃以及/或者碳纤维。材料可以提供成编织织物或者非编织织物并且/或者呈纤维束或者松散纤维的形式。铺叠体通常包括布置在模具中的多层材料。层根据所需的壳的厚度以及结构上下堆叠。因为叶片模具一般包括高曲率区域,所以层有时例如通过缝合而连接在一起。这防止层在模具中相对于彼此滑动。

[0004] 一旦已经在模具中装配起铺叠体,就用真空膜覆盖铺叠体,真空膜针对模具的凸缘密封以形成封装铺叠体的密封区域。从密封区域提取出空气以形成有效真空。然后使树脂进入到成真空的密封区域中。树脂灌注遍及干纤维材料。最后,施加热以使树脂固化。

[0005] 虽然以上过程提供了良好结果,但是该过程相当消耗时间,因为干织物会难以精确定位在模具中并且易于起折痕并且皱折。通常,干织物层离线缝合在一起以便固定它们的相对位置,但是这给所述过程增添了复杂性以及附加时间。还需要在灌注过程中精心控制合成状况以及供给的树脂的量,并且确保该过程中真空膜中没出现泄漏是至关重要的,泄漏会危害灌注过程。

[0006] 还公知将预浸渍材料代替干织物用于风轮机叶片制造。预浸渍材料包括预浸渍有树脂的纤维加强材料。预浸渍材料的使用避免了对将树脂供应至铺叠体的需要。然而,考虑到预浸渍的树脂,预浸渍材料明显比干材料更贵并且更难以操控。当在可能需要堆叠的若干层预浸渍材料以构建所需的结构厚度的情况下创建厚结构时,预浸渍材料的使用还引起复杂性。这是因为在真空过程中含在层中的树脂阻碍通过堆叠的层提取空气。因此,通常当堆叠的预浸渍层布置在模具中时需要在堆叠的预浸渍层上进行一系列压实过程以移除截留的空气。压实过程增加了叶片制造过程的时间以及复杂性。

[0007] 在此背景下,本发明目的是提供一种制造风轮机叶片的方法,该方法展现出优于以上详细说明的当前方法的一个或者多个优势。本发明的目的还在于提供一种具有新颖的并且改进的壳结构的风轮机叶片。

发明内容

[0008] 根据本发明的一方面,提供一种制作风轮机叶片的方法,所述风轮机叶片包括具有层压结构的外壳,所述方法包括:提供限定所述叶片的所述外壳的至少一部分的形状的叶片模具,所述模具沿翼展方向在根部端与梢端之间延伸,并且沿翼弦方向在前缘与尾缘之间延伸;提供包括干结构纤维材料的多个干层片;提供包括浸渍有树脂的结构纤维材料的多个预浸渍层片;将所述多个干层片以及所述多个预浸渍层片布置在所述模具中,以形

成所述叶片的所述外壳的多层所述层压结构,其中,所述层片布置在所述模具中使得所述干层片与所述预浸渍层片间插以形成混合壳结构,在该混合壳结构中所述层片以交错的关系布置,使得所述干层片的相应边缘沿所述模具的所述翼展方向以及/或者所述翼弦方向相互偏置并且/或者使得所述预浸渍层片的相应边缘沿所述模具的所述翼展方向以及/或者所述翼弦方向相互偏置。

[0009] 干层片的相应边缘可以从浸渍层片的相应边缘偏置。层片的相应边缘可以沿翼展方向以及翼弦方向两个方向偏置。

[0010] 所述方法可以包括将一个或者多个预制体布置在所述模具中以形成所述混合壳结构。各个预制体可以包括所述多个干层片中的粘附至所述多个预浸渍层片中的至少一个预浸渍层片的至少一个干层片。

[0011] 混合结构中的接连的层片以及/或者预制体可以在翼弦方向以及/或者翼展方向上具有不同的尺寸。例如,所述方法可以包括通过接连布置一系列宽度以及/或者长度逐渐减小的层片或者预制体而形成混合结构。

[0012] 所述方法可以包括由所述多个干层片与所述多个预浸渍层片在所述模具外部形成所述混合壳结构。所述方法可以包括一旦形成就将所述混合壳结构提升到所述模具中。

[0013] 所述方法可以包括在所述模具的一个或者多个不连续的区域中形成所述混合壳结构。模具的不连续的区域可以与所述外壳的需要增大厚度的区域对应。

[0014] 所述方法可以包括在所述模具的所述根部端处以及/或者所述模具的所述梢端处以及/或者邻近所述模具的所述前缘以及/或者邻近所述模具的所述尾缘形成所述混合壳结构。

[0015] 所述方法可以包括在所述模具中布置或者形成细长的加强构件。所述加强结构的一端或者两端可以布置在所述混合壳结构的一个或者多个层片的顶部上或者这些层片之间。细长加强构件可以是翼梁或者纵梁或者其组成部件(例如翼梁帽或者纵梁的一部分)。

[0016] 所述方法可以包括布置所述混合壳结构以在所述模具的所述根部端以及/或者梢端处形成所述加强构件的延续部分。

[0017] 所述加强构件的第一端可以与所述模具的所述根部端间隔开。所述混合壳结构可以布置成沿翼展方向在所述模具的所述根部端与所述加强构件的所述第一端之间延伸。

[0018] 所述混合壳结构的宽度可以在翼弦方向上随从所述模具的所述根部端朝所述加强构件的所述第一端的位置变动逐渐变小。

[0019] 所述方法可以包括在所述模具的所述根部端处设置一个或者多个根部嵌件。所述根部嵌件可以位于所述混合壳结构的层片的顶部上或者这些层片之间。

[0020] 所述混合壳结构可以布置成形成所述叶片的所述外壳的内蒙皮以及/或者外蒙皮的一部分。

[0021] 所述方法可以包括在将所述混合壳结构布置在顶部上之前在所述模具中设置初层预浸渍材料。

[0022] 所述方法可以包括使树脂从所述预浸渍层片灌注到所述干层片中。这可以通过提高所述层片的温度实现。所述方法可以包括使所述树脂固化。

[0023] 所述方法可以包括将构成所述叶片的所述外壳的所述材料整合在一起。这借助含在所述预浸渍材料中的所述树脂实现。所述方法可以包括在不供应来自外源的额外树脂的

情况下整合所述材料。

[0024] 根据本发明的另一方面,提供一种根据以上方法制造的风轮机叶片。

[0025] 根据本发明的再一方面,提供一种包括根据以上方法制造的所述风轮机叶片的风轮机。

附图说明

[0026] 现在将参照下面的图详细描述本发明的非限制性实施例,在图中:

[0027] 图1示出了风轮机;

[0028] 图2是图1的风轮机的叶片的立体图;

[0029] 图3是沿图2中的线3-3剖取的风轮机叶片的示意性剖面图;

[0030] 图4a是干层片以及预浸渍层片的示意性平面图;

[0031] 图4b是包括图4a的干层片以及预浸渍层片的预制体的示意性平面图;

[0032] 图4c是沿图4b中的线4c-4c剖取的预制体的示意性剖面图;

[0033] 图4d是沿图4b中的线4d-4d剖取的预制体的示意性剖面图;

[0034] 图4e示出了正在台上制备的图4b至图4d的预制体;

[0035] 图5是用于形成图2以及图3的风轮机叶片的外壳的半体的风轮机叶片模具的示意性平面图;

[0036] 图6示出了布置在叶片模具的根部处以形成叶片的外壳的外蒙皮的一部分的第一混合壳结构;

[0037] 图7a是形成混合结构的一叠层片的孤立图;

[0038] 图7b是沿图7a中的线7b-7b剖取的图7a中所示的堆叠的示意性翼弦向剖面图;

[0039] 图7c是沿图7a中的线7c-7c剖取的图7a中所示的堆叠的示意性翼弦向剖面图;

[0040] 图7d是沿图7a中的线7d-7d剖取的图7a中所示的堆叠的示意性翼展向剖面图;

[0041] 图7e是沿图7a中的线7e-7e剖取的图7a中所示的堆叠的示意性翼展向剖面图;

[0042] 图7f示出了堆叠的层的另选布置,其中,干层片沿翼展方向对准相邻的预浸渍层片;

[0043] 图8示出了布置在叶片模具的梢端处的第二混合壳结构以及布置在叶片模具的根部端处的第三和第四混合壳结构以形成外蒙皮的其它部分;

[0044] 图9示出了布置在模具中的位于混合结构的顶部上的翼梁帽以及加强条带;

[0045] 图10示出了布置在模具中的泡沫板以及根部嵌件;

[0046] 图11示出了布置在泡沫板的顶部上的附加加强条带;以及

[0047] 图12示出了布置在模具中的形成叶片壳的内蒙皮的一部分的第一、第二、第三以及第四混合结构。

具体实施方式

[0048] 图1示出了风轮机10,该风轮机包括支撑机舱14的塔架12,转子16安装至机舱14。转子16包括从中央轮毂20径向延伸的多个风轮机叶片18。在此实施例中,转子16包括三个叶片18。

