(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 101801651 B
(45)授权公告日 2014.05.07

(21)申请号 200880022784.0
(22)申请日 2008.06.27
(30)优先权数据
PA200700947 2007.06.29 DK
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2009.12.29
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/DK2008/000245 2008.06.27
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2009/003477 EN 2009.01.08
(73)专利权人 LM玻璃纤维制品有限公司
地址 丹麦伦纳斯考
(72)发明人 T·米克尔森 M·斯特奇
(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 徐厚才 韦欣华
(51)Int.Cl.
B29C 70/44(2006.01)
B29C 70/54(2006.01)
(56)对比文件
US 4942013 ,1990.07.17, 说明书第12栏第32行-第13栏第50行,图10,图10A.
US 2005/0031720 A1,2005.02.10, 全文.
WO 2006/058540 A1,2006.06.08, 说明书第6页第15行-第7页第25行,附图1.
审查员 王燕

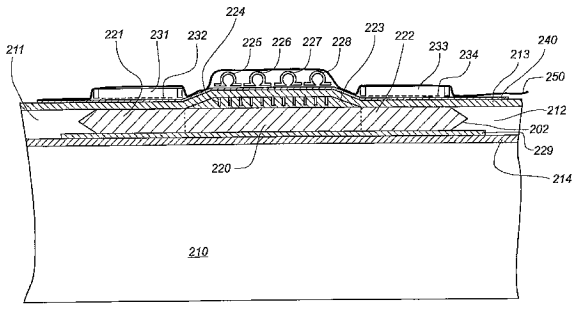
权利要求书2页 说明书12页 附图7页

(54)发明名称

用于制造复合材料结构的方法和复合材料结构

(57)摘要

本发明描述了用于制造复合材料结构的方法和由所述方法得到的复合材料结构。该方法包括以下步骤:a)提供包括刚性模具部件和柔性真空袋的模具,b)在所述模具部件中设置纤维插入物,所述纤维插入物包括多个纤维层且,在被置于所述模具部件中时,具有上表面和下表面以及第一侧和第二侧,所述纤维插入物包括位于所述第一侧的第一区和位于所述第二侧的第二区,所述第一区和第二区被中间区隔开,c)在所述纤维插入物的所述中间区之上设置上分配介质,所述分配介质包括用于沿着该上分配介质分配树脂的树脂分配网络,d)在所述上分配介质之上设置一些树脂入口通道,用于向所述树脂分配网络提供液态树脂,e)设置与所述纤维插入物的第一区至少部分重叠的第一真空出口,以及与所述纤维插入物的第二区至少部分重叠的第二出口,f)在所述模具部件之上设置所述真空袋,由此将所述真空袋密封到所述模具部件以限定模腔,g)排空所述模腔,h)将未固化流体树脂的源与所述树脂入口通道连接以便向所述树脂分配网络供给未固化树脂,以用未固化树脂填充所述模腔和浸渍至少所述纤维插入物和所述上分配介质,和i)使所述树脂固化以形成所述复合材料结构。



CN 101801651 B

1. 通过真空辅助的树脂传递模塑来制造包含纤维增强材料的复合材料结构的方法，其中所述纤维增强材料被液态树脂浸渍，特征在于该方法包括以下步骤：

a) 提供包括刚性模具部件和柔性真空袋的模具，

b) 在所述模具部件中设置纤维插入物，所述纤维插入物包括多个纤维层且，在被置于所述模具部件中时，具有上表面和下表面以及第一侧和第二侧，所述纤维插入物包括位于所述第一侧的第一区和位于所述第二侧的第二区，所述第一区和第二区被中间区隔开，

c) 在所述纤维插入物的所述中间区之上设置上分配介质，所述上分配介质包括用于沿着该上分配介质分配树脂的树脂分配网络，

d) 在所述上分配介质之上设置一些树脂入口通道，用于向所述树脂分配网络提供液态树脂，

e) 设置与所述纤维插入物的第一区至少部分重叠的第一真空出口，以及与所述纤维插入物的第二区至少部分重叠的第二出口，

f) 在所述模具部件之上设置所述真空袋，由此将所述真空袋密封到所述模具部件以限定出模腔，

g) 排空所述模腔，

h) 将未固化流体树脂的源与所述树脂入口通道连接以便向所述树脂分配网络供给未固化树脂，以用未固化树脂填充所述模腔和浸渍至少所述纤维插入物和所述上分配介质，和

i) 使所述树脂固化以形成所述复合材料结构。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中在所述纤维插入物之下另外提供下分配介质，下分配介质与所述第一区和第二区至少部分重叠。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述上分配介质被成形为载荷分配板状元件。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其中所述上分配介质由轻质的基本上刚性的材料制成。

