



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101828030 B

(45) 授权公告日 2012. 12. 26

(21) 申请号 200880111767. 4

DE 4335221 C1, 1995. 03. 16, 全文.

(22) 申请日 2008. 07. 28

US 4339230 A, 1982. 07. 13, 全文.

(30) 优先权数据

0717690. 2 2007. 09. 11 GB

WO 95/20104 A1, 1995. 07. 27, 说明书第 3 页

第 16 行至第 13 页第 28 行, 附图 1-17.

CN 1957178 A, 2007. 05. 02, 全文.

(85) PCT 申请进入国家阶段日

2010. 04. 15

审查员 刘凤杰

(86) PCT 申请的申请数据

PCT/GB2008/002569 2008. 07. 28

(87) PCT 申请的公布数据

W02009/034291 EN 2009. 03. 19

(73) 专利权人 刀具动力学有限公司

地址 英国怀特岛

(72) 发明人 P·拉德令

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 刘志强

(51) Int. Cl.

F03D 1/06 (2006. 01)

(56) 对比文件

EP 1184566 A1, 2005. 10. 12, 全文.

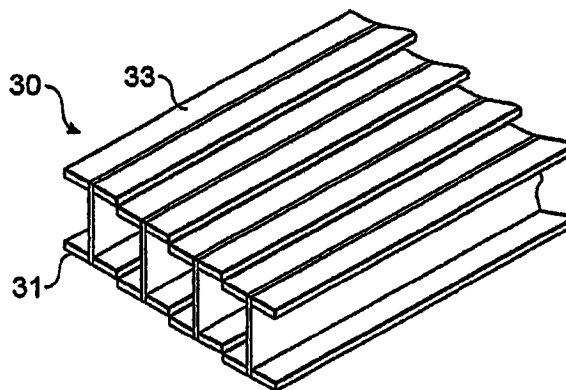
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 13 页

(54) 发明名称

风轮机叶片

(57) 摘要

一种用于风轮机叶片的桁梁 (30)。该桁梁包括并排设置的多根 (通常为三根或更多根) 梁 (33)。每根梁均具有纵向腹板 (32), 位于两个纵向边缘上的凸缘 (31)。该桁梁可以由主要通过重叠的抗剪腹板彼此相连的多个模块构成。



1. 一种模块式风轮机叶片,该叶片包括:
根部,其一端用于与毂连接;
桁梁,其从根部朝向相对端的尖端延伸;以及
至少两个蒙皮板,其由桁梁支撑并且形成封闭的叶片截面,
其中桁梁包括沿桁梁长度以端部相连的方式设置的多个桁梁单元,并且桁梁包括并排设置的多根梁,每根梁均具有至少一个纵向腹板,该腹板在两个纵向边缘上具有凸缘。
2. 如权利要求1所述的风轮机叶片,其中,相邻的桁梁单元主要在其腹板处连接在一起。
3. 如权利要求1所述的风轮机叶片,其中,桁梁单元中的至少一个是弯曲的。
4. 如权利要求3所述的风轮机叶片,其中,该弯曲使得当叶片在无负载的构造下被装配到毂上时,叶片的尖端更靠近上风。
5. 如权利要求3所述的风轮机叶片,其中,该弯曲使得在旋转方向上,叶片的尖端位于叶片其它部分后面。
6. 如权利要求3所述的风轮机叶片,其中,该至少一个弯曲的桁梁单元位于叶片的尖端附近。
7. 如权利要求3所述的风轮机叶片,其中,该至少一个弯曲的桁梁单元位于两个基本笔直的桁梁单元之间。
8. 如权利要求3所述的风轮机叶片,其中,该至少一个弯曲的桁梁单元由纤维强化塑料制成。
9. 如权利要求1所述的风轮机叶片,其中,根部、桁梁单元和蒙皮板中的一个或多个由纤维强化塑料制成。
10. 如权利要求1所述的风轮机叶片,其中,桁梁的相邻区段通过机械固定件连接到一起。
11. 如权利要求1所述的风轮机叶片,其中,桁梁的相邻区段粘合到一起。
12. 一种用于风轮机叶片的模块式桁梁,该桁梁包括以端部相接的方式设置的多个桁梁单元,其中每个桁梁单元至少在邻近相邻桁梁单元的区域上包括与相邻桁梁单元重叠的多个抗剪腹板,这些桁梁单元主要通过这些重叠的抗剪腹板连接到一起。
13. 如权利要求12所述的模块式桁梁,其还包括承载块,用来支撑相邻的抗剪腹板之间的接头。
14. 如权利要求13所述的模块式桁梁,其中,相邻的腹板通过承载块被钉在一起。
15. 如权利要求12-14中任一项所述的模块式桁梁,其中,各桁梁单元包括具有一对抗剪腹板的单箱形梁段,并且至少一个辅助性抗剪腹板沿大体平行于箱形梁段的抗剪腹板的方向、且至少在桁梁单元的邻近相邻桁梁单元的部分上在箱形梁段的抗剪腹板之间延伸。
16. 一种风轮机叶片,其包括如权利要求12-15中任一项所述的模块式桁梁。
17. 如权利要求16所述的风轮机叶片,其包括多个蒙皮板,所述蒙皮板构成叶片段的外表面,并且与桁梁形成一体。

风轮机叶片

技术领域

[0001] 本发明涉及风轮机叶片和用于风轮机叶片的制造方法。

背景技术

[0002] 目前用于制造风轮机叶片的方法是将每个叶片生产成两个半部壳体及桁梁,或者生产成具有一体式桁梁盖和抗剪腹板的两个半部壳体。在这两种情形下,这两个半部壳体沿其前边缘和后边缘被粘合到一起形成完整的叶片。

[0003] 叶片通常是利用树脂灌注或预浸渍技术由纤维强化塑料制成。在这两种情况下,叶片通过大量劳动和极其密集的设备来生产,然后被运至风轮机或风力发电厂所在地。

[0004] 当前方法的缺点主要与大小有关,风轮机叶片通常 40m 长或更长。随着叶片尺寸增加,相关成本和出现制造缺陷的几率也增加,因为众人皆知高质量的大型部件是难以制造的。此外,为了抵偿缺陷几率,叶片被高于工程要求地设计,从而导致更大的相关叶片质量。这继而导致更高的涡轮机负载、安装和材料成本。

[0005] 在使用中,相比于小型叶片,更大的叶片更受欢迎,因为它们绘出更大的包络线,因此捕获更大比例的有效风能。这意味着获得相同的发电能力需要更少的风轮机。

[0006] 尽管存在上述事实,然而叶片越大,则运输它们愈发困难和昂贵。这种情况因很多风轮机都被设在道路不能到达的丘陵区域这一事实而得到恶化。有时,将叶片切割成两个半部来降低要运输的结构的整体长度,并且稍后在风轮机所在地进行现场连接。然而,这并不是一个令人满意的解决方案,因为在实施时涉及要将结构上完好且昂贵的部件切割成两个半部。

[0007] 已经提出了很多种方法来解决这个问题。

[0008] EP 1 584 817 和 WO 2006/002621 公开了被分成两个或多个模块的风轮机叶片。每个模块均具有箱形截面形式的强化结构。许多突起从梁的端部突出,并且被设计成与相邻模块上的对应突起相配合。

[0009] WO 03/087572 也与本发明有关,其公开了一种不具有模块式构造的风轮机叶片。它公开了一种具有叠置的两个半部的桁梁。当桁梁被组成时,垫片被插在这两个桁梁部分之间以确保叶片的这两个部分正确对齐。

发明内容

[0010] 本发明涉及由 EP 1 584 817 和 WO 2006/002621 代表的叶片模块式设计的改进。

[0011] 在第一方面,本发明提供了一种用于风轮机叶片的桁梁,该桁梁包括并排设置的三个或更多个梁,每根梁均具有纵向腹板,所述腹板在两个纵向边缘上均具有凸缘。

[0012] 用梁制成的桁梁是有优势的,因为这些梁可以被标准化、具有质量保证、生产廉价以及元件便于运输,并且可以被连接起来以形成风轮机叶片桁梁通常需要的更为复杂的形状。

[0013] 这些梁中的一个或多个可以为封闭的箱形截面,因为这样提供了额外的结构刚

度。或者,这些梁中的一个或多个为开放截面梁。这是有利的,因为它减少了桁梁中腹板的数量以及使用的材料量。还可以使用不同类型的梁的组合来使桁梁的特性适应特定需求。

[0014] 优选地,所述一个或多个开放截面梁中的至少一个为 I 形梁或槽形梁,其具有更容易计算的结构特性。同样,可以使用不同类型的梁的组合。

[0015] 在优选实例中,多个梁被粘附到一起以便于组装。作为替换或补充的,多个开放截面梁同样通过机械固定件被连接到一起以便组装。

[0016] 凸缘优选包括预成型的纤维强化塑料。它们可以是预浸渍或灌注部件,但优选是拉挤成型的。这是有利的,因为复合部件的拉挤成型是材料利用率接近 100% 的工艺。与风轮机叶片制造有关材料浪费成本因此可以大大降低。这些部件可以是硬化或半硬化的。

[0017] 优选地,这些腹板包括多轴向纤维强化塑料,其适于承受扭转负载。或者,这些腹板可以包括拉挤成型的多轴向纤维强化塑料。

[0018] 凸缘和腹板优选粘附在一起。作为替换或补充,这些凸缘和腹板通过机械固定件连接到一起。

[0019] 在优选实例中,桁梁包括沿桁梁长度以端部相接的方式设置的多个桁梁单元。这减轻了运输具有全长的桁梁的问题和费用。优选地,桁梁单元的长度使得它们能够轻易地利用标准的全球后勤学方案装配好。