[0049] 图2是风轮机10的其中一个叶片18的立体图。叶片18沿纵向“翼展”方向S从大体圆

形的根部端22延伸至梢端24,并且沿横向“翼弦”方向C在前缘26与尾缘28之间延伸。随从叶片18的根部端22朝叶片18的肩部30的位置变动,叶片从圆形轮廓过渡至翼型轮廓,肩部30是叶片18的最宽部分,在该肩部处叶片18具有其最大的翼弦。叶片18在叶片18的外侧部32中具有厚度逐渐减小的翼型轮廓,该外侧部从叶片18的肩部30延伸至梢部24。

[0050] 图3是沿图2中的线3-3剖取的叶片18的示意性剖面图(即,穿过叶片18的肩部30)。参照图3,叶片18具有外壳38,该外壳限定叶片18的基本中空的内部区域40。外壳38是复合构造的层压结构并且由两个半体壳(背风壳42与迎风壳44)制作。壳42、44主要由玻璃纤维加强塑料(GRP)模制。

[0051] 外壳38包括主要由GRP制成的内蒙皮46与外蒙皮48。如稍后将更详细地描述的,叶片18的内蒙皮46与外蒙皮48的一部分具有混合结构,在该混合结构中,所述内蒙皮46与外蒙皮48的一部分由交替的干玻璃纤维织物层与预浸渍玻璃纤维织物层形成。在壳38的某些区域中,蒙皮46、48之间设置有轻质泡沫(例如,聚氨酯)的芯50。

[0052] 外壳38进一步包括嵌在壳38的层压结构内的第一对翼梁帽52、54以及第二对翼梁帽56、58。每对中的一个翼梁帽52、56与迎风壳44整合并且每对中的另一个翼梁帽54、58与背风壳42整合。各对的翼梁帽52、54、56、58相互对置并且沿叶片18的长度纵向延伸。

[0053] 第一纵向延伸的抗剪腹板60桥接第一对翼梁帽52、54并且第二纵向延伸的抗剪腹板62桥接第二对翼梁帽56、58。与翼梁帽52、54、56、58结合的抗剪腹板60、62形成一对I型梁结构,I型梁结构将载荷从旋转的叶片18传递至风轮机10的轮毂20(参见图1)。翼梁帽52、54、56、58尤其传递拉伸以及压缩弯曲载荷,而抗剪腹板60、62传递叶片18中的剪应力。

[0054] 翼梁帽52、54、56、58具有基本矩形的剖面并且由一叠预制加强条带64组成。条带64是碳纤维加强塑料(CFRP)的拉挤条带,并且基本扁平并且剖面是矩形的。堆叠中条带64的数量取决于条带64的厚度以及所需的壳38的厚度,但是堆叠中条带64的数量通常在四个条带64至十二个条带64之间。条带64具有高拉伸强度,并因此具有高承载能力。

[0055] 条带64通过拉挤(类似于挤压的连续过程)而形成,在拉挤过程中纤维借助液体树脂的供应并且借助使条带64成形的模具而被牵拉。然后使树脂固化,例如通过在开放室中加热树脂或者通过采用当条带64被挤压时使树脂固化的热模具。

[0056] 虽然图3中未示出,但是叶片18还可以包括在泡沫芯材料50的两侧上邻近叶片18的前缘26与尾缘28的一部分布置的呈玻璃纤维条带或者碳纤维条带的形式的前缘纵梁以及尾缘纵梁。纵梁提供前缘26与尾缘28处的额外加强。

[0057] 这是图3中所示的所谓的“结构壳设计”,其中翼梁帽52、54、56、58整合在外壳38的结构内,这避免了对诸如加强梁之类的单独形成的翼梁的需求,在一些传统的风轮机叶片中,单独形成的翼梁粘结至壳38的内表面。

[0058] 以上已经提到:叶片壳38的一部分具有混合结构,其中这部分叶片壳由一叠交替的干材料层与预浸渍材料层组成。以下将参照图5至图12详细地描述用于制造叶片18以生产混合壳结构的方法。然而,为了有助于论述该方法,接着首先简要论述用于构建混合结构的材料。

[0059] 因此,参照图4a,该图是用于形成混合叶片壳结构的层压层的干层片66以及预浸渍层片68的示意性平面图。干层片66包括一层干结构纤维材料。干结构纤维材料可以包括玻璃纤维、碳纤维、芳香族聚酰胺纤维或者用在复合构造中的任何其它合适的结构纤维。在

此具体实施例中,干层片是缝合的双轴玻璃织物。预浸渍层片68包括预浸渍有树脂的结构纤维材料。结构纤维材料可以包括玻璃纤维、碳纤维、芳香族聚酰胺纤维或者用在复合构造中的任何其它合适的结构纤维。树脂可以包括环氧树脂或者用在预浸渍材料中的任何其它合适的树脂。然而,在此具体实施例中,预浸渍层片是预浸渍有环氧树脂的缝合的双轴玻璃织物。

[0060] 在此实施例中,干层片66与预浸渍层片68两者都是基本矩形的,并且长度与宽度基本相同。在其它实施例中,层片66、68可以具体不同的形状,并且预浸渍层片68可以具有不同于干层片66的尺寸。如图4a中表明的,层片66、68均包括第一边缘70与第二边缘72。在随后叶片制造过程的论述中,第一边缘70将被称作“翼弦”边缘并且第二边缘72将被称作“翼展”边缘,这在当层片66、68布置在叶片模具中时对应这些边缘的大体取向。

[0061] 现在参照图4b,该图示出了布置在干层片66的顶部上以形成预制体74的预浸渍层片68。在此实施例中,干层片66与预浸渍层片68交错布置,使得层片66、68的相应的翼弦边缘70偏置预定的偏置距离76。在此实施例中,干层片66与预浸渍层片68的相应的翼展边缘72基本对准。然而,在其它实施例中,代替偏置的翼弦边缘70或者除了偏置的翼弦边缘70以外,这些边缘72也可以偏置。在其它实施方式中,各个层片66、68的翼弦边缘70与翼展边缘72两者可以基本对准,使得形成预制体74的层片66、68不交错。

[0062] 图4c与图4d是分别沿图4b中的线4c-4c与线4d-4d剖取的穿过预制体74的示意性剖面图。干层片66由未填充的线表示,并且预浸渍层片68由填充线表示。图4c示出了层片66、68之间的交错关系,并且示出了层片66、68的相应的翼弦边缘70之间的偏置,而图4d示出了层片66、68的相应的翼展边缘72之间的对准。

[0063] 参照图4e,通过将干层片66布置在例如位于如图4e中所示的台80上的平坦表面78上而装配预制体74。在台80的表面78上把干层片66展平以消除任何皱折,并且以交错的关系将预浸渍层片68放置在干层片66的顶部上。预浸渍织物68中的树脂使预浸渍体发粘。因此,干织物66粘贴至预浸渍织物68并且预浸渍织物68用以维持干织物66的形状,使干织物66免于皱折以及起折痕。

[0064] 干织物66有助于随后操控预制体74,因为操作者可以在随后将预制体74放置在模具中时避免碰触预浸渍体68。预浸渍体68的粘性在随后将预制体74定位在模具中时有利地防止干织物66中出现的任何皱折或者起折痕。

[0065] 现在将参照图5至图12描述制作风轮机叶片18的方法。

[0066] 参照图5,该图示出了用于模制风轮机叶片18的迎风半体壳44(参见图3)的半体模具82。此后为了简便将把半体模具82称作模具。模具82包括模具表面84,该模具表面具有对应待形成的半体壳44的的形状的形状。图5中如稍后说明的模具表面84被胶衣85以及一层三轴预浸渍体86覆盖,但是为了阐明之目的这通过在图5的局部切口的部分中加影线而表明。模具82进一步包括分别沿着模具表面84的前缘90与尾缘92的边延伸的前缘凸缘87与后缘凸缘88。

[0067] 模具表面84沿翼展方向S在根部端94与梢端96之间延伸并且沿翼弦方向C在前缘90与尾缘92之间延伸。模具表面84在前缘90与尾缘92之间具有大体的凹曲线形状。模具82的根部端部分98从根部端94处的大体半圆形轮廓过渡至模具82的肩部100处的半翼型轮廓。模具82的位于肩部100与梢端96之间的外侧部分102具有这样的半翼型轮廓,该半翼型

轮廓的相对于模具凸缘87、88的深度随从肩部100到梢96的位置变动逐渐减小。

[0068] 壳制造过程开始于胶衣85施加至模具表面84。图5的局部切除部分中示意性地示出了胶衣85。一旦施加了胶衣85,就在胶衣85的顶部上铺叠半体壳44的外蒙皮48(图3中所示)。这包括首先用一层预浸渍玻璃纤维三轴织物86覆盖模具表面84。如本领域中的普通技术人员将理解的,“预浸渍三轴织物”包括通常以零度以及 $\pm 45^\circ$ 的相对角度取向的平行的纤维组或者层,这些纤维组或者纤维层预浸渍有诸如环氧树脂之类的基质材料。