5. 根据权利要求 3 或 4 所述的方法，其中所述上分配介质，当被设置于所述纤维插入物之上时，包括上表面和下表面，在所述分配介质的上表面中形成有一些第一沟槽和在所述分配介质的下表面中形成有一些第二沟槽。

6. 根据权利要求 3 或 4 所述的方法，其中所述载荷分配板状元件包括第一侧和第二侧，且其中所述分配介质朝向所述第一侧和 / 或第二侧是锥形的。

7. 根据权利要求 3 或 4 所述的方法，其中所述纤维插入物具有第一宽度而所述载荷分配板状元件具有第二宽度，且其中所述第二宽度与第一宽度之比为 20-60％。

8. 根据权利要求 1-4 中任一项所述的方法，其中在步骤 b) 之前在所述模具部件中设置多个纤维层。

9. 根据权利要求 1-4 中任一项所述的方法，其中在步骤 c) 和 d) 之间在所述模具部件中设置多个纤维层，所述多个纤维层限定出所述复合材料结构的内部。

10. 根据权利要求 1-4 中任一项所述的方法，其中所述纤维插入物构成主层压体，其在用于风力涡轮机叶片的叶片半壳中是纵向延伸的增强部件。

11. 根据权利要求 1-4 中任一项所述的方法，其中邻近所述纤维插入物的第一侧和邻近所述纤维插入物的第二侧额外提供芯材料。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，其中在所述芯材料之上设置一或多个额外的树脂入口通道。

13. 根据权利要求 12 所述的方法，其中首先通过在所述上分配介质之上的树脂入口通道供应树脂达预定的时间，尔后通过在所述芯材料之上的树脂入口通道提供所述树脂。

14. 利用权利要求 1-13 中任意一项所述的方法获得的复合材料结构。

15. 具有纵向和横向的复合材料结构，其中所述复合材料结构包括 ：

- 具有多个纤维层并具有第一表面和第二表面以及第一侧和第二侧的纵向延伸的纤维插入物 (202)，纤维插入物 (202) 包括位于所述第一侧的第一区 (221) 和位于所述第二侧的第二区 (222)，所述第一区 (221) 和第二区 (222) 被中间区 (220) 隔开，和

- 邻近所述纤维插入物的中间区并在其上设置的分配介质 (223)，该分配介质包括树脂分配网络，并且所述分配介质 (223) 被形成为载荷分配板状元件，和其中

- 至少所述树脂分配网络和所述纤维插入物 (202) 被固化的树脂浸渍。

16. 根据权利要求 15 所述的复合材料结构，其中所述结构额外包括位于所述纤维插入物的第一侧的第一芯材料 (211) 和位于所述纤维插入物的第二侧的第二芯材料 (212)。

17. 根据权利要求 15 或 16 所述的复合材料结构，其中所述结构额外包括位于所述复合材料结构第一表面的一或多个纤维层 (214) 和位于所述复合材料结构第二表面的一或多个纤维层 (213)。

用于制造复合材料结构的方法和复合材料结构

技术领域

[0001] 本发明涉及通过真空辅助的树脂传递模塑制造包含纤维增强材料的复合材料结构的方法，其中所述纤维增强材料被液态树脂浸渍。此外，本发明涉及通过所述方法获得的复合材料结构。

背景技术

[0002] 因此本发明涉及纤维复合材料结构的制造方法和通过 VARTM（真空辅助的树脂传递模塑）获得的复合材料结构，其中液态聚合物（又称作树脂）被填充到其中事先已插入了纤维材料的模腔中，在所述模腔中产生真空因而吸入所述聚合物。所述聚合物可以为热固性塑料或热塑性塑料。

[0003] 真空灌注或 VARTM 是用于模制纤维复合材料模制件的工艺，其中均匀分布的纤维被层置在模具部件之一中，所述纤维为粗纱即纤维带的束、粗纱带或垫，其中所述垫是由单根的纤维制成的毡垫 (felt mats) 或由纤维粗纱制成的编织垫。第二模具部件通常由弹性的真空袋 (vacuum bag) 制成，并被随后置于所述纤维材料之上。通过在所述模具部件的内侧与所述真空袋之间的模腔中产生真空，通常为完全真空 (total vacuum) 的 80-95％，可将液态聚合物吸入并填充到其中含有所述纤维材料的所述模腔中。在所述真空袋与纤维材料之间使用了所谓的分配层或分配管（又称作入口通道），以获得尽可能充分和有效的聚合物分配。在大多数情况下施加的聚合物为聚酯或环氧树脂，所述纤维增强大多是基于玻璃纤维或碳纤维。