[0020] 优选地,相邻的桁梁单元主要在其腹板处连接到一起以便组装。虽然相邻的桁梁单元的凸缘也可以被连接到一起,但这不是桁梁的结构完整性所必需的。事实上,在某些环境下,不连接凸缘会是有利的。如果凸缘未被连接,则可以为相邻区段的凸缘使用不同的材料,而不存在因连接凸缘引起的热失配问题。这特别可用于允许只局限在叶片的关键部分(诸如中段)上使用昂贵的碳纤维强化塑料,并且在桁梁的端部使用更廉价的材料。

[0021] 优选地,相邻单元的腹板重叠,并且连接在一起。

[0022] 关于诸如 EP 1 584 817 和 W0 2006/002621 中那样的接头,相邻元件之间的连接主要在结构的主承载桁梁或桁梁盖部分上以轴向的方式形成。在 EP1584817 中,这需要相当数量的额外结构材料以强化轴向连接和防止金属连接器与下方复合材料之间的挠性不匹配。在 W02006/002621 中,需要额外的材料、复杂的终端和多个精确的尺寸来形成主承载强化材料上的接头。这导致叶片在接头区域出现局部僵硬,从而产生低的空气动力学性能,而且还增加了叶片的重量和成本。

[0023] 通过借助多个重叠的腹板形成连接,该连接具有以下优点,即:所有负载均借助腹板沿剪切(与上述现有技术中的主要沿轴向方向相关)方向在区段之间传递,从而允许形成这种连接,同时不明显影响叶片在接头区域的弯曲特性。利用多根并排的梁设计而成的桁梁允许存在多根抗剪腹板(shear web)。这防止腹板的翘曲成为问题。

[0024] 优选地,各个腹板上设有至少一个承载块以将负载从抗剪腹板传入相邻的承载块,然后传入与相邻的承载块相关的抗剪腹板。

[0025] 相邻的桁梁单元优选通过机械固定件连接在一起。作为替换或补充,相邻的桁梁单元被粘附在一起。负载通过机械连接或粘附连接在相邻的承载块之间传递。

[0026] 在优选实例中,至少一对相邻的桁梁单元包括不同的材料。这是有利的,因为诸如碳纤维强化塑料这样的更为昂贵、坚硬的材料可以被用在桁梁的主承载区域,例如在中段,而例如玻璃纤维强化塑料这样的较便宜的材料可以被用在桁梁的其余区域。

[0027] 在一个优选实例中,腹板的高度沿着桁梁的长度减小,使得各个梁的凸缘沿着桁梁的长度彼此靠近以从桁梁一端到另一端形成锥形。

[0028] 类似地,在另一优选实例中,桁梁的宽度沿着桁梁的长度减小。这可以通过使凸缘沿桁梁长度变窄来实现。作为替换或补充,通过使最外侧梁在相邻的内侧梁的端部前方结束,可以使用具有不同长度的梁来减少桁梁的宽度。

[0029] 梁可以优选具有不同高度以允许所组装的桁梁来更好地符合叶片的外部曲面轮廓。

[0030] 在一个实例中,这些梁中的至少一个关于相邻的梁发生偏移,使得该至少一个偏移的梁的凸缘不与相邻的梁的凸缘共面。这允许形成具有扭转的桁梁。

[0031] 在第二方面,本发明提供了一种具有根据本发明第一方面的桁梁的风轮机叶片。

[0032] 在第三方面,本发明提供了一种组装用于风轮机叶片的桁梁的方法,该方法包括:提供多根梁,其中每根梁均在桁梁的整个深度上延伸,并且具有至少一个纵向腹板,所述腹板在两个纵向边缘上均具有凸缘;以及并排连接所述多根梁。

[0033] 优选地,该方法还包括使多个桁梁单元沿桁梁长度以端部相连的方式连接。这些桁梁单元优选主要在其腹板处相连。

[0034] 在第四方面,本发明提供了一种模块式风轮机叶片,该叶片包括:根部,其一端用于与毂连接;从根部伸向相对端处的尖端的桁梁;以及至少两个蒙皮板,其由桁梁支撑并且形成封闭的叶片截面,其中桁梁包括沿桁梁长度以端部相连的方式设置的多个桁梁单元,并且桁梁包括并排设置的多根梁,每根梁均具有纵向腹板,所述腹板在两个纵向边缘上均具有凸缘。

[0035] 本发明的第四方面的风轮机叶片是有利的,因为与运输全长的桁梁有关的问题和费用均得以避免。

[0036] 优选地,相邻的桁梁单元主要在其腹板处连接到一起。

[0037] 常常需要使用弯曲的叶轮机叶片,其被设置成当叶片在无负载的构造下被装配到毂上时使得尖端更靠近上风。这种构造是有利的,因为需要将较少的加强材料用在叶片上以防止塔冲击。

[0038] 在一个优选实例中,桁梁单元中的至少一个是弯曲的。优选地,其弯曲使得当叶片在无负载的构造下被装配到毂上时,尖端更靠近上风。作为替换或补充,该弯曲使得沿着旋转方向,叶片的尖端位于叶片其它部分后面。这种结构是有利的,因为它允许形成弯曲的桁梁、因此弯曲的风轮机叶片,同时无需复杂且昂贵且弯曲的夹具或模具。此外,桁梁的这种模块式设计允许利用一套标准的桁梁单元生产出大体笔直或大体弯曲的桁梁,其中这套桁梁单元可以被选择成最适合风轮机将要工作的条件。例如,这种结构可以被设计成在叶片使用期间提供甩负载能力。

[0039] 该至少一个弯曲的桁梁单元优选位于叶片尖端附近。或者,该至少一个弯曲的桁梁单元位于两个基本笔直的桁梁单元之间,使得弯曲远离叶片的尖端。因此可以看到,桁梁的这种模块式设计在风轮机设计上提供了相当大的灵活性,同时不存在相关的加工成本。

[0040] 在优选实例中,该至少一个弯曲的桁梁单元、和/或根部、桁梁单元或蒙皮板中的一个或多个由纤维强化塑料制成。或者,该至少一个弯曲的桁梁单元、和/或根部、桁梁单元和蒙皮板中的一个或多个由其它合适的材料(诸如木材或金属)制成。

[0041] 桁梁的相邻区段优选通过机械固定件连接到一起以便组装。作为替换或补充,桁梁的相邻区段也可粘合到一起以便组装。

[0042] 除了由并排设置的多根梁构成的桁梁之外,上面描述的相邻桁梁段的连接方式还具有更广泛的应用。具体地,它还可以被用于已知的具有单个箱形梁段的桁梁(诸如在 W02006/002621 和 EP1584817 中公开的)。

[0043] 根据本发明的这一方面,提供了一种用于风轮机叶片的模块式桁梁,该桁梁包括以端部相接的方式设置的多个桁梁单元,其中每个桁梁单元至少在邻近相邻单元的区域上包括与相邻桁梁单元重叠的多个抗剪腹板,这些单元主要通过这些重叠的抗剪腹板连接到一起。

[0044] 优选地,该模块式桁梁还包括承载块来支撑相邻的抗剪腹板之间的接头。相邻的腹板于是可以通过承载块被钉在一起。

[0045] 如果承载块被用于单个箱形梁段,则各桁梁单元包括具有一对抗剪腹板的单个箱形梁段,并且至少一个辅助抗剪腹板沿近似平行于箱形梁段的抗剪腹板的方向且至少在桁梁单元的邻近相邻单元的那部分上在箱形梁段的抗剪腹板之间延伸。

[0046] 本发明的这个方面还可以涉及一种包括该模块式桁梁的叶片,该桁梁可以与例如在 EP1584817 中示出的叶片蒙皮形成一体。

附图说明

[0047] 现在将参考下列附图描述本发明的实例,其中:

[0048] 图 1 是部分完工的风轮机叶片的示意性等轴测视图;

[0049] 图 2 是图 1 的叶片的桁梁、框架和根部子组件的示意性的等轴测视图;

[0050] 图 3 是沿图 1 的线 A-A 截取的示意性横截面图;

[0051] 图 4 是组装之前的图 1 的蒙皮板和框架构件的示意性等轴测视图;

[0052] 图 5 是构成图 1 的根部子组件的一部分的管状支撑构件的示意性等轴测视图;

[0053] 图 6 是构成根部子组件的一部分的一对支撑模具的示意性的等轴测视图;

[0054] 图 7 是附连在图 1 的桁梁上的隔板的示意性等轴测视图;

[0055] 图 8 是组装期间根部子组件的示意性横截面侧视图;

[0056] 图 9 是完工的根部子组件的示意性横截面侧视图;

[0057] 图 10 是构成图 1 的桁梁的一部分的具有开放截面的梁的示意性等轴测视图;

[0058] 图 11 是图 10 的具有开放截面的梁的组成部件的示意性等轴测视图;

[0059] 图 12 是图 1 的桁梁的第一部分的示意性等轴测视图;

[0060] 图 13 是图 1 的桁梁的第二部分的示意性等轴测视图;

[0061] 图 14 是图 1 的桁梁的平面和横截面形式的示意图;

[0062] 图 15 是图 10 的具有开放截面的梁的端部的平面、侧面和横截面形式的示意图;

[0063] 图 16 是构成图 1 的桁梁的两个桁梁单元之间的连接的示意性分解平面图;

[0064] 图 17 是构成图 1 的桁梁的两个桁梁单元之间的完成的连接的平面和横截面形式的示意图;

[0065] 图 18A 和 18B 是图 15 中示出的具有开放截面的梁的替换性端部构造的示意性平面图;