[0069] 参照图6,通过在模具82的根部端部分98中组装第一混合壳结构104而继续铺叠外蒙皮48(图3中所示)。通过在模具82中布置一系列类似于图4b中所示的预制体74的预制体而组装混合壳结构104。将这些预制体布置在三轴预浸渍层86的顶部上,随后以重叠并且交错的形式上下叠置地放置在模具82中。

[0070] 形成混合结构104的过程开始于在模具82的位于根部端94处的圆柱形部分中以交错的关系布置一系列翼弦宽度相似的重叠的预制体。通过以重叠并且交错的关系进一步布置翼弦宽度逐渐减小的预制体而继续所述过程以形成混合结构104的锥形端部,随沿翼展方向S远离模具82的根部94的位置变动该混合结构的锥形端部的宽度逐渐减小。

[0071] 因此,混合结构104包括一系列堆叠并且重叠的层片,其中干层片66与预浸渍层片68间插(即,交替布置)。混合结构104在壳的需要附加强度的此区域中提供具有附加厚度的叶片壳。层片66、68之间的交错关系在概念上类似于散开的一副牌。

[0072] 在其它实施方式中,混合结构104可以由包括多于两个层片66、68的预制体装配,或者可以在单个步骤中将混合结构104提升到模具82中之前在模具82外部组装整个混合结构104。另选地,可以通过分别在模具82中布置各个层片66、68(即,不使层片66、68形成预制体)而形成混合结构104。作为另一另选,所述方法可以包括这些技术的任何组合。

[0073] 如上文提到的,在此实施例,从最靠近模具82的根部端94的预制体开始将预制体布置在模具82中。第一预制体布置成其干层片66直接定位在形成外壳44的最外层(图3中所示)的预浸渍的三轴层86的顶部上。预浸渍的最外层86的粘性用以将预制体维持在模具82中的正确位置中。将后面的预制体布置成使得预制体的干层片66与先前放置的预制体的预浸渍层片68重叠。先前放置的预浸渍层片68的粘性有利地用以维持后放置的预制体在模具82中的正确位置。

[0074] 参照图7a,该图示出了处于孤立状态的示例性混合壳结构105。混合结构105类似图6中示出的混合壳结构104的锥形端部,并且下面的论述意图阐明可适用于本文中描述的各个混合结构的交错层的原则。

[0075] 图7a中的混合结构105包括一叠间插的干层片66与预浸渍层片68,并且由一系列预制体106a至106h以与关于图6描述的混合结构104相似的方式形成。在此实施例中,各个后放置的预制体106b至106h相比先前放置的预制体106a至106g均具有在翼弦方向C上稍微减小的宽度。这使得混合结构105的翼弦宽度随沿翼展方向S的位置变动逐渐变细。还使得在沿翼弦方向C交错的预制体106a至106h中相邻预制体106a至106h的相应的翼展边缘72在翼展方向C上相互偏置。

[0076] 图7b是沿图7a中的线7b-7b剖取的穿过混合壳结构105的示意性剖面图。这里能够看到,混合结构105的这部分具有由两个预制体106a、106b组成的局部厚度,因此该部分具有四个层。这四个层包括与两个预浸渍层片68交替布置的两个干层片66。图7b中的双箭头

108标示了翼弦方向C上预制体106a、106b之间交错的关系,第一预制体106a与第二预制体106b的相应的翼展边缘72在翼弦方向C上相互偏置。

[0077] 图7c是沿图7a中的线7c-7c剖取的穿过混合壳结构105的示意性剖面图。这里能够看到,混合结构105的这部分具有由四个预制体106a至106d组成的局部厚度,因此该部分具有八个层。这八个层包括与四个预浸渍层片68交替布置的四个干层片66。

[0078] 图7d是沿图7a中的线7d-7d剖取的穿过混合壳结构105的示意性剖面图。这里能够看到,混合结构105的这部分具有由两个预制体106a、106b组成的局部厚度,因此该部分具有四层。该图示出了翼展方向S上层片66、68之间的交错关系。双箭头110标示了翼展方向S上第一预制体106a的干层片66与预浸渍层片68的相应的翼弦边缘70(参见图7a)之间的偏置。双箭头112标示了翼展方向S上干层片66的相应的翼弦边缘70之间的偏置。双箭头114标示了翼展方向S上预浸渍层片68的相应的翼弦边缘70之间的偏置。

[0079] 图7e是沿图7a中的线7e-7e剖取的穿过混合壳结构105的示意性剖面图。这里能够看到,混合结构105的这部分具有由三个预制体106a至106c组成的局部厚度,因此该部分具有六个层。

[0080] 根据图7a至图7e将理解,层片66、68之间的交错关系使得能够控制混合结构105的局部厚度并因此能够控制叶片壳44的局部厚度。能够变更以及/或者选择以上描述的相应的边缘70、72之间的各种偏置以实现特定的局部厚度。

[0081] 图7f示出了另一实施例,其中,预制体106a至106c中的干层片66与预浸渍层片68的相应的翼弦边缘70不偏置而基本对准。该图示出了通过控制各个预制体106a至106c的相应边缘之间的偏置仍能够利用这样的预制体106a至106c变更混合结构的局部厚度。特别地,在此实施例中,第一预制体106a与第二预制体106b的相应的翼弦边缘70之间的翼弦偏置116小于第二预制体106b与第三预制体106c的相应的翼弦边缘70之间的翼弦偏置118。适当选择这些偏置116、118使得能够控制翼展方向S上混合结构105的局部厚度。

[0082] 虽然以上图7b至图7f中的实施例涉及包括两个层66和68的预制体,但是要理解能够通过将层片66、68单独布置在模具82中或者通过形成具有两层以上的预制体同样地实现这些结构。以上关于图7a至图7f论述的原则适用于图6中所示的混合结构104以及随后将描述的其它混合结构。

[0083] 现在参照图8,铺叠过程中的接下来的阶段包括在模具82的其它区域中形成外蒙皮48的其它混合结构。具体地说,邻近模具82的梢部96设置第二混合结构120,并且贴近模具82的前缘90与尾缘92分别设置第三混合结构122与第四混合结构124。在模具82的根部端部98设置第三混合结构122与第四混合结构124。这些其它的混合结构120、122、124以与以上描述的第一混合结构104相似的方式形成。特别地,它们均包括一系列以交错关系布置的干玻璃纤维织物66与预浸渍玻璃纤维织物68的交替层。

[0084] 参照图9,铺叠过程以在模具82中放置第一翼梁帽52以及第二翼梁帽56而继续。如先前描述的,翼梁帽52、56均包括一叠CFRP的挤压条带。在此实施例中,仅第一翼梁帽52延伸至模具82的梢部96附近,而在其它实施例中,翼梁帽52和56两者都可以延伸至梢部96附近。翼梁帽52、56布置成使得各个翼梁帽52、56的根部端126与位于模具82的根部端部98中的第一混合结构104重叠,而第一翼梁帽52的梢端128与模具82的梢端96附近的第二混合结构120重叠。

[0085] 然后,贴近模具82的前缘90与尾缘92的一部分分别布置第一CFRP条带130a与第二CFRP条带132a。这些条带130a、132a分别形成前缘纵梁与尾缘纵梁的一部分。第一条带130a的根部端134与第三混合结构122的一部分重叠,而第二条带132a的根部端136与第四混合结构124的一部分重叠。第一条带130a与第二条带132a还可以由例如GRP形成。

[0086] 能在图8与图9中看到,第四混合结构124遵循贴近模具82的尾缘92的弯曲路径。通过调节混合结构124的接连的层片或者预制体之间的相对角度而获得该弯曲路径。在此实施例中,相继布置的预制体相对于先前布置的预制体稍微转动,使得第四混合结构124遵循尾缘92的曲率以便使尾缘纵梁与叶片壳的根部连接。层片之间的重叠交错的关系有利地使混合结构124能够遵循弯曲路径。

[0087] 参照图10,将聚氨酯泡沫芯材料(或者任何其它合适的聚合物或轻木)的板50布置在模具82中。沿前缘90、在翼梁帽52、56之间并且沿尾缘92布置板50。然后将多个根部嵌件138布置在模具82的根部端94处。在此实施例中,根部嵌件138是设置有助于接纳螺栓的孔140以便将叶片18连接至变桨轴承的预固化GRP结构。根部嵌件138定位在形成叶片壳44的外蒙皮48的第一混合结构104的顶部上。

[0088] 参照图11,将第三CFRP条带130b与第四CFRP条带132b在模具82的前缘90与尾缘92处布置在泡沫板50的顶部上。这些条带对应图9中示出的第一CFRP条带130a与第二CFRP条带132a,并且形成相应的前缘纵梁与尾缘纵梁的一部分。第三条带130b与第四条带132b也可以由例如GRP形成。