[0004] 在填充模具的过程中，通过模腔中的真空出口产生真空，借此将液态聚合物经由所述入口通道吸入模腔中以填充所述模腔，就此而言所述真空应被理解为低压或负压。从所述入口通道，随着流动前沿移向所述真空通道，由于所述负压聚合物沿各个方向分散在模腔内。因此，为获得模腔的完全填充，最佳地设置入口通道和真空通道非常重要。然而，要保证聚合物在整个模腔内的完全分布通常是困难的，并由此这通常导致所谓的干斑，即纤维材料未被树脂充分浸渍的区域。因此，干斑是这样的区域，在此处纤维材料未被浸渍，并且此处可能存在气眼 (airpockets)，它们很难或不可能通过控制真空压力和可能地入口端超压来除去。对于真空灌注，采用刚性模具部件和真空袋形式的弹性模具部件，可以在填充模具的过程之后通过例如在相应的位置刺穿所述袋和通过例如用注射器针头抽出空气来修复干斑。可任选地在所述相应位置注入液态聚合物，并且这例如也可用注射器针头来完成。这是一个非常耗时且费力的过程。在大模具部件的情形下，工作人员必须站在所述真空袋上。这是不希望的，特别是在聚合物尚未硬化时，因为这会导致插入的纤维材料的变形和由此导致结构的局部削弱，这可能导致例如弯曲效应 (buckling effects)。

[0005] 专利文献公开了使用半透膜的例子，其增大了真空起作用的区域，并由此减少了上述问题。就此而言术语半透膜是指能透过气体但不能透过液态聚合物的膜。由此，如果遍布纤维插入物设置半透膜，则可以更容易地除去或完全防止气眼。

[0006] 一般地，所述复合材料结构包括覆盖有纤维增强材料，例如一或多个纤维增强聚

合物层的芯材料。所述芯材料可用作这些层之间的隔离物以形成夹层结构，并且为了降低复合材料结构的重量其通常由刚性的轻质材料制成。在浸渍过程中为保证液态树脂的有效分配，所述芯材料可以提供有树脂分配网络，例如通过在芯材料的表面中提供通道或沟槽。EP 0831987 和 EP 01304211 分别公开了其中使用了这种芯材料的方法和复合材料结构。

[0007] 例如，由于随着时间的推移风力涡轮机 (wind turbine) 的叶片已经变得越来越大，并且现在可能会超过 60 米长，所以对于制造这种叶片由于更多的纤维材料必须要用聚合物浸渍，浸渍时间变长了。另外，由于大型壳元件如叶片的浸渍需要控制流动前沿来避免干斑，所以灌注过程变得更加复杂，其中所述控制可例如包括与时间相关的入口通道和真空通道控制。这增加了吸入或注入聚合物所需的时间。因而所述聚合物必须更长时间地保持液态，通常也导致固化时间的增加。

[0008] WO2007/098769 记述了一种优化复合材料结构制造工艺的方法。

[0009] 本发明的一个目的在于提供通过真空灌注制造纤维复合材料的壳元件的新的且经改进的方法。

发明内容

[0010] 根据本发明的第一方面，本发明的目的是通过包括以下步骤的方法达到的：

[0011] a) 提供包括刚性模具部件和柔性真空袋的模具，

[0012] b) 在模具部件中设置纤维插入物，所述纤维插入物包括多个纤维层且，在被置于模具部件中时，具有上表面和下表面以及第一侧和第二侧，所述纤维插入物包括位于第一侧的第一区和位于第二侧的第二区，第一区和第二区被中间区隔开，

[0013] c) 在所述纤维插入物的中间区之上设置上分配介质 (upperdistribution medium)，所述分配介质包括用于沿着该上分配介质分配树脂的树脂分配网络，

[0014] d) 在所述上分配介质之上设置一些树脂入口通道，用于向所述树脂分配网络提供液态树脂，

[0015] e) 设置与所述纤维插入物的第一区至少部分重叠的第一真空出口，以及与所述纤维插入物的第二区至少部分重叠的第二出口，

[0016] f) 在所述模具部件之上设置所述真空袋，由此将所述真空袋密封到所述模具部件以限定出模腔，

[0017] g) 排空 (eVacuating) 所述模腔，

[0018] h) 将未固化流体树脂的源与所述树脂入口通道连接以便向所述树脂分配网络供给未固化树脂，以用未固化树脂填充所述模腔和浸渍至少所述纤维插入物和上分配介质，和