- [0066] 图 19 是桁梁的一种替换结构的示意性侧视图；
- [0067] 图 20 是其叶片具有图 18 的桁梁的风轮机的示意性侧视图；
- [0068] 图 21A-21D 分别是适于诸如在图 20 中示出的那种弯曲叶片的桁梁结构的侧视图、端视图、平面图和透视图；
- [0069] 图 21E 是图 21D 中标为 E 的那部分的详细视图；
- [0070] 图 22A-22E 是适于形成在转子轮盘平面内弯曲的叶片的桁梁段的与图 21A-21E 类似的视图；
- [0071] 图 23A 是替换性的梁段的透视图,其中一些细节概括示出；
- [0072] 图 23B 是由图 23A 中示出的封闭梁段构成的、在组装之前的桁梁结构的透视图；
- [0073] 图 23C 是示出了处于组装构造状态下的图 23B 的部件的视图；
- [0074] 图 24 是本发明的一个方面的连接技术应用于其上的一种已知箱形桁梁的平面图,其中具有沿桁梁长度以 A-E 示出的截面；以及
- [0075] 图 25 是本发明的一个方面的连接技术应用于其上的一种已知叶片的平面图,其中具有沿桁梁长度以 A-E 示出的不同截面。

具体实施方式

[0076] 图 1 示出了部分完工的风轮机叶片 10,叶片 10 包括承载桁梁 30,桁梁 30 连接根部子组件 20,其将在下面作更详细的描述。桁梁 30 支撑框架构件 40、50,蒙皮板 60、70 装配在该框架构件上形成叶片 10 的外表面。

[0077] 在图 1-3 所示的实例中,框架构件 40、50 由碳纤维强化塑料制成,并且包括前侧框架构件 50 和后侧框架构件 40。如图所示,框架构件 40、50 的形状基本对应于叶片 10 的截面轮廓。在一种替换性构造中,框架构件可以与蒙皮板形成一体,而非如在早期申请 GB 0807515.2 中描述的那样与桁梁形成一体。

[0078] 蒙皮板 60、70 附连在框架构件 40、50 和桁梁 30 上以形成连续外皮。前端蒙皮板 70 附连在前侧框架构件 50 上,其余的蒙皮板 60 附连在前侧框架构件 50、桁梁 30 和后侧框架构件 40 上。

[0079] 蒙皮板 60 由玻璃纤维强化塑料制成并且具有凝胶涂层或涂料,这些涂层或涂料是在将蒙皮板 60 组装到框架构件上之前或之后施加的。可选地,给这些面板涂覆涂层,诸如 GB0805713.5 中公开的那样。前端蒙皮板 70 由复合材料制成并且具有耐磨涂层,所述耐磨涂层是在组装前端蒙皮板 70 之前或之后施加的。

[0080] 在夹具中将根部组件 20、桁梁 30、框架构件 40、50 和蒙皮板 60、70 粘贴在一起以确保尺寸精度。夹具本身(未示出)是包括多个夹具模块的模块式夹具,其中所述模块的长度均未超过 20m 以便于将夹具模块运至风轮机的组装地点。在该实例中,还利用机械固定件(诸如螺栓和夹子)将叶片 10 的不同部件连接到一起。在替换实例中,只可以使用胶水或机械固定件。

[0081] 图 4 示出了单个蒙皮板 60、70 和框架构件 40、50 的实例,这些部件构成用于制作成品叶片 10 的全套工具的一部分。蒙皮板 70、60 的形状使得可以在储存和运输过程中将它们叠置。

[0082] 图 5 示出了构成图 1 的根部子组件 20 的一部分的管状支撑构件 80。管子 80 是约

5m 长的纤维缠绕的玻璃纤维强化塑料管。在凸形心轴上制造管子 80 以便它具有精确的内部尺寸。螺纹孔 81 位于管子 80 的一端以连接至风轮机的毂。

[0083] 在图 6 中示出了一对玻璃纤维强化塑料的支撑模具 85。这些支撑模具 85 具有精确的外部曲面,其中外部曲面是通过利用凹形模具或借助机械加工获得的。支撑模具 85 呈 C 形,其外部曲率半径与管子 80 的内部曲率半径相匹配。

[0084] 如图 8 和 9 所示,在管子 80 的内表面上粘合了两对支撑模具 85。约 100mm-150mm 深的支撑模具被粘合在离管子 30 的端部约 200mm 处。

[0085] 图 7 示出了粘合在桁梁 30 的一部分上的玻璃纤维强化塑料隔板 90。在该实例中,隔板 90 包括彼此相粘合并且粘合在桁梁 30 上的两个半部 95。在替换实例中,隔板 90 为单件,其具有通孔以接收桁梁 30。

[0086] 在组装过程中,将第一隔板 90 粘合在桁梁 30 上。然后从与毂连接端相对的一端将桁梁 30 插入管子 80,直至隔板 90 抵接第一对支撑模具 85a。然后通过粘合剂以及贯穿隔板 90 和支撑模具 85a 的螺栓 87 将隔板 90 附连在支撑模具 85a 上。然后通过粘合剂和螺栓 87 将第二隔板 90 粘合在桁梁位于管子 80 内部的部分上,并且附连在第二对支撑模具 85b 上。

[0087] 图 10 示出了具有开放截面的 I 形梁 33,其构成桁梁 30 的一部分。I 形梁 33 自身由组成凸缘 31 构成,其中所述凸缘 31 在纵向腹板 32 的两侧置于腹板 32 的纵向边缘上。凸缘 31 由单向碳或玻璃纤维强化塑料制成,腹板 32 由 $\pm 45^\circ$ 多轴向碳或玻璃纤维强化塑料制成。凸缘 31 例如通过拉挤成型工艺形成预成型件,并且具有矩形横截面。在替换实例中,凸缘 31 可以具有弯曲的横截面以更精确地与叶片的外轮廓相配。凸缘可以堆叠的从而使得能够给叶片的特定部分提供额外厚度。然而,为了保持桁梁的组成部件尽可能地简单,优选让凸缘具有矩形或可堆叠的其它横截面。而且,在平行于凸缘表面承载了更高负载的叶片的某些部分(诸如根部端部)上,可以在腹板 32 与各凸缘 31 的交界处提供额外的预成型件(其形状例如为角形截面)。

[0088] 在腹板的纵向边缘附近将凸缘 31 粘附在腹板 31 两侧以形成 I 形梁 33。可选地,I 形梁 33 可以包括两个凸缘,其分别具有纵向开槽以接收腹板的相应边缘。在夹具中对 I 形梁 33 进行组装以确保尺寸精度。在可选实例中,作为粘合剂的补充或替换,用机械固定件将凸缘 31 连接在腹板 32 上。

[0089] 如图 12 所示,桁梁 30 由并排设置的多个 I 形梁 33 构成。如图 14 的横截面 B 和 C 所示,在贯穿桁梁截取的剖面中,凸缘 31 位于桁梁 30 的两侧。将多个 I 形梁 33 保持在夹具中以确保尺寸精度,并且沿凸缘 31 彼此附连。作为替换或补充,可以通过机械固定件将凸缘连接到一起。

[0090] 在图 12 和 14 所示的实例中,桁梁 30 的深度在中间位置上最大。这种构造被用于导致附连在桁梁 30 上且限定图 3 所示风轮机叶片的外表面的蒙皮板 60 的曲率。最外侧 I 形梁 33 和最内侧 I 形梁 33 之间的深度变化通过改变腹板 32 的深度来实现。此外,桁梁 30 的深度从根部端到尖端端逐渐变小。这种深度减小在一定程度上通过使腹板 32 的深度从部件 I 形梁 33 的一端到另一端逐渐变小以使得它们具有近似梯形的构造来实现。如下面进一步描述的那样,还通过减少连续桁梁单元 35 中的腹板 32 的整体深度来使桁梁 30 的深度沿桁梁长度逐渐减小。

[0091] 图 13 在桁梁 30 的第二段中示出了 I 形梁 33 的另一种结构,该段包括扭转。在该段中,I 形梁 33 并排设置,同时它们的凸缘 31 彼此发生偏移,使得一个 I 形梁的凸缘 31 与相邻 I 形梁 33 的凸缘 31 不在一个平面上。偏移程度沿着桁梁 30 的长度变大。这种扭转使得桁梁与关于叶片纵轴线发生扭转的叶片 10 的外轮廓相一致。

[0092] 图 14 示出了桁梁 30 的平面图和横截面图,并且示出了桁梁 30 的宽度如何从根部端到尖端端逐渐变细。这种逐渐变细在一定程度上通过减少 I 形梁 33 的凸缘部分 31 以使最外侧梁具有槽形横截面(呈 C 形)而非 I 形梁横截面来实现。横截面 B 示出了由四个 I 形梁 33 构成的桁梁 30 的最宽部分,横截面 C 示出了由两个 I 形梁 33 和两个槽形梁 38 构成的桁梁 30 的宽度减小部分。正如将在下面进一步描述的那样,还通过以端部相接的方式将其组成梁 33 数量逐渐减少的连续桁梁单元 35 连接到一起来使桁梁 30 的宽度沿桁梁长度减少。

[0093] 桁梁 30 可以由多个具有全长的 I 形梁 33 和 / 或槽形梁 38 形成。然而,在当前实施例中,桁梁 30 包括端部相连的多个桁梁单元 35,其均未超过 12m 长。

[0094] 为形成桁梁单元 35 之间的连接,如图 15 所示,各 I 形梁 33(或槽形梁 38)均以尖端结束。凸缘 31 在预定长度上从其最大宽度 Y 逐渐变细为 I 形梁 33 端部处的零宽度。由玻璃纤维强化塑料制成的承载块 34 在两个位置上被粘合和 / 或机械固定在腹板 32 两侧,其中一个凸缘 31 开始变细的位置,另一个的中心在凸缘 31 变细为零的位置上。承载块 34 具有 Y/2 的宽度。各承载块 34 具有孔洞 39 以接收安全销 36。

[0095] 该孔洞可以由金属管形成,金属管在其与块粘合的表面上具有缠绕在其外侧上的纤维强化塑料。安全销也可以是金属的。它可以承受非常低的温度(例如通过在被装入孔洞 39 中前一刻将其浸入液氮)。然后,它就地发生膨胀,从而与管子形成紧密配合。

[0096] 作为在图 16 中示出的关于桁梁横向延伸的销 36 的可选实施例,相邻区段上的块 34 可以具有互补的锥形面,并且相面对的各对可以通过沿桁梁的纵向方向延伸的销连接。