[0089] 参照图12,铺叠过程中的下一阶段是组装内蒙皮46(图3中所示)。此过程基本对应外蒙皮48的铺叠,但是过程相反。因此,将对应外蒙皮48的第一混合结构104、第二混合结构120、第三混合结构122以及第四混合结构124的第一混合结构104a、第二混合结构120a、第三混合结构122a以及第四混合结构124a布置在模具82中。这些混合结构104a、120a、122a、124a也包括呈交错关系的干织物66与预浸渍织物68的交替层。内蒙皮46的第一混合结构104a的一部分与第一翼梁帽52和第二翼梁帽56的根部端126重叠。内蒙皮46的第二混合结构120a的一部分与第一翼梁帽52的梢端128重叠。内蒙皮46的第三混合结构122a和第四混合结构124a的一部分与前缘纵梁和尾缘纵梁的相应的第三CFRP条带130b和第四CFRP条带132b的根部端134、136重叠。一旦已经将这些零部件组装在模具82中了,就将一层预浸渍三轴织物(triax)(未示出)布置在整个组件上以完成内蒙皮铺叠。这也完成了壳铺叠体。

[0090] 然后,用真空膜(未示出)覆盖壳铺叠体,该真空膜针对模具凸缘87、88密封以形成封装铺叠体的密封区域。从密封区域提取空气并且施加热。施加的热首先使预浸渍层中的树脂流动并且灌注整个铺叠体的各个部件。混合蒙皮结构中的预浸渍层68包括过多树脂,这些树脂灌注到干层66中。因此,模具中的各种预浸渍材料(包括形成壳44的最内层与最外层的三轴织物层)中含有充足的树脂以避免在制造过程中需要从外源供应树脂。

[0091] 一旦树脂已经灌注整个铺叠体的各个部件,继续施加热使树脂固化,即,使壳44的各个部件硬化并整合在一起。这完成了用于壳体44的制造过程。然后可以移除真空膜。以基本相同的过程在背风壳体模具半体中制造背风壳体42。然后,壳体42、44与图3中所示的定位在壳体42、44之间的抗剪腹板60、62粘结在一起并且粘结至壳体42、44的相应的内表面。

[0092] 以上描述的各个混合壳结构也可以因它们呈层片的堆叠的形式而被称作“堆叠

体”。堆叠体在需要之处提供附加厚度并因此提供叶片壳的附加强度。第一堆叠体104、104a使根部嵌件138与翼梁帽52、56连接。根部嵌件138与翼梁帽52、56的根部端126夹在内蒙皮46的第一堆叠体104与外蒙皮48的第一堆叠体104a之间。因此，在完工的叶片18的外壳42中，第一堆叠体104、104a提供外壳42的厚因而坚实的部分，外壳42的该部分能够将载荷从翼梁帽52、56有效传递到叶片18的根22中。

[0093] 第二堆叠体120、120a在叶片18的梢端24处形成翼梁帽52的梢端128的有效延伸部并且提供叶片18的外壳42在梢端24处的附加厚度以及加强。

[0094] 第三堆叠体122、122a以及第四堆叠体124、124a形成前缘纵梁和尾缘纵梁与叶片18的根部端22之间的过渡。这些堆叠体122、122a以及124、124a提供叶片壳42中的位于纵梁与叶片18的根22之间的附加厚度以及强度，并因此提供穿过外壳42的位于纵梁与根部22之间的连续载荷路径，以确保将作用在叶片18的前缘26与尾缘28上的载荷有效传递至叶片18的根部22。

[0095] 以上描述的混合壳技术提供许多优势。来自预浸渍层的粘性确保干层片在模具中快速而稳健定位，避免干层片起折痕及皱折并且在不需层缝合在一起而将干层片维持在合适位置。

[0096] 层片/预制体之间的交错关系使铺叠体高度顺从复杂表面（例如具有双曲率的表面）并且能够容易地形成连接至承载纵梁。变更层片或者预制体之间的交错使得能够容易调节壳结构的局部厚度。层片/预制体之间的交错关系使得混合结构的宽度能够逐渐变小以从壳的宽区域（例如，叶片的根部端处）过渡至较窄区域（例如，翼梁帽定位的区域）。层片的交错关系还使得相对短的层片能够用于生产厚的层压堆叠体。这确保层片在模具中良好挂接从而使层片精确符合模具的轮廓而无皱折。

[0097] 间插在预浸渍层之间的干层增强穿过层的厚度的真空传输，因为干层有助于空气提取。这使得能够不需要压实而创建厚的结构，通常在若干预浸渍层上下堆叠以形成厚的结构时需要压实。

[0098] 预浸渍层提供灌注到干层中的充足的树脂，因而避免需要向模具供应额外树脂。这消除了对与干介质合作时以及树脂灌注过程通常所需的树脂操控以及储存系统、树脂混合泵以及灌注介质的需求。还避免了树脂混合错误的可能性等。还使得固化周期能够在真空装袋后立即开始。树脂仅需要流到相邻的层中。因此，可能出现在真空过程中的任何泄漏不太可能使壳结构受损。

[0099] 与标准技术相比，材料成本费用减少，因为与标准预浸渍过程相比需要更少的预浸渍层，并且与标准的干灌注过程相比避免了树脂操控系统。

[0100] 以上实施例仅仅为了帮助理解本发明而提供并不意图限制或者穷尽。在其它实施例中，可以在模具的其它区域中形成混合结构。可以在不脱离本发明的如限定在所附权利要求中的范围的情况下对上述实施例进行各种变型。