[0019] i) 使所述树脂固化以形成所述复合材料结构。

[0020] 术语″分配介质″或″分配层″应理解为层，其与所述纤维插入物相比允许更高的液态聚合物流速。所述树脂分配网络可以通过是由多孔材料制成或至少对于液态树脂是高渗透性的来提供。所述上分配介质保证了沿着所述中间区之上的所述纤维插入物树脂被快速地分配，由此保证了在浸渍以及向真空出口流动过程中宽的树脂流动前沿被分配穿过所述纤维插入物的中间区。

[0021] 所述居中设置的上分配层和所述真空出口的组合确保了用于完全浸渍纤维插入

物的总时间相对于已知技术得以缩短。这些年来复合材料结构如风力涡轮机叶片变得越来越长，目前某些风力涡轮机叶片已经达到了60米乃至更长（设想了100米或更长的叶片）。因此，优化这种叶片的制造已经变得越来越重要。甚至叶片制造的不同阶段所需时间量的小的减少，都可以对制造叶片是需要例如三个或四个工作班次产生影响。因此，甚至各个生产阶段所需时间量的小的缩短也能显著减少必要的工时并由此降低总体生产成本。

[0022] 通常，所述排空步骤将真空水平降至80-95％真空，即低压或负压。在液态树脂注入后，所述真空可能会稍微减小。优选地，借助于至少所述第一和第二真空出口排空所述成型结构。

[0023] 根据所述方法的第一实施方案，在所述纤维插入物之下提供了下分配介质，该下纤维层与所述第一区和第二区至少部分重叠。由于所述流动前沿被吸入第一区和第二区之下，所以所述下分配介质确保了总浸渍时间可以得到进一步缩减并进一步降低了形成气眼的可能性。由此，所述液态树脂的流动前沿首先向下传播穿过所述纤维插入物的中间区。当所述流动前沿到达所述下分配介质时，所述流动前沿被吸入到所述真空出口之下，并且所述流动前沿随后分别向上移动穿过第一区和第二区。在一个有利的实施方案中，所述下分配介质基本上与整个所述纤维插入物重叠并且甚至可以延伸到所述纤维插入物之外。

[0024] 根据所述方法的另一实施方案，所述上分配介质被形成为载荷分配板状元件。优选地，所述板状元件在所述纤维插入物中间区的上方在中央纵向地延伸。

[0025] 可变为最终的复合材料结构的一部分的所述板状分配介质减轻了，在排空和浸渍过程中当所述真空袋将所述入口通道压向所述纤维插入物或纤维层时，所述树脂入口通道通常用以影响所述纤维层压体的载荷或力。因为所述力被施加在所述板状分配介质底表面上由此施加在大得多的面积上，所以载荷减小。从而，避免了在复合材料结构的随后使用中可能导致弯曲效应的应力线或应力区的形成。另外，优选地所述板状分配介质变为复合材料结构的一部分，因为所述分配介质的去除同样会导致形成压痕并由此造成强度降低的区域。

[0026] 优选地，所述板状元件基本上是刚性的以在该元件的整个下表面上均衡所述压力。根据又一实施方案，所述上分配介质由轻质的基本上刚性的材料如轻木或泡沫聚合物制成。不过，所述上分配介质不必一定是刚性的。重要的是它将压力均衡分布到介质的下表面上和在流动前沿向下传播穿过中间区之前沿整个介质迅速分配树脂。因此，只要其将压力均衡分布在下表面上，所述上分配介质也可以是轻微弹性的。

[0027] 根据一个有利的实施方案，所述上分配介质，当被设置于所述纤维插入物之上时，包括上表面和下表面，在所述分配介质的上表面中形成有一些第一沟槽和在所述分配介质的下表面中形成有一些第二沟槽。

[0028] 上沟槽通常沿最终的复合材料结构或等同地所述板状分配介质的纵向设置，而第二沟槽排列在所述复合材料结构的横向方向上。由此，这些沟槽构成树脂分配网络的至少一部分。第一沟槽用于沿纤维插入物的整个纵向分配液态树脂和第二沟槽用于将液态树脂分配到所述中间区的整个宽度上。

[0029] 所述板状分配介质可以具备一些从所述上表面延伸到下表面的通孔以能够从所述上表面向下表面提供液态树脂。

[0030] 根据另一有利实施方案，所述板状分配介质包括第一侧和第二侧，其中所述分配

介质朝向所述第一侧和 / 或第二侧上是锥形的。由此，保证了在具有不同强度的不同材料之间获得逐渐过渡，从而使形成应力线或应力区的可能性最小化并由此还减小最终的复合材料结构产生弯曲效应的可能性。