[0097] 图 16 示出了连接之前的两个桁梁单元 35a、35b,图 17 示出了通过安全销 36 连到一起的两个桁梁单元 35a、35b。如图所示,相邻的桁梁单元 35a、35b 的腹板 32 在连接处重叠。相邻桁梁单元 35a、35b 之间的机械连接仅借助腹板 32 来实现。凸缘 31 的锥形边缘彼此抵靠,但是在该实例中并未发生物理连接。在可选实例中,作为替换或补充,相邻的桁梁单元 35a、35b 的腹板 32 可以通过块 34 粘附在一起。在另一可选实例中,相邻的桁梁单元 35a、35b 的凸缘 31 可以通过机械固定件和 / 或通过粘合剂连接。

[0098] 桁梁单元 35a 包括三个 I 形梁 33,桁梁单元 35b 包括两个 I 形梁 33。然而,这只是用于说明性目的,桁梁单元 35 可以根据需要由任意数量的 I 形梁 33 和 / 或槽形梁 38 形成。类似地,凸缘 31 的端部不是必须如图 15、16 和 17 中所示那样为锥形。在图 18A 和 18B 中示出了凸缘 31 端部的替换构造。

[0099] 图 20 示出了具有弯曲构造的叶片 10',其在负载下往回弯曲至更直的形状,图 19 示出了用在叶片 10' 内的桁梁 30'。

[0100] 桁梁 30' 包括以端部相接的方式连接在一起的多个桁梁单元 35a'、35b'、35c'。桁梁单元 35a'、35c' 基本是笔直的,并且如上所述那样由具有开放截面的复合梁 33 制成。然而,桁梁单元 35b' 具有弯曲构造。桁梁单元 35b' 两端连接基本笔直的桁梁单元 35a'、35c',使得当叶片 10' 以无负载的构造被装配在毂 5 上时,桁梁 30' 的尖端和叶片 10' 的尖端更

接近上风。

[0101] 桁梁单元 35b' 具有在上面关于基本笔直的桁梁单元 35a'、35c' 描述的模块式开放截面梁构造。在替换实例中,弯曲的桁梁单元 35b' 和 / 或基本笔直的桁梁单元 35a'、35b' 可以由整块铸件或经机械加工的部件构成。在另一种替换方式中,弯曲的桁梁单元 35b' 和 / 或基本笔直的桁梁单元 35a'、35b' 可以是金属和非金属组成部件的组合。

[0102] 在图 21A-21E 中示出了桁梁单元 35b' 的更详细的结构。

[0103] 正如能看到的那样,腹板 32 向下弯曲形成弯曲构造。凸缘 31 具有图 21E 所示的叠层构造,其允许适应腹板 32 的曲率。各个薄层弯曲至需要的程度。将意识到的是:这种设计允许通过有限数量的部件产生不同的曲率,因为它不需要针对所需要的各种曲率半径设计或生产单独部件。

[0104] 图 21 说明了适于弯曲到图 20 所示转子轮盘平面之外的叶片的设计,图 22A-22E 示出了适于用在沿正交方向、即在转子轮盘平面内弯曲的叶片中的设计。在这种情况下,如图 22E 所示,形成凸缘 31 的薄层位于与腹板 32 平行的平面中,因此适应腹板 32 沿与腹板 32 的平面垂直的方向的弯曲。

[0105] 图 23A-23C 示出了由封闭梁段构成的桁梁单元。在图 23B 和 23C 中示出了两段,每段均包括两个封闭或箱形梁 100,其中每个梁 100 包括通过一对腹板 32 连接的一对凸缘 31。每个凸缘 31 在靠近接头的端部上具有细长的锥形 101,每个梁的一个腹板 32A 远短于另一腹板 32B。第二腹板 102 在凸缘宽度的一半处与腹板 32 平行地固定在接头内。第二腹板 102 通过具有销孔 104 的装配块 103 附连在腹板 32B 上。当如图 23C 所示那样将梁并到一起时,又将有多个重叠的腹板 32 和 102 以及邻接的凸缘 31。这些腹板可以利用在上文中关于图 15-18 描述的重叠的接头借助装配块 103 连接。

[0106] 图 24 示出了一种可以应用根据本发明一个方面的连接技术的已知桁梁。

[0107] 不同于先前的实例,该桁梁不是由并排设置的多根梁制成。相反地,该桁梁为图 24A 和 24E 中示出的单箱形截面。这种箱形梁桁梁例如在 WO 2006/002621 中公开。图 24 中的修改涉及两段的连接方式。图 24 的平面图俯视这两段凸缘。第一段 110 的凸缘延伸长度 111,第二段 112 的凸缘延伸长度 113,其中留有如图所示的两段交叉的长度 114。凸缘 110 具有三个具有倾斜表面的突起 115,其抵靠着凸缘 112 上的相应突起 116。

[0108] 如图 24C 所示,下凸缘对应上凸缘,然而下凸缘可以具有不同的突起构造。

[0109] 第一段 110 具有一对腹板 117,第二段 112 具有一对腹板 118。

[0110] 第一段 110 另外具有补充腹板 119,其在中间位置 120 处开始,并且近似沿着桁梁中心线延伸至中心突起 115 内的第一段端部。

[0111] 类似地,第二段 112 具有一对补充腹板 121,其开始于中间位置 122,并且间隔约为整个该段宽度路程的 1/4 并且大体平行于腹板 118 延伸至突起 116 的端部。这将从图 24C 中得到理解,其中所有凸缘 117、119 和 121 都大体相互平行。虽然它们被示出位于整个桁梁宽度的 1/4 和 1/2 路程位置上,但是该精确位置并不关键。腹板在位置 123、124 上配备有承载块,其设置方式与图 16 所示相似。因此,这两段以使承载块邻接的方式被拉到一起,并且按照上述方式借助销 125 来固定。

[0112] 图 25 示出了如何能够将该连接方式应用到如 EP1584817 中公开的模块式叶片。它同样地具有单箱形梁桁梁,但是在这种情况下,该箱形梁桁梁构成叶片的一体部分,而非单

独的部件。因此,图 24 和 25 之间的唯一差别在于具有与桁梁凸缘形成一体的蒙皮板 130。

[0113] 将意识到:上述模块式风轮机叶片 10、10' 只是实例,并且可以设想这些组成部件的其它结构。具体地,这些组成部件可以由任何合适的材料制成,包括塑料、纤维强化塑料、木材、铝和钢。此外,这些组成部件的材料不必在整个叶片结构中均保持一致。具体而言,可以根据负载需求的规定在桁梁 30、30' 的不同区段采用不同的材料。