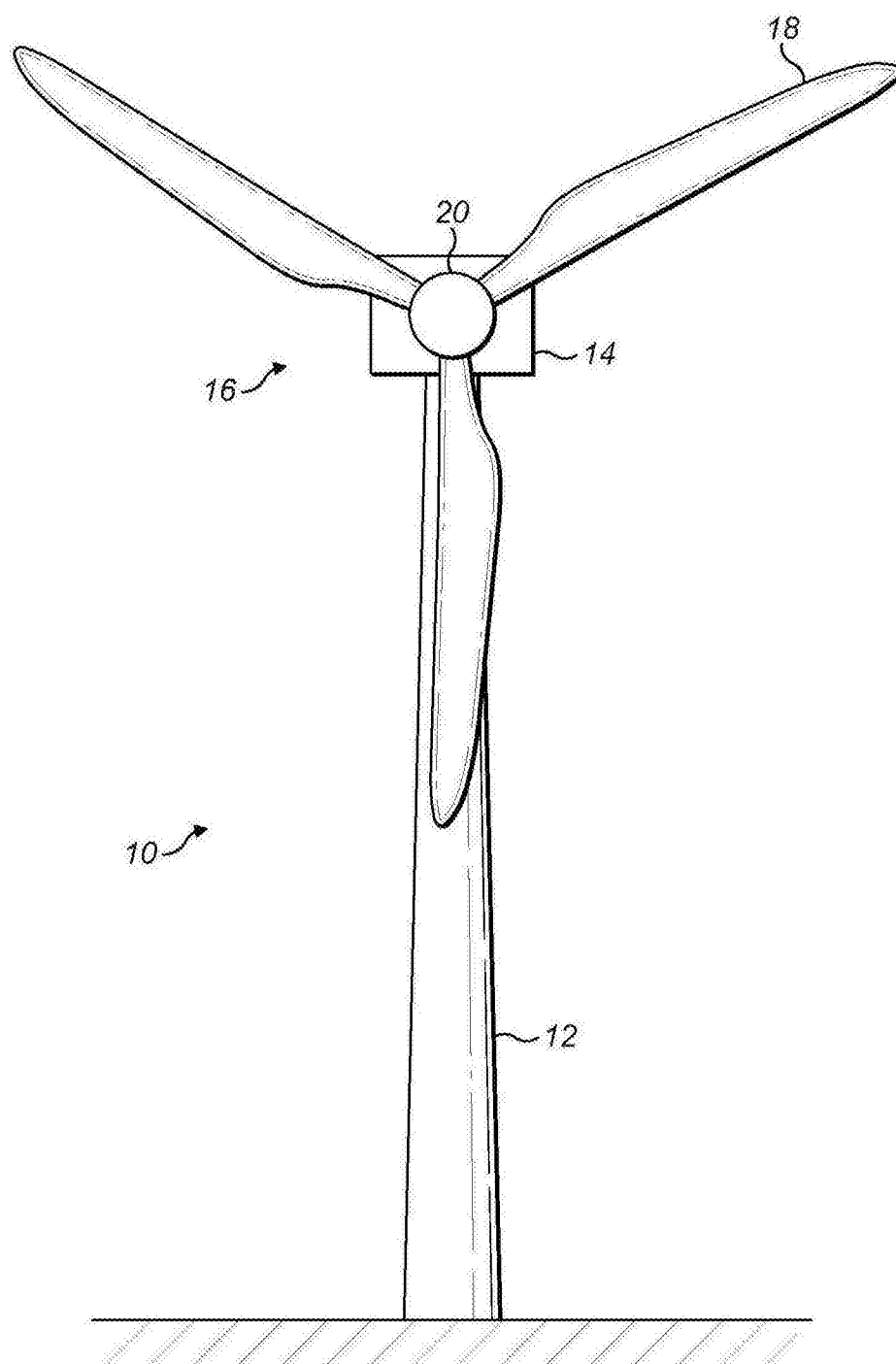


图1

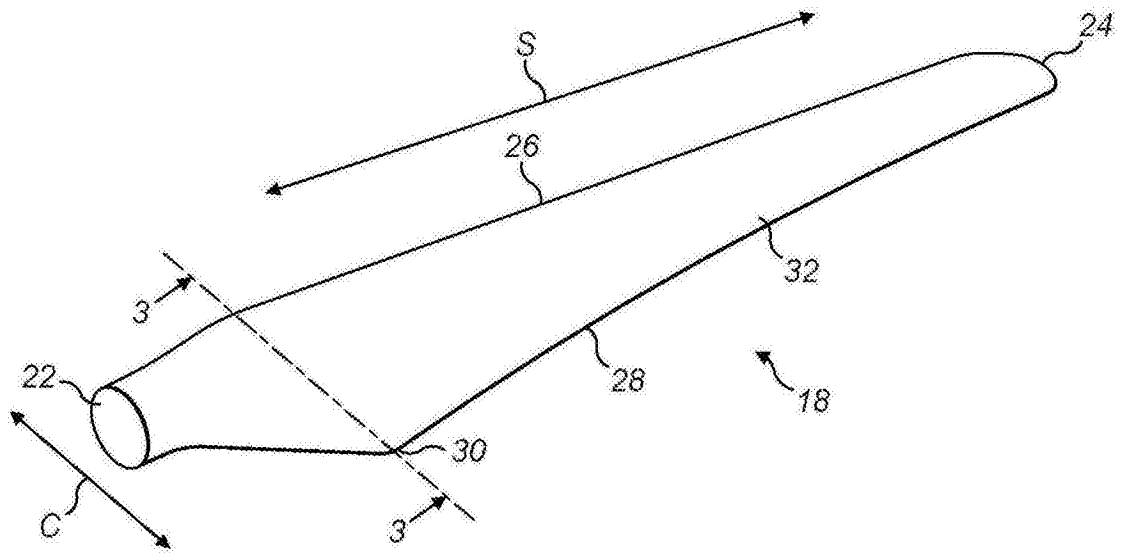


图2

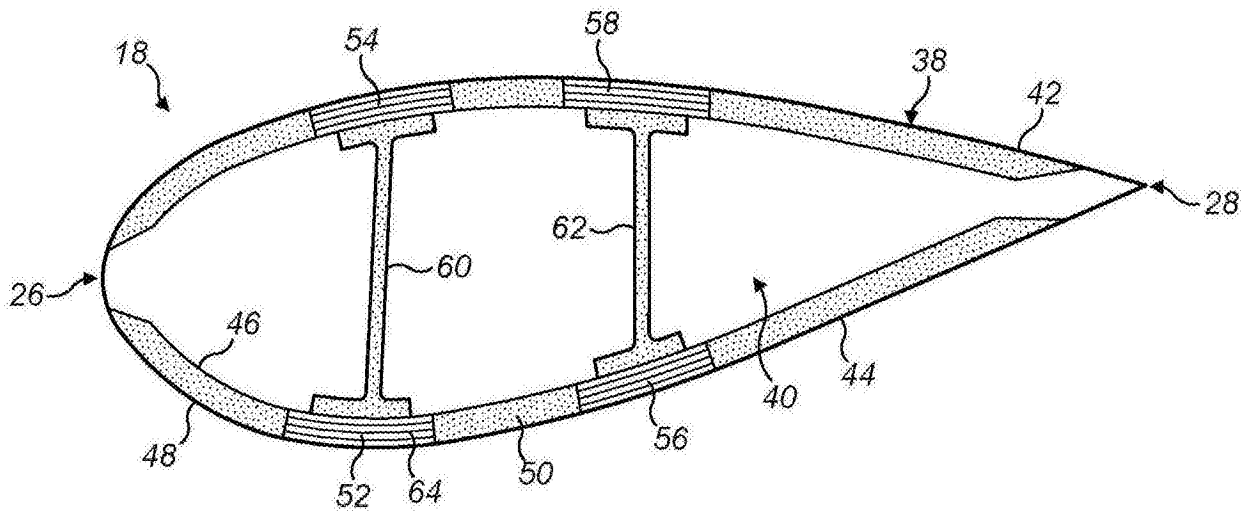


图3

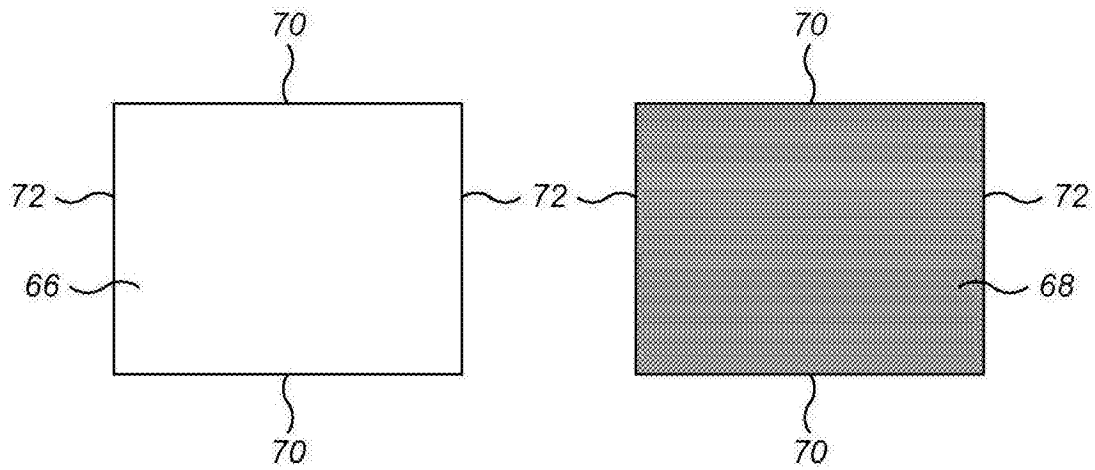


图4a

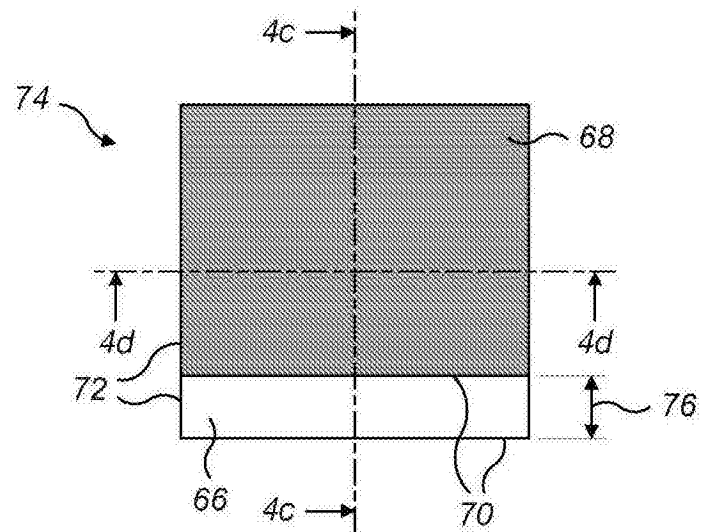