[0031] 在本发明的一个实施方案中，所述纤维插入物具有第一宽度而所述板状分配介质具有第二宽度，其中所述第二宽度与第一宽度之比值为 15-60％，或 17-55％，或 25-50％。由此，向下传播穿过纤维插入物的所述流动前沿同样具有与所述比值区间相对应的宽度。为优化实现纤维插入物的完全浸渍的总时间，应选择精确的比值。所述比值通常由所述上分配介质的下侧的宽度和所述纤维插入物的上侧的宽度限定。

[0032] 在另一实施方案中，在步骤 b) 之前在模具部件中设置多个纤维层，优选地还设置限定出复合材料结构的外表面的凝胶涂层。另外，可以向模具部件的内表面施加蜡质物质，以防复合材料结构粘在所述表面上。

[0033] 在又一实施方案中，在步骤 c) 和 d) 之间在模腔中设置多个纤维层，所述多个纤维层限定出复合材料结构的内部。

[0034] 根据一个实施方案，所述第一真空出口和第二真空出口分别由第一真空通道和第二真空通道形成。所述真空通道可以邻近所述上分配层设置，并优选地使所述通道分别与所述纤维插入物的整个第一区和第二区基本上重叠。

[0035] 根据另一实施方案，所述纤维插入物构成主层压体，其在用于风力涡轮机叶片的叶片半壳中是纵向延伸的增强部件。由此，所述上分配介质和所述真空通道也在所述纵向上延伸。

[0036] 根据一个实施方案，所述纤维插入物的厚度为 5-100mm、7-80mm 或 10-50mm。根据一个有利实施方案，所述纤维插入物的宽度为 50-2000mm，100-1750mm 或 150-1500mm。所述宽度和厚度在壳部件的纵向上可以不同。

[0037] 所述上分配介质的宽度在半壳部件的纵向上也可以不同。通常，所述纤维插入物和所述上分配介质在接近叶根处一般相对较宽并向叶尖方向变窄。

[0038] 所述树脂入口通道可成形为 Ω 轮廓，即在底部具有狭缝的圆形通道。这些通道通常由相对刚性的材料如聚酰胺制成。由此，如果未使用所述板状上分配介质的话，所述 Ω 轮廓的″腿″通常将在所述主层压体或纤维插入物上施加较高的集中压力。

[0039] 根据一个优选实施方案，额外地邻近所述纤维插入物的第一侧和邻近所述纤维插入物的第二侧提供芯材料。

[0040] 根据一个有利实施方案，在所述芯材料上设置一或多个额外的树脂入口通道。即，在所述纤维插入物第一侧的第一芯材料之上设置一或多个树脂入口通道和在所述纤维插入物第二侧的第二芯材料之上设置一或多个树脂入口通道。这些树脂入口通道也可以成形为 Ω 轮廓。

[0041] 所述芯材料优选地由刚性的轻质材料如轻木或泡沫聚合物制成。通常，使用轻木和泡沫 PVC 的组合，以优化复合材料结构的重量。

[0042] 所述芯材料和 / 或上分配介质可以包括一些在第一表面中形成的第一沟槽，其中所述第一沟槽几乎延伸贯穿所述芯材料或分配介质至第二表面，从而所述第一沟槽的底部与第二表面之间的距离的大小使得所述芯块沿第一沟槽是可挠的。所述芯材料和 / 或上分配介质可以包括一些在第一表面中形成并具有第一高度的第一沟槽，和一些在第二表面中

的并具有第二高度的第二沟槽，所述第一和第二高度之和大于所述芯材料和 / 或上分配介质的厚度，所述第一沟槽和第二沟槽被设置为使得它们彼此交叉。由此，可将液态树脂从所述第一表面分配到第二表面。

[0043] 在本发明的一个实施方案中，首先通过所述上分配介质之上的树脂入口通道供应树脂预定的时间。尔后还通过在所述芯材料之上的树脂入口通道提供所述树脂。这确保了树脂不会过快地传播穿过渗透性比所述纤维插入物高得多的所述芯材料和过快地聚集在设置于所述纤维插入物的第一区和第二区之上的所述真空通道处。

[0044] 此外，可以在模具部件的边缘提供真空通道，以确保在最终的叶片半壳部件前沿和后沿处的芯材料、纤维层和任选的增强部件被树脂浸渍。

[0045] 本发明的目标还通过可利用上述方法获得的复合材料结构来实现。

[0046] 根据一个实施方案，所述复合材料结构具有纵向和横向，且所述复合材料结构包括：

[0047] - 具有多个纤维层并具有第一表面和第二表面以及第一侧和第二侧的纵向延伸的纤维插入物，所述纤维插入物包括位于所述第一侧的第一区和位于所述第二侧的第二区，所述第一区和第二区被中间区隔开，和