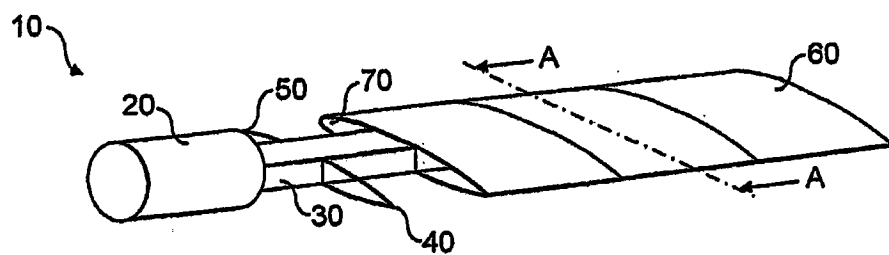


图 1

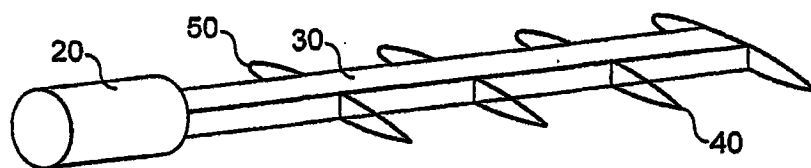


图 2

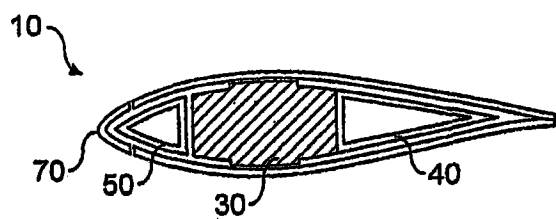


图 3

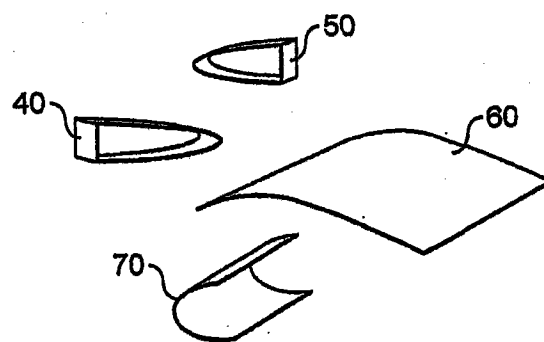


图 4

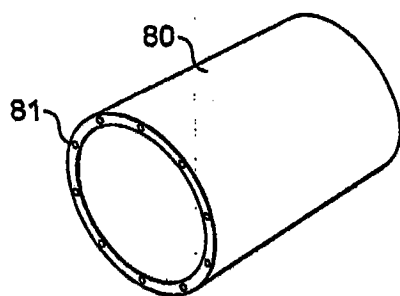


图 5

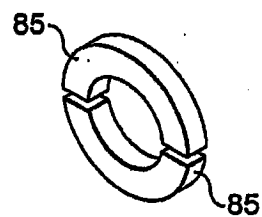


图 6

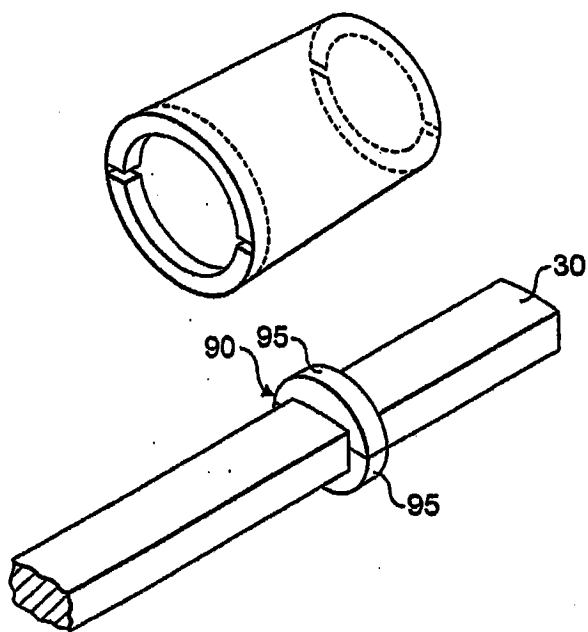


图 7

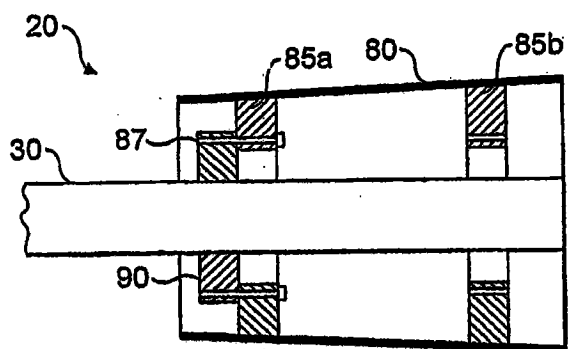


图 8

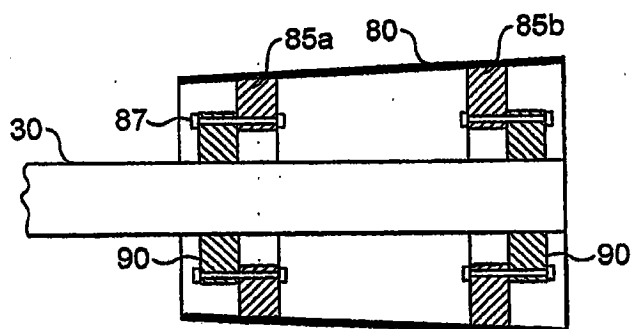


图 9

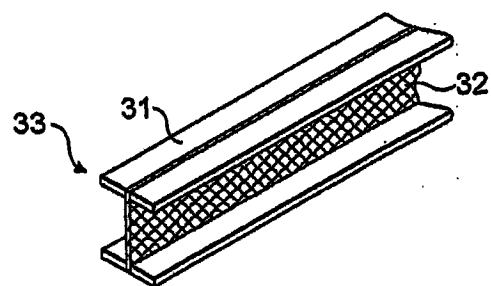


图 10

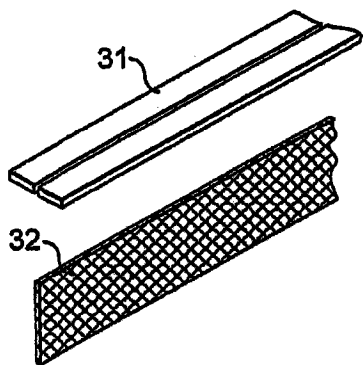