图4b

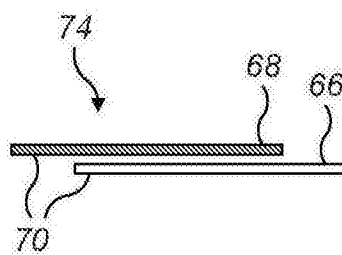


图4c

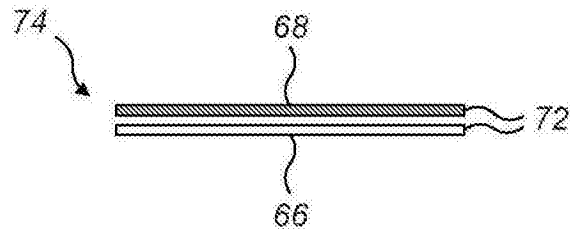


图4d

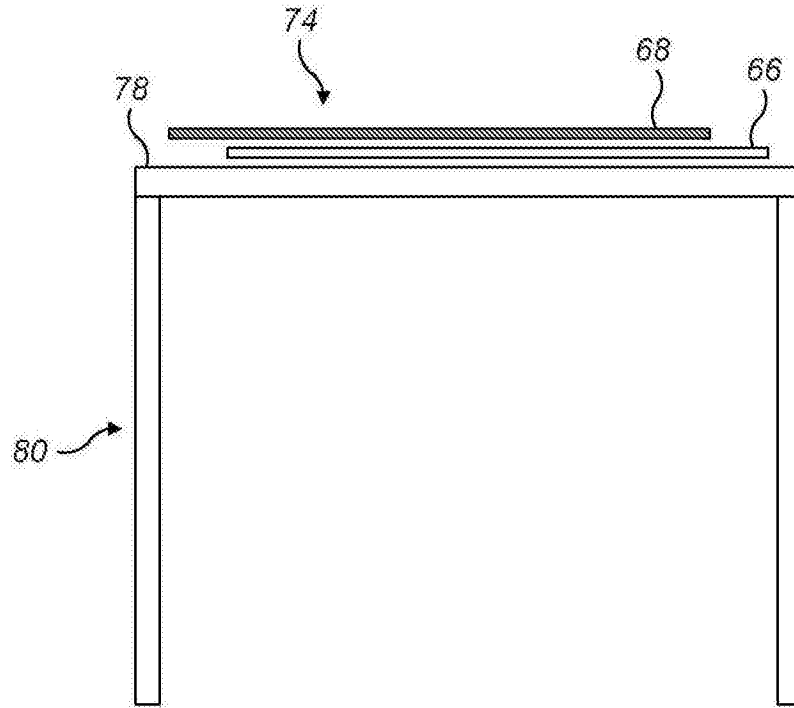


图4e

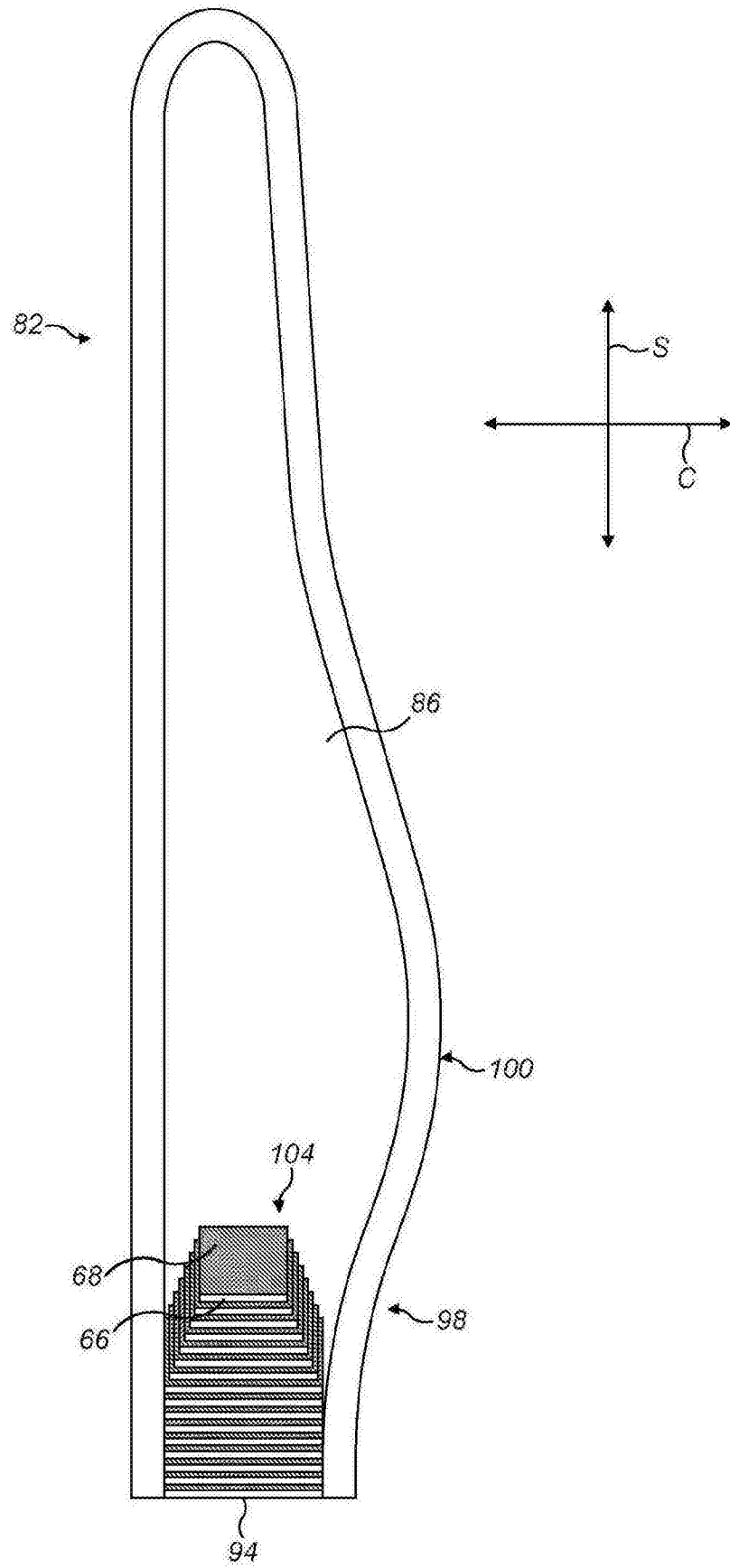


图6

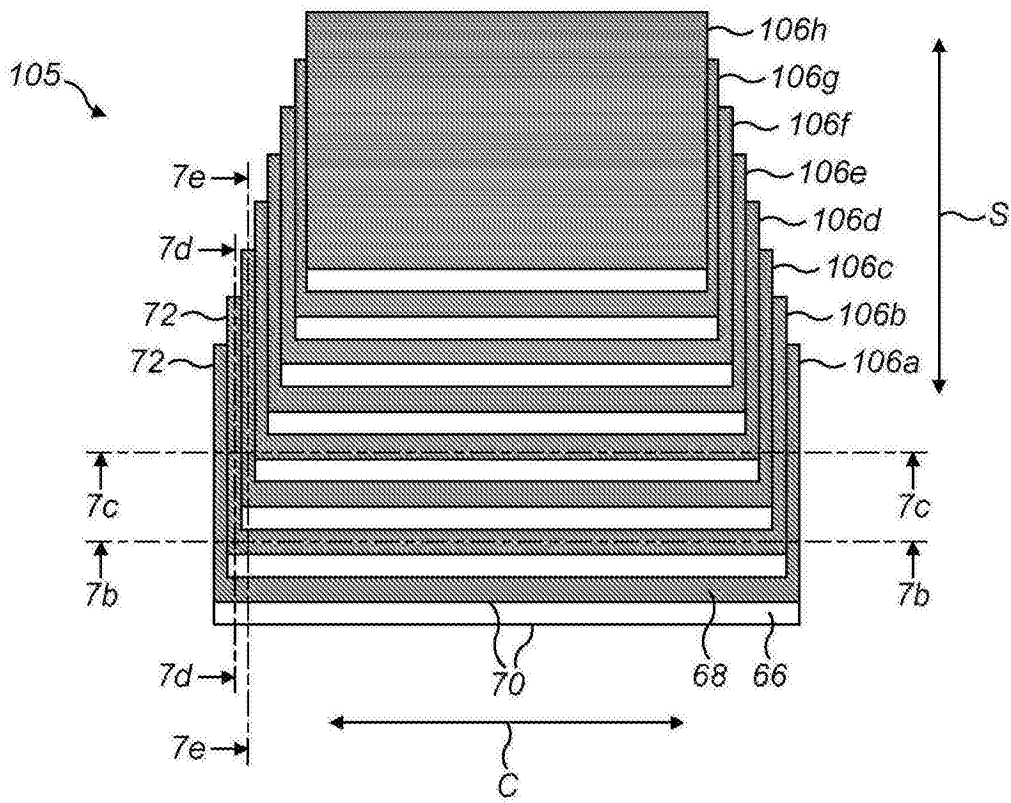