[0048] - 邻近所述纤维插入物的中间区设置的分配介质，所述分配介质包括树脂分配网络，和其中

[0049] - 至少所述树脂分配网络和所述纤维插入物被固化的树脂浸渍。

[0050] 由此，所提及的区从所述纤维插入物的第一表面延伸到第二表面。

[0051] 根据一个实施方案，所述复合材料结构额外包括位于所述纤维插入物第一侧的第一芯材料和位于所述纤维插入物第二侧的第二芯材料。根据另一实施方案，所述结构额外包括位于复合材料结构第一表面处的一或多个纤维层和位于复合材料结构第二表面处的一或多个纤维层。这些当然被固化的树脂浸渍。所述第一表面可以限定例如风力涡轮机半壳部件的内表面，而所述第二表面可以限定该风力涡轮机半壳部件的外表面。或者，可以由施加在一个或多个所述纤维层上的凝胶涂层限定所述外表面。所述芯材料中可以具有充满固化的树脂的通道或沟槽。这些树脂填充的通道可以防止复合材料结构的以后的脱层。

附图说明

[0052] 下面参照附图中所示的实施方案对本发明进行详细说明，其中

[0053] 图 1 是风力涡轮机壳部件的俯视示意图，

[0054] 图 2 是模具部件的示意截面，纤维层和芯材料设置在该模具部件中，

[0055] 图 3 是根据本发明的第一芯块的透视示意图，

[0056] 图 4 是沿图 3 中 A-A 线的截面，

[0057] 图 5 是稍微弯曲的图 4 中所示的芯块，

[0058] 图 6 是沿图 3 中 B-B 线的截面，

[0059] 图 7 是根据本发明的第一复合材料结构，

[0060] 图 8 是根据本发明的第二复合材料结构，

[0061] 图 9 是根据本发明的第二芯块的透视示意图，

[0062] 图 10 是用于实施本发明的方法的装置的示意截面，和

[0063] 图 11a-h 是显示通过本发明的方法液态聚合物如何被分配到纤维插入物中的示意截面。

具体实施方式

[0064] 图 1 显示了风力涡轮机叶片壳部件 1 的俯视图。该壳部件包括第一纤维插入物 2，又称作主层压体 (main laminate)，其沿壳部件 1 纵向的至少一部分延伸。所述主层压体 2 充当最终的风力涡轮机叶片的增强部件。

[0065] 所述主层压体 2 从叶根 7 延伸到末梢 8。在此将该主层压体描绘成具有均一的宽度；然而，典型地所述主层压体具有变化的宽度并向着壳部件 1 的末梢 8 方向变窄。对于大的风力涡轮机叶片，如 LM61.5 叶片，所述壳部件可以另外包括第二纤维插入物 3，又称作小主层压体。此外，壳部件 1 可以分别在风力涡轮机叶片壳部件 1 的前沿 4 和后沿 5 处包括增强部件，例如纤维插入物。

[0066] 图 2 显示了模具部件 110 的横截面图，模具部件 110 具有其中设置了一些纤维层、芯部件和增强部件的模腔，这些部件都被包括在最终的风力涡轮机壳部件中。图 2 只用于显示所有这些部件在风力涡轮机壳部件中的相对布置和如何设置树脂入口通道和真空出口的一个例子。所述叶片壳部件包括一或多个用树脂浸渍并任选地用凝胶涂层涂覆的下纤维层 114，其限定壳部件的外表面，和一或多个用树脂浸渍的上纤维层 113，其限定壳部件的内表面。所述一个或多个上纤维层 113 和一个或多个下纤维层 114 被包括多个用树脂浸渍的纤维层的纤维插入物或主层压体 102、第一芯部件 111 和第二芯部件 112 以及位于壳部件的后沿 105 处的第一纤维增强部件 115 和位于壳部件的前沿 106 处的第二纤维增强部件 116 隔开。

[0067] 用于 VARTM 工艺的装置包括一些真空出口，其中第一真空出口 131 和第二真空出口 133 设置在主层压体 102 之上，而第一附加真空出口 160 和第二附加真空出口 165 设置在刚性模具部件 110 的边缘或凸缘处，即分别设置在最终的叶片壳部件的前沿 104 和后沿 105 处。

[0068] 经由一些设置在所述主层压体之上的树脂入口通道 125、126 以及一些设置在第一芯部件 111 之上的第一附加树脂通道 170 和一些设置在第二芯部件 112 之上的第二附加树脂通道 175 提供树脂。

[0069] 在图 2 中，壳部件被绘制成具有均匀厚度。然而，典型地壳部件在主层压体 102 附近最厚，并向着前沿 104 和后沿 105 方向变薄。壳部件在此被描绘成只具有一个主层压体，但是其也可以包括第二或小主层压体，在这种情况下壳部件还包括第三芯部件。