图 11

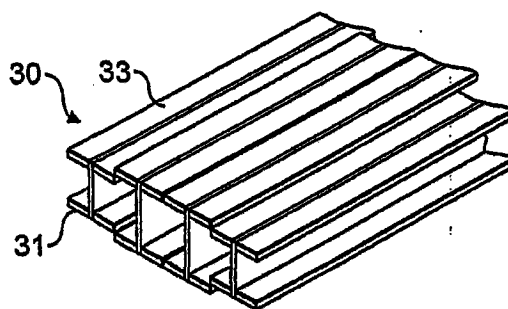


图 12

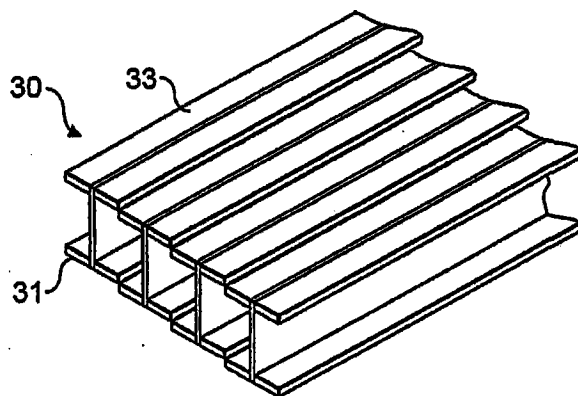


图 13

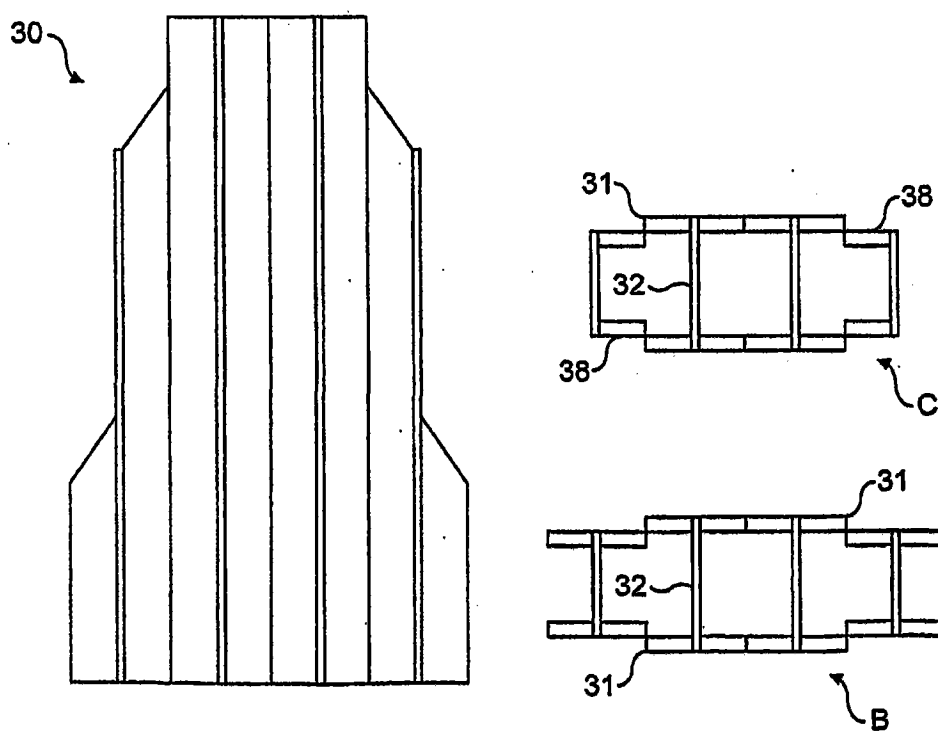


图 14

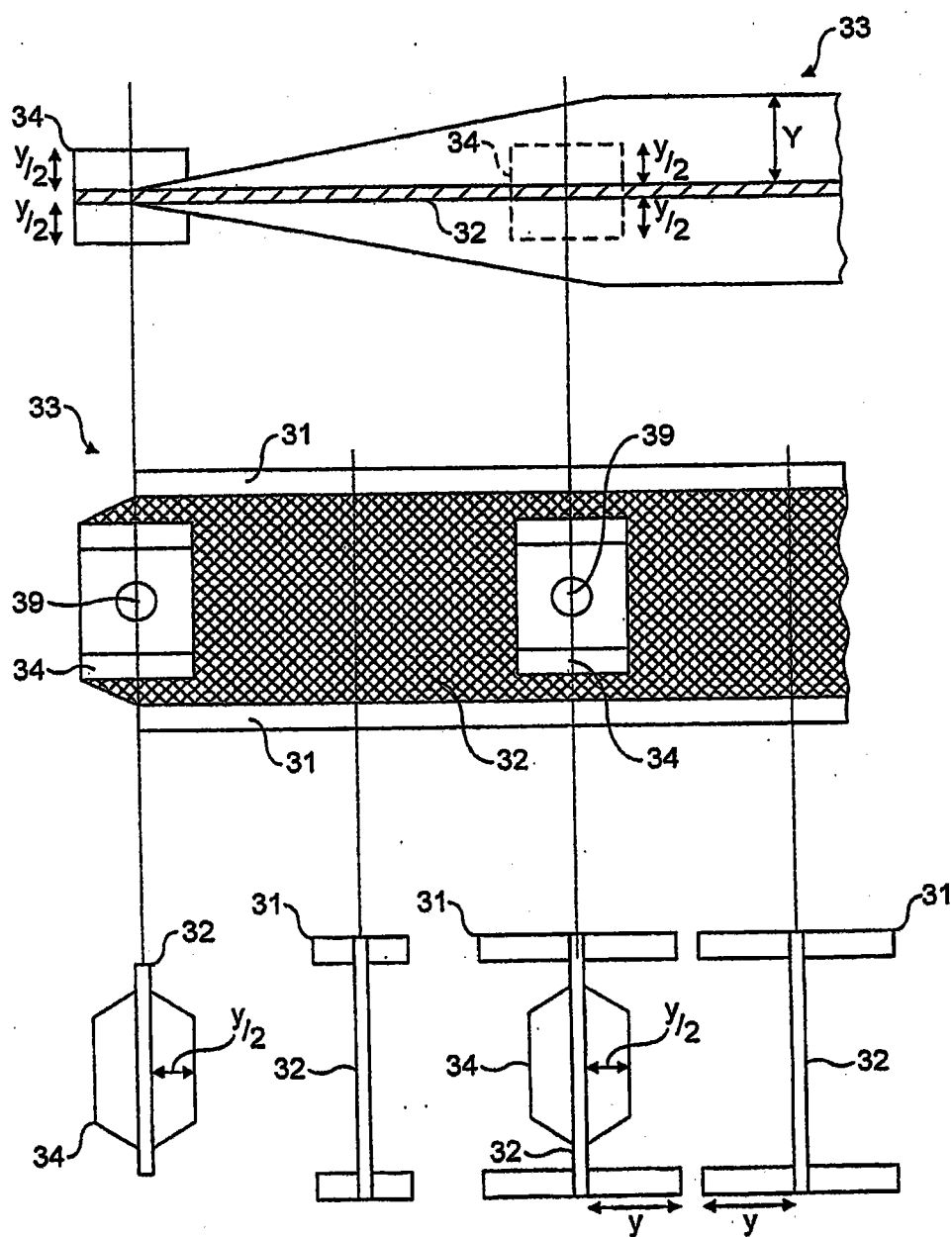


图 15

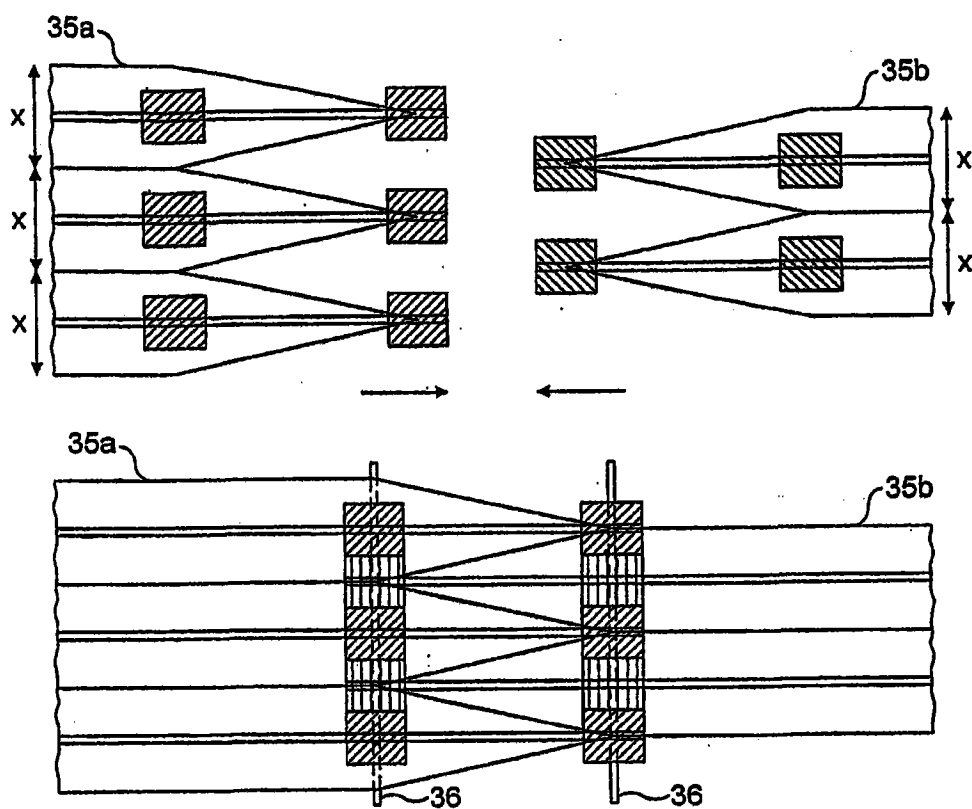


图 16

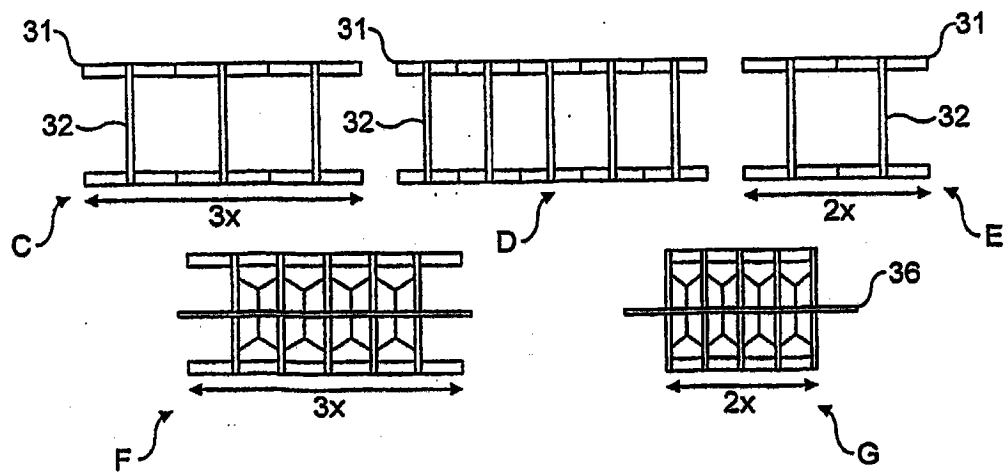


图 17

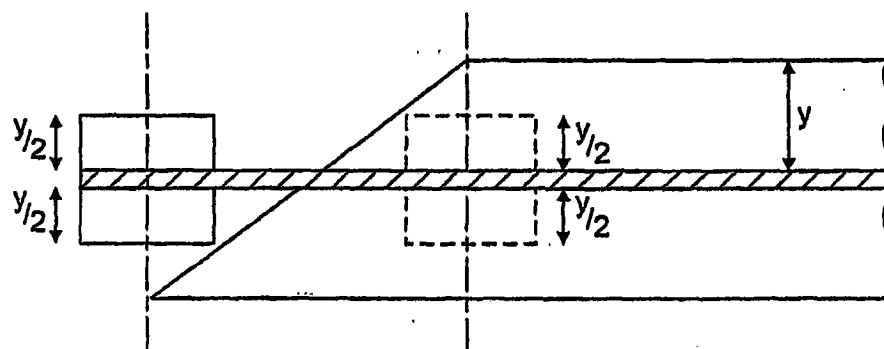


图 18A

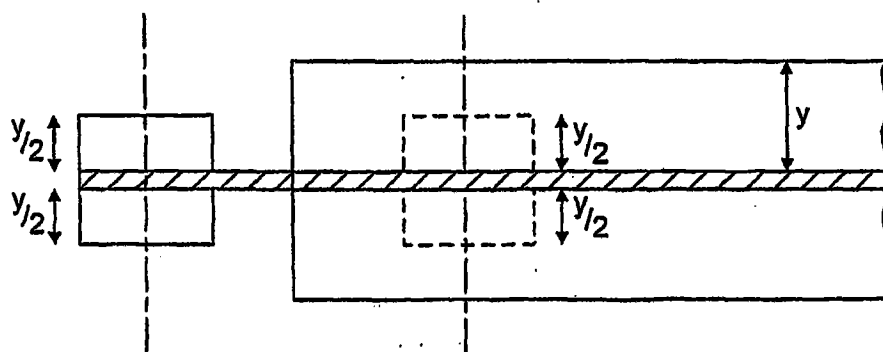


图 18B

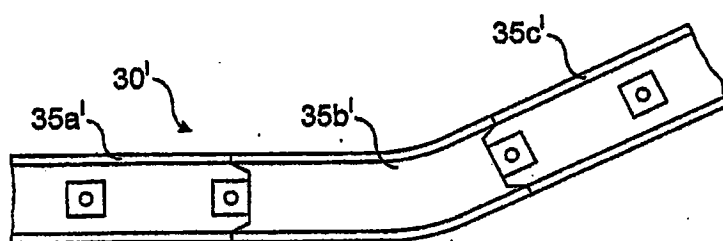


图 19

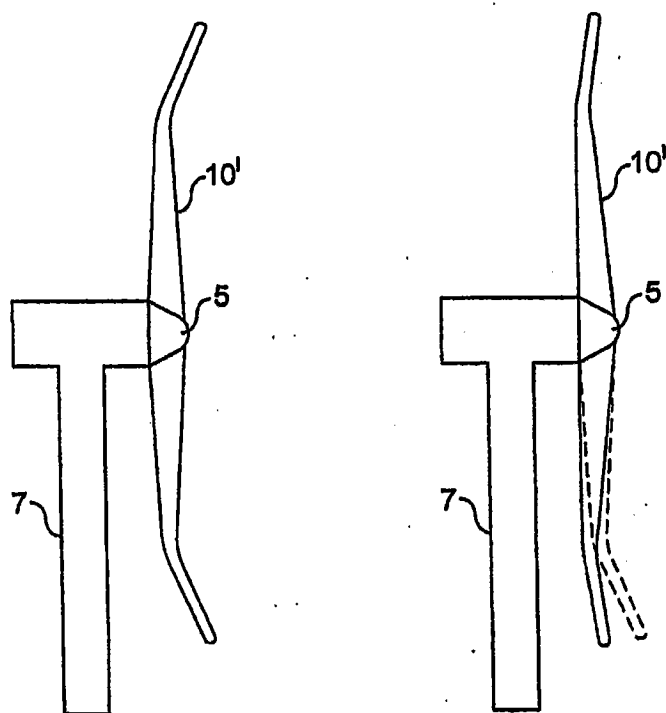


图 20