图7a

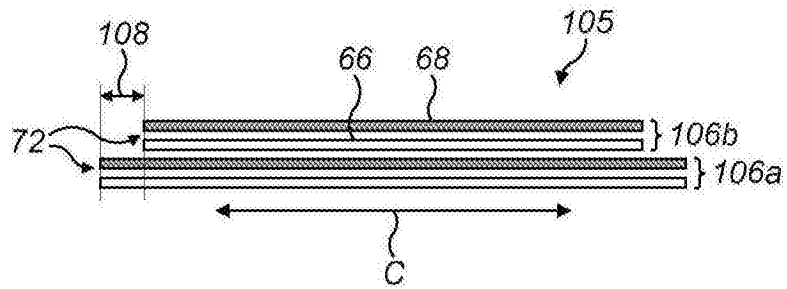


图7b

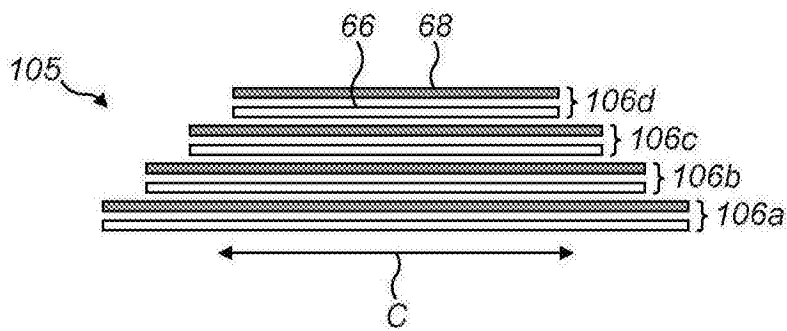


图7c

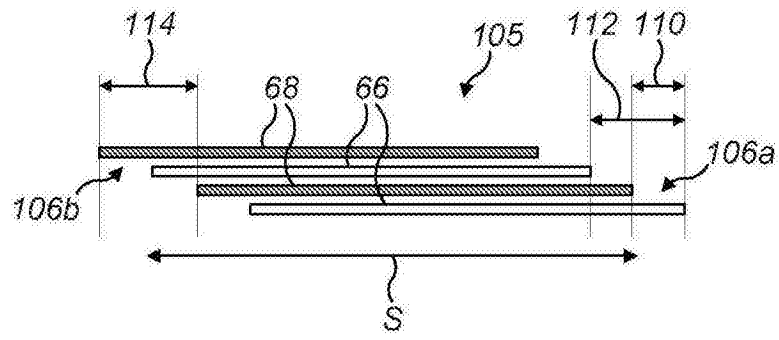


图7d

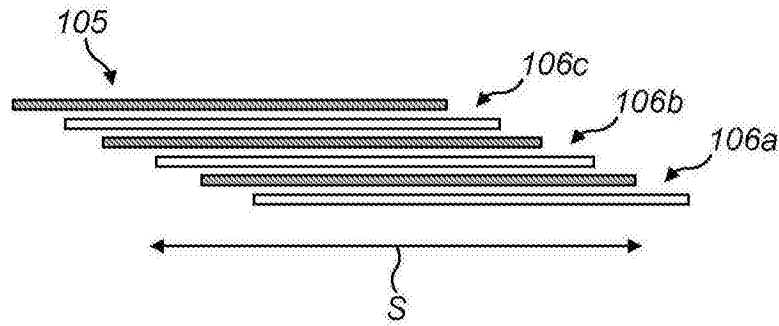


图7e