[0070] 图 3 显示了本发明的芯块 (core block)30，其可用于如图 1 或 2 所示的风力涡轮机壳部件的芯部件或用于一般的夹层结构。图 4 和 6 分别显示了沿 A-A 线和 B-B 线的横截面。

[0071] 芯块 30 包括第一表面 35 和第二表面 36。在第一表面 35 中形成有许多基本上平行的第一沟槽 31。芯块 30 通常是设置为使第一沟槽在芯块 30 是其一部分的复合材料结构或夹层结构的纵向上延伸。在芯块的第二表面 36 中形成有许多第二沟槽 32。第二沟槽 32 设置为基本上与第一沟槽 31 呈横向。此外，在芯块的第一表面 35 中形成有一些额外的沟槽 33。它们同样设置为与第一沟槽 31 呈横向。所述额外的沟槽 33 可以如图 3-6 所示

设置在与第二沟槽 32 相同的平面内。但是，这也不是必须的，并且所述沟槽在芯块 30 的纵向上可以互换 (the grooves may be mutually displaced in thelongitudinal direction of the core block 30)。

[0072] 第一沟槽 31 具有第一深度 h_1，第二沟槽 32 具有第二深度 h_2，而芯块 30 的总厚度为 h。从第一沟槽 31 底部到芯块 30 的第二表面 36 的距离用 t 表示（其等于 $h-h_1$）。相邻沟槽之间的距离用 d 表示，各个沟槽的宽度用 w 表示。通常，各个沟槽具有相同的宽度和间距，不过为优化液态树脂的分配这些尺寸可以变化。

[0073] 芯块 30 由刚性的轻质材料如轻木或泡沫聚合物（例如泡沫聚氯乙烯 (PVC)）制成。

[0074] 第一沟槽 31 延伸到几乎贯穿所述块，以致第一沟槽 31 的底部与第二表面 36 之间的距离所构成的厚度 t 使得所述芯块绕沿着第一沟槽 31 在纵向上延伸的轴是可挠或可弯曲的。图 5 显示了一个绕这些轴弯曲的芯块 30 的例子。由此，所述芯块可以按照在其中设置它们的模具部件成形，和在向模腔施以真空时按照模腔的表面成形。

[0075] 另外，第二沟槽 32 可以几乎延伸贯穿所述块，以致第二沟槽 32 的底部与第一表面 36 之间的距离所构成的厚度使得所述芯块绕沿着第二沟槽 32 在横向上延伸的轴是可挠或可弯曲的。

[0076] 图 7 和 8 显示了将这种芯块用于夹层结构的例子。图 7 显示了第一夹层结构，其包括被第一纤维层 45 覆盖的第一芯块 40 和第二芯块 50。所述夹层结构由彼此相邻的第一芯块 40 和第二芯块 50 的侧面表示。但是，所述芯块也可以设置为具有小的用于分配树脂的相互间隔。优选地，各个芯块设置为使得一个芯块的沟槽与另一个芯块的沟槽对准以在浸渍过程中获得有效的树脂分配。

[0077] 芯块 40、50 的沟槽和第一纤维层 45 中填充有固化的树脂，并且所述沟槽中的树脂有助于防止复合材料夹层结构发生脱层。所述夹层结构当然也可以只包括一个芯块或包括三个或更多芯块，并且为获得期望的复合材料结构形状所述块可以具有变化的表面厚度。

[0078] 图 8 显示了第二夹层结构。在此实施方案中，各个芯块被单独的纤维层覆盖。由此，该第二夹层结构包括被第一纤维层 65 覆盖的第一芯块 60 和被第二纤维层 75 覆盖的第二芯块 70。这两个块被另外的纤维层 85 覆盖。

[0079] 在制造大的复合材料结构如图 1 和 2 所示的风力涡轮机壳部件时，芯部件往往包括不同材料的芯块以优化复合材料结构的重量和强度。所述芯部件可以例如包括分别由轻木和泡沫 PVC 制成的芯块。

[0080] 由于，轻木和泡沫 PVC 具有不同的刚性和密度，所以这些芯块的组合可能产生边界，在那里夹层结构的强度在两侧是不同的。这种不连续性可能导致在复合材料结构的使用期间由于应力线或区域而产生的局部薄弱，特别是当所述结构为风力涡轮机叶片时。这种具有不连续强度的区域增大了复合材料结构产生弯曲效应的可能性。因此，形成与不同材料或强度的芯块的边界的芯块通常是锥形的 (tapered)，以获得从一种芯材料到另一种芯材料的渐变过渡。