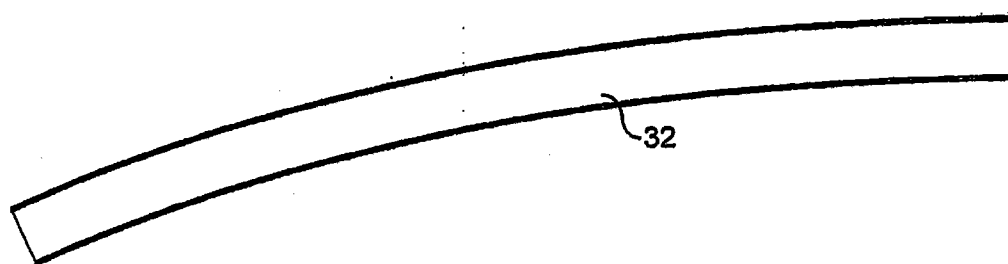


图 21A



图 21B

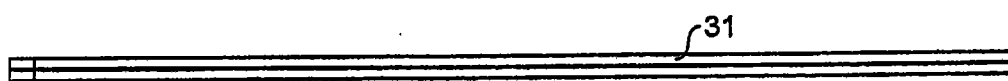


图 21C

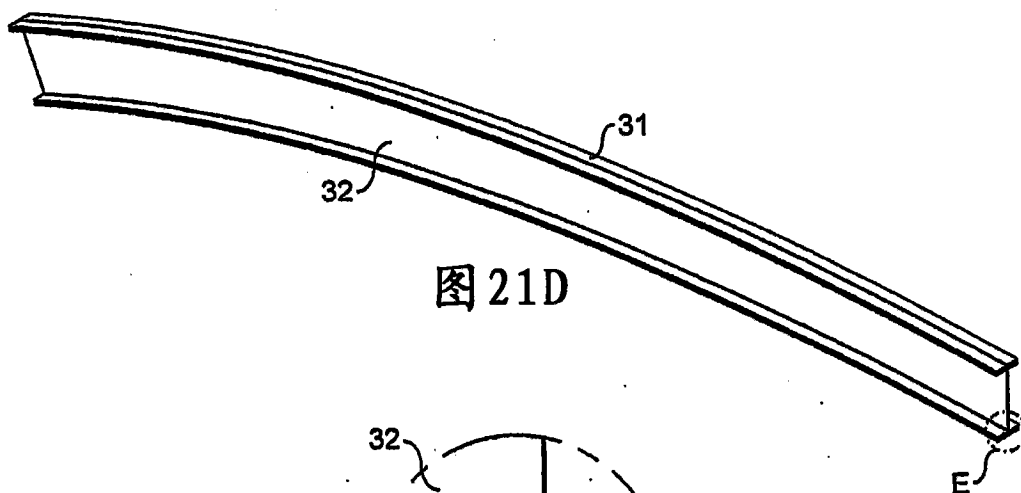


图 21D

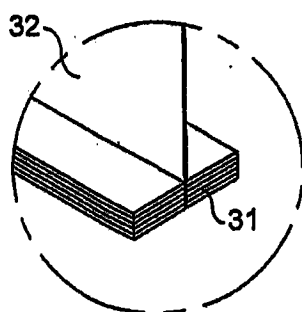


图 21E

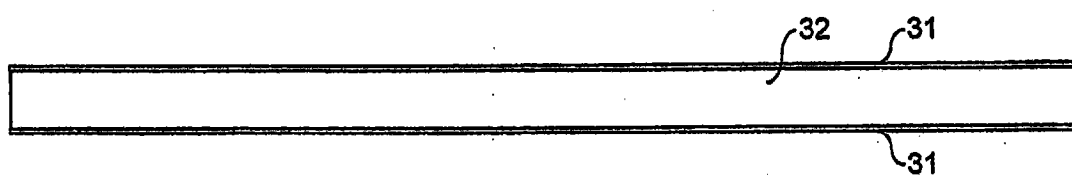


图 22A

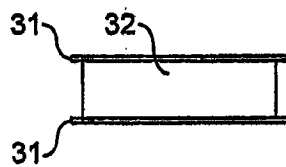


图 22B

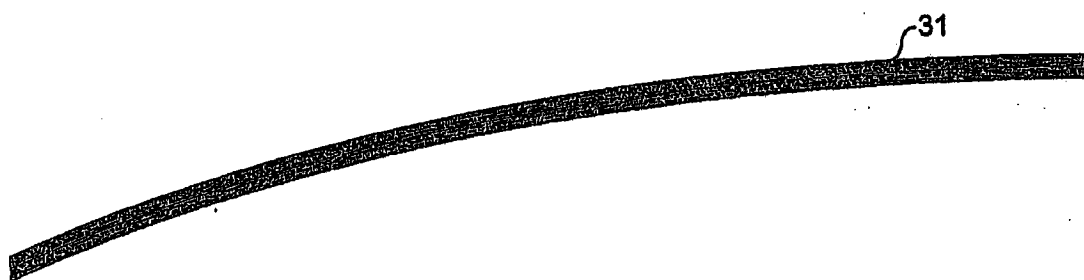


图 22C

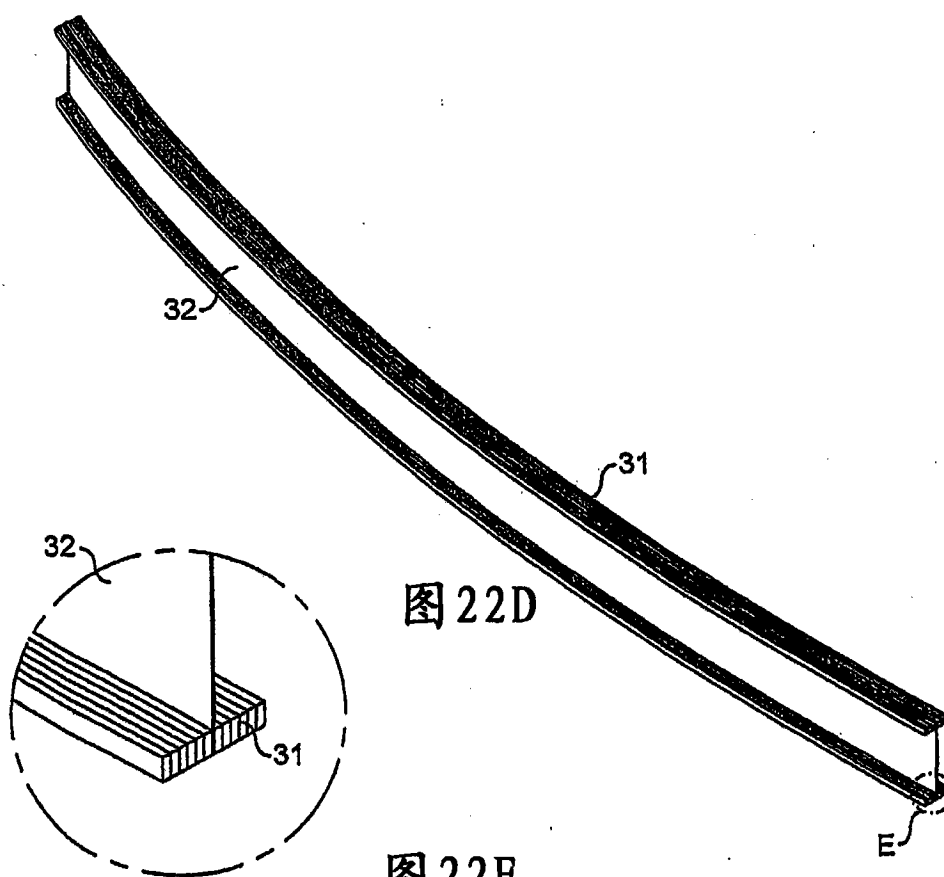
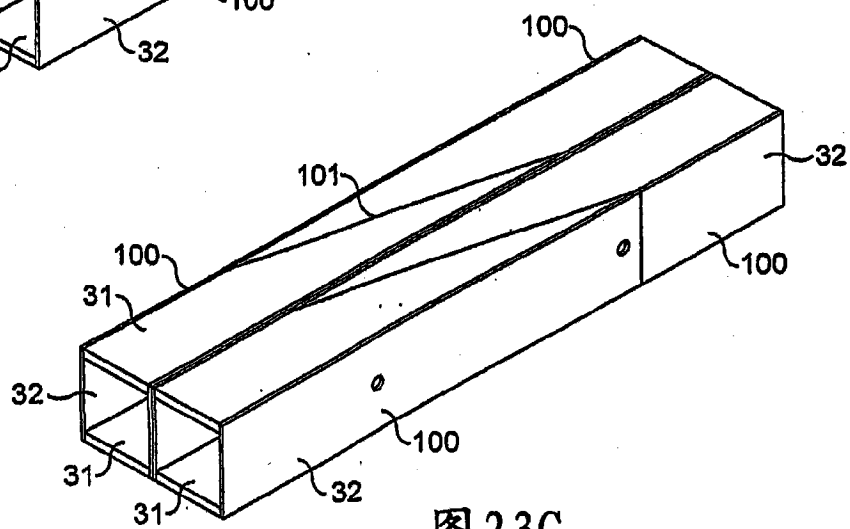
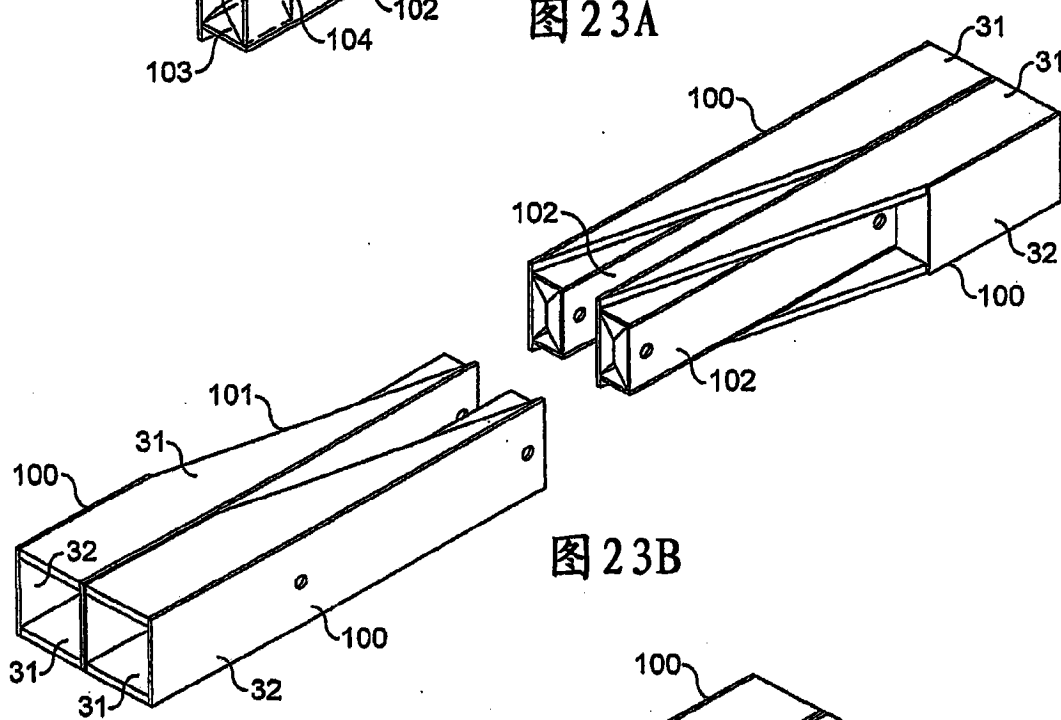
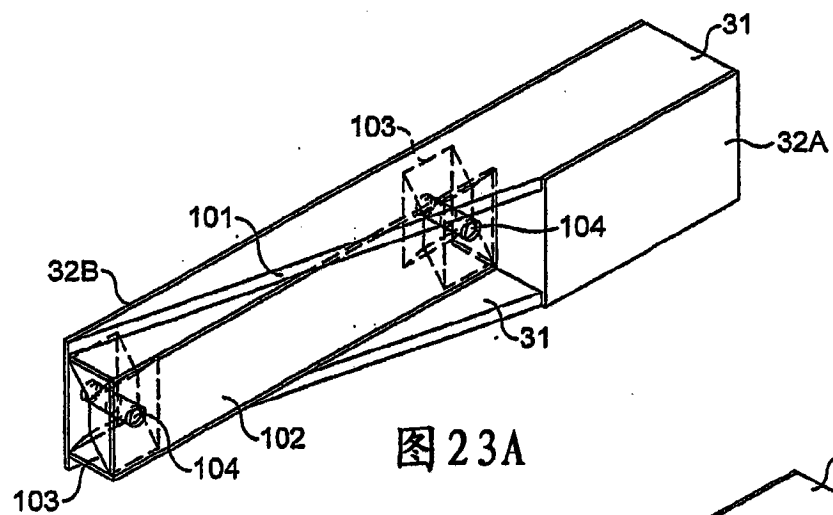