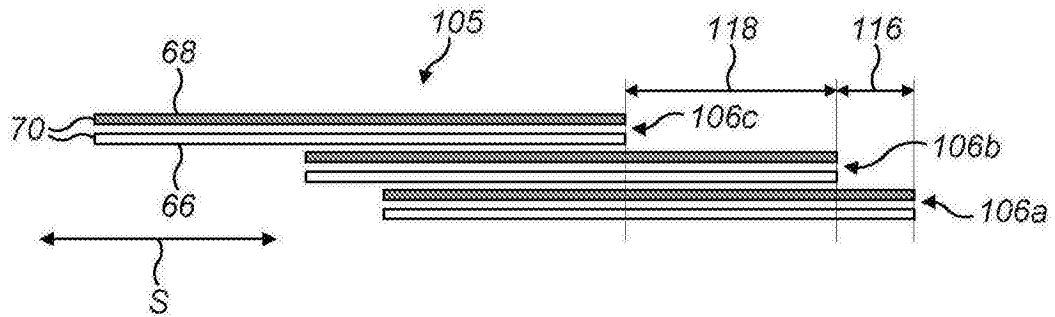


图7f

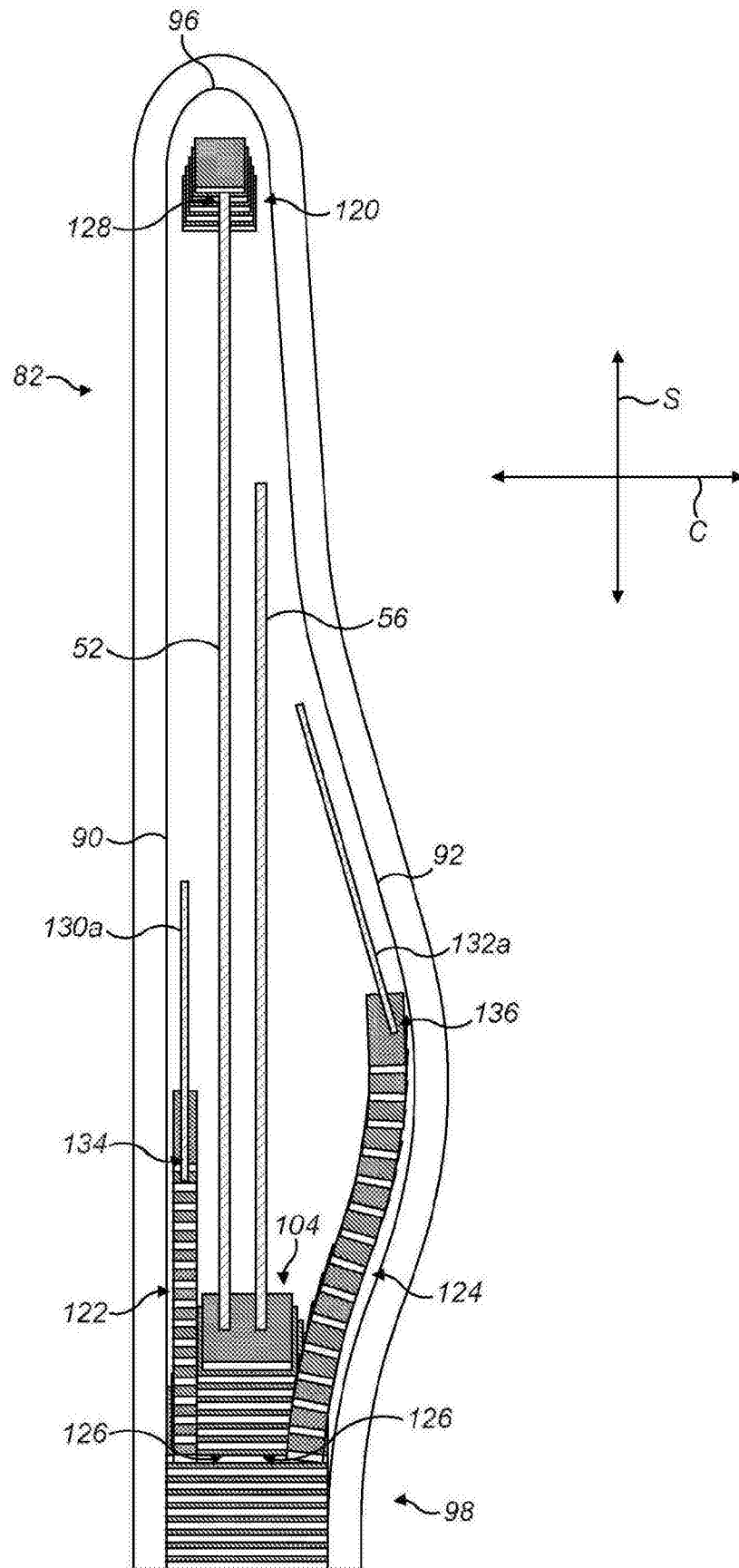


图9

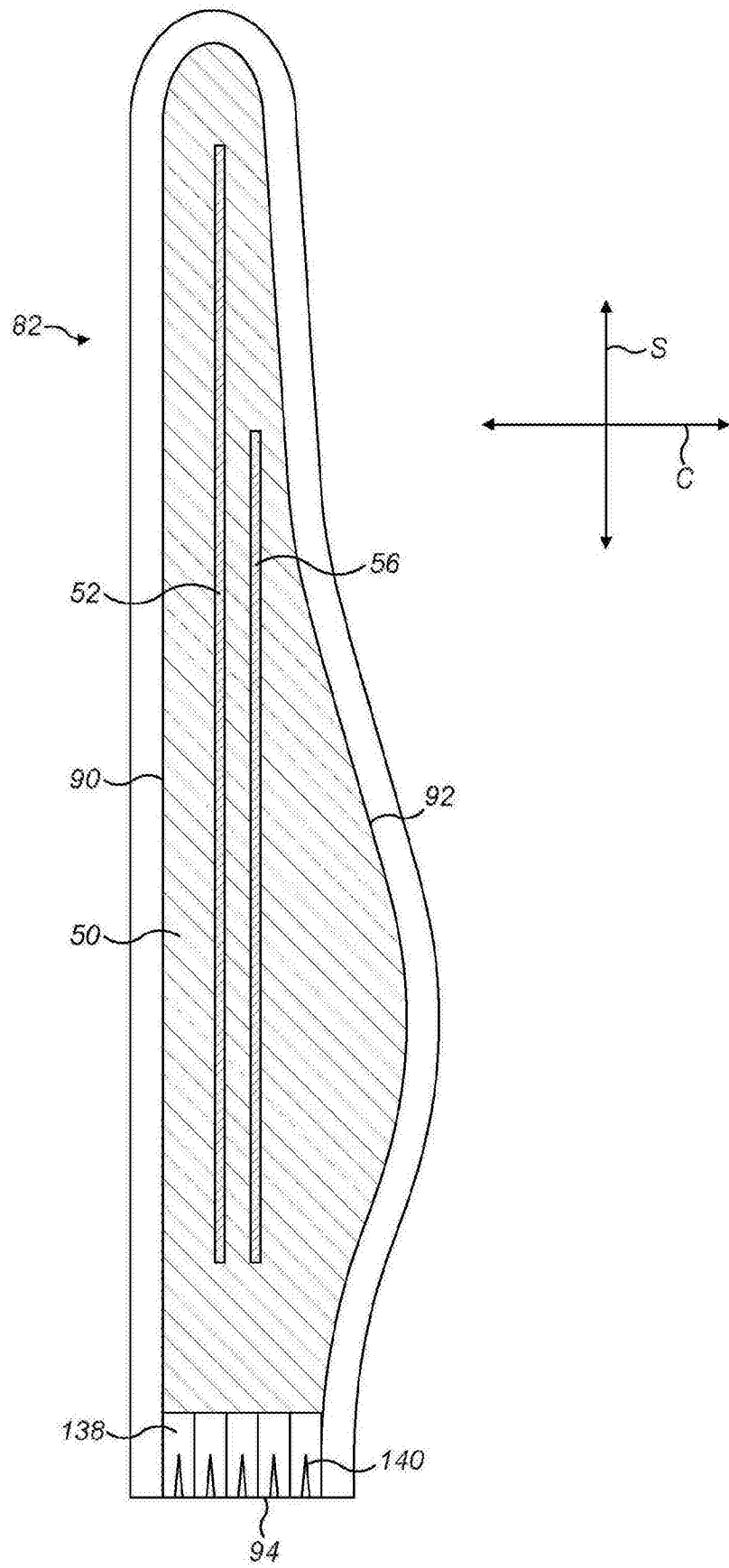


图10

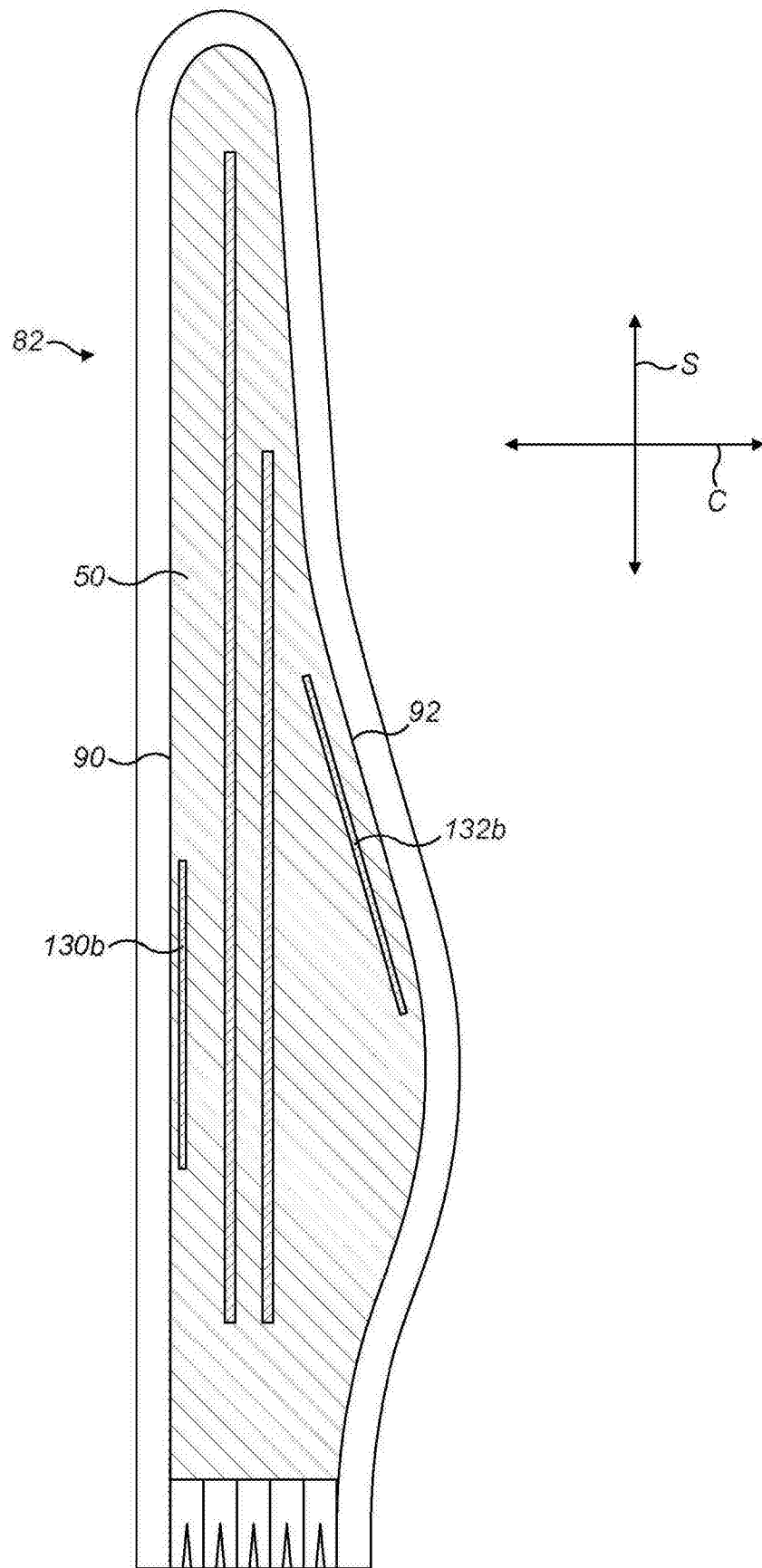


图11

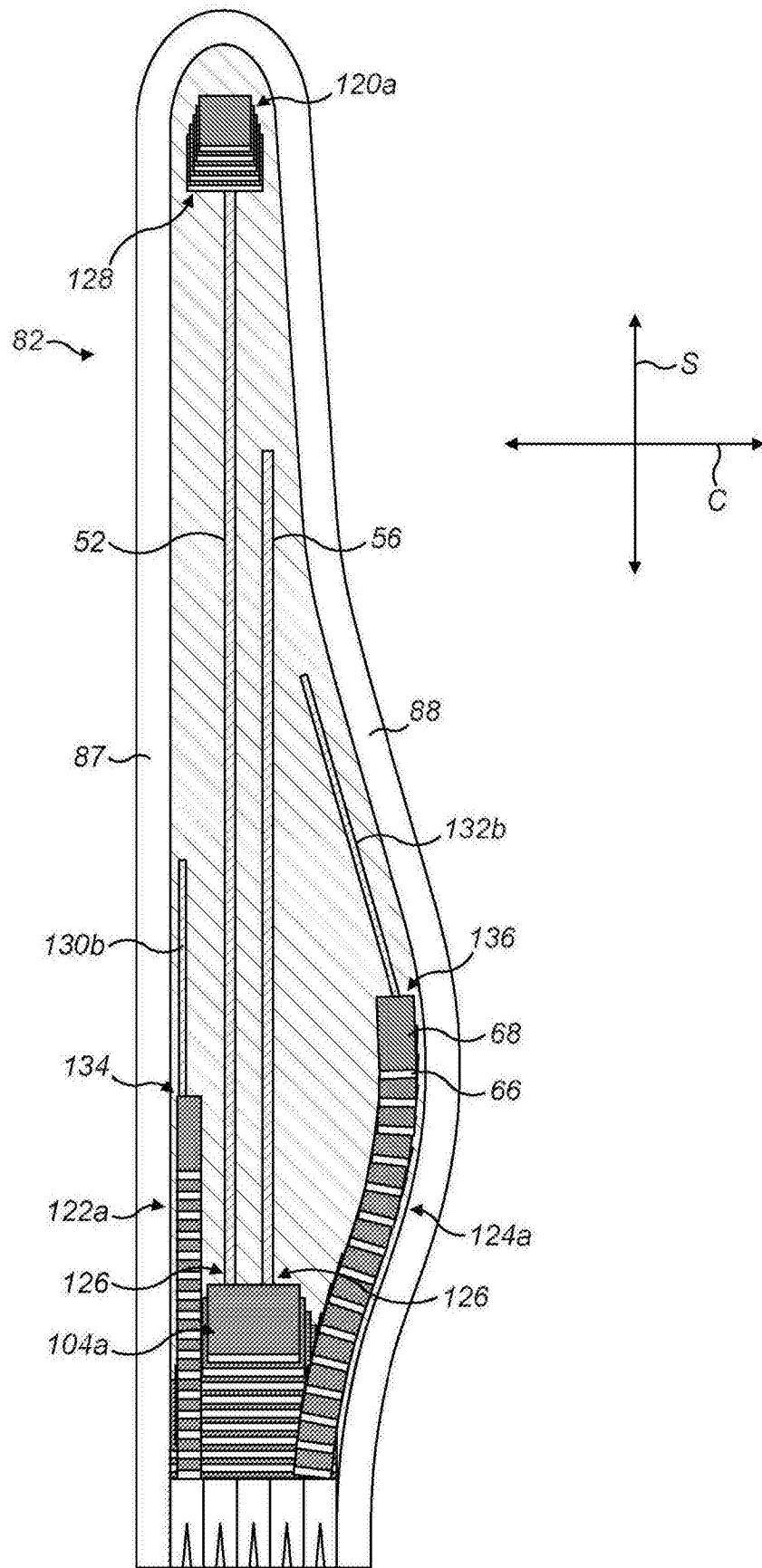


图12