图 22D

图 22E



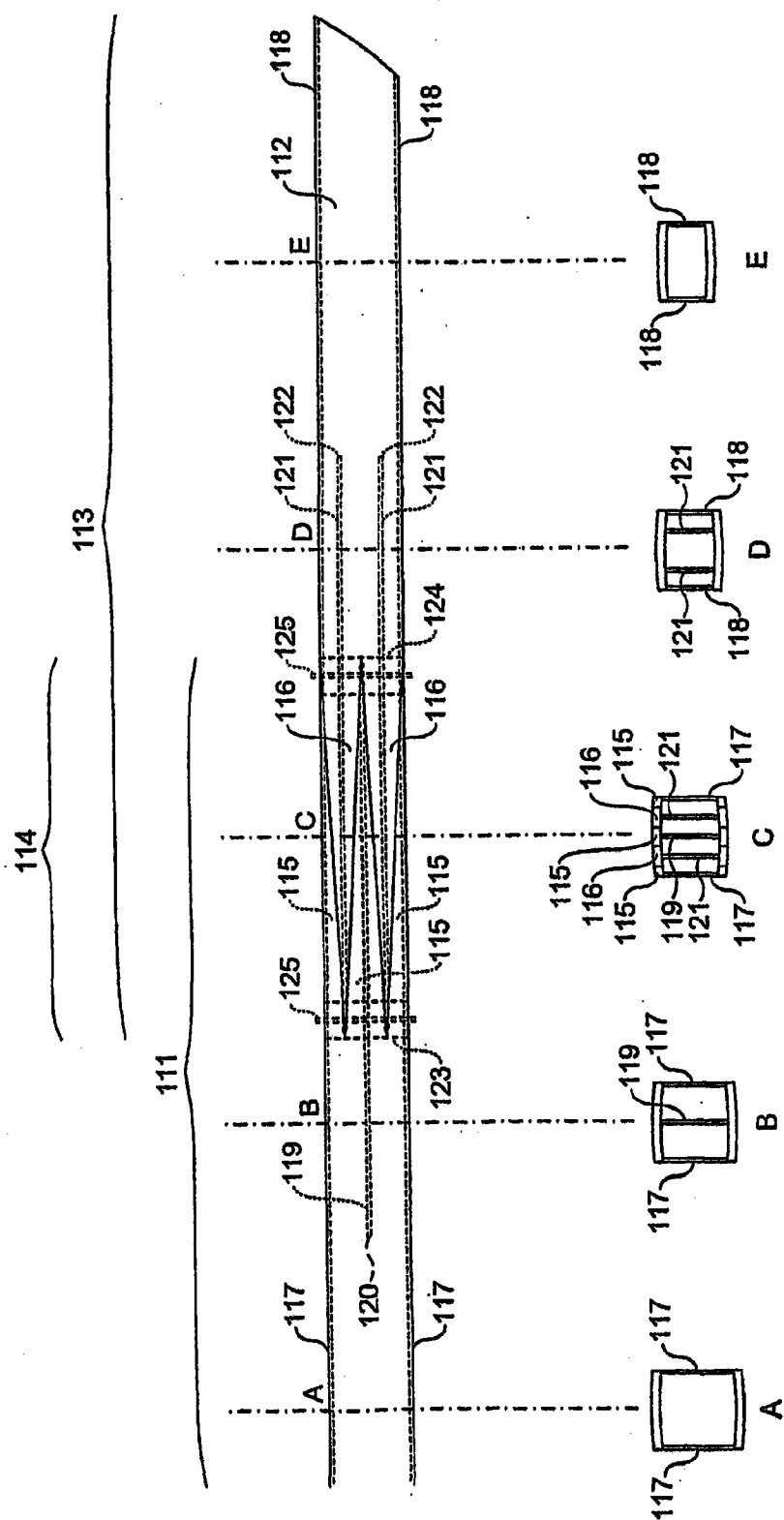


图 24

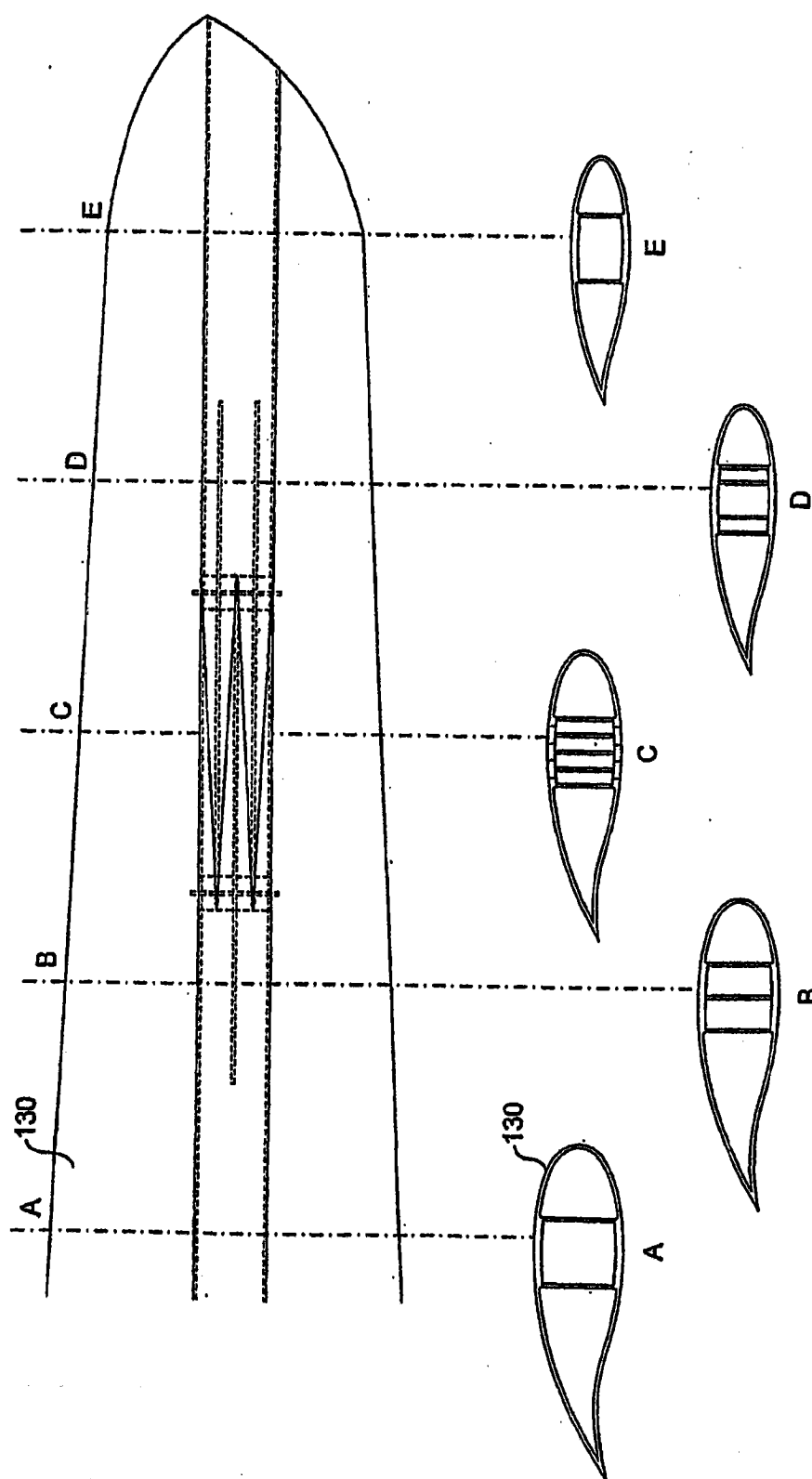


图 25