[0081] 图 9 中显示了具有锥形区 37′ 的这样的芯块 30′。此芯块 30′ 同样包括一些在芯块 30′ 的第一表面 35′ 中形成的基本上平行的第一沟槽 31′。如同图 3 中示出的芯块，该锥形的芯块 30′ 同样包括一些在芯块 30′ 的第二表面中形成的横向设置的第二沟

槽 32′ 。芯块 30′ 另外包括一些在芯块 30′ 的第一表面 35′ 中形成的横向设置的额外的沟槽 33′ 。锥形区 37′ 以角度 α 倾斜。

[0082] 从图 9 看出，第一沟槽 31′ 的高度 (h_1) 和芯块的高度 (h) 可以例如在芯块 30 的横向上变化，而第一沟槽 31′ 的底部与芯块 30′ 的第二表面 36′ 之间的距离 (t) 基本上是恒定的。当然，可能产生小的制造偏差。

[0083] 芯块的沟槽可以例如通过使用 CNC 切割机 (cutter) 或铣床切削来制造。在图 3-9 中，沟槽被绘制成具有方形侧面；然而，其也可以稍微呈锥形以除了图 5 所示的方向外在另一方向上更加可弯曲或可挠。

[0084] 图 10 显示了用于通过真空灌注 (vacuum infusion) 制造风力涡轮机叶片的叶片半壳的模具的横截面。该图显示了固体模具部件 210，其具有与最终的叶片半壳的外侧相匹配的上侧。出于进行说明的原因，所述模具部件 210 的上侧显示为是平的，但是其通常被弯曲成期望的叶片半壳形状。首先，向模具部件 210 的模腔施加蜡质物质，以防止所述半壳粘到所述表面上。接着，在模具部件 210 的内侧上设置所谓的凝胶涂层，所述凝胶涂层以后形成最终的叶片半壳的外侧。在凝胶涂层上设置由许多优选薄的下纤维层 214 构成的纤维材料，在其上设置下分配层 229。在下分配层 229 和纤维层 214 之上设置纤维插入物 202。邻近纤维插入物 202 的第一侧设置充当填充材料或夹层材料的第一芯部件 211，如轻木或 PVC 泡沫，和邻近纤维插入物 202 的第二侧设置第二芯部件 212。

[0085] 纤维插入物 202 充当叶片的增强部件（又称作主层压体）并在叶片壳部件的纵向延伸。纤维插入物 202 包括多个纤维层。纤维插入物 202 包括位于纤维插入物 202 第一侧的第一区 221 和位于纤维插入物 202 第二侧的第二区 222。第一区 221 和第二区 222 在叶片壳部件的横向上被中间区 220 隔开。

[0086] 在纤维插入物 202 的中间区 220 之上设置用于分配液态聚合物的上分配介质 223，其为具有沟槽 224 的板状元件的形式。上分配介质 23 通常又称作顶帽 (top hat)。

[0087] 在顶帽 223、纤维插入物 202 和第一和第二芯部件 211、212 之上设置呈多个优选地薄的上纤维层 213 形式的纤维材料。可借助于用于提供聚合物的装置提供树脂，该装置被设置到模具部件 210 内上纤维层 213 之上，从而其在模具部件 210 的纵向上延伸。所述用于提供聚合物的装置由此包括撕去层或剥离层 240，例如呈有孔的箔的形式，配有第一半透膜 232 的第一真空出口或真空通道 231，配有第二半透膜 234 的第二真空出口或真空通道 233，以及一些树脂入口通道 225-228。

[0088] 顶帽 223 设置为使得其与主层压体 202 的中间区 220 重叠，且第一真空通道 231 和第二真空通道 233 设置为使得它们分别与主层压体 202 的第一区 221 和第二区 222 重叠。

[0089] 下分配层 229 可以例如由多孔芯材料例如轻木或泡沫聚合物制成，具有作为表面中的凹槽形成并在分配层的平面内延伸的通道，通常垂直于叶片的纵向。不过，所述通道也可以相对于叶片纵向呈任何其它可能的角度延伸。或者，下分配层 229 为对液态树脂具有高渗透性的网或纤维垫。下分配层 229 在图 10 中在一个与整个主层压体 202 重叠的实施方案中示出。但是，也可以提供两个不同的分配层，其分别与所述第一区和第二区重叠并且其延伸进主层压体 202 的中间区 220 之下。主要的重点是所述一个或多个下分配层设置为使得它们能够与向下传播穿过中间区 220 和穿过第一芯部件 211 和第二芯部件 212 的液态树脂的流动前沿接触，从而使所述流动前沿被吸入主层压体 202 的第一区 221 和第二区 222

之下。

[0090] 在上面设置了气密的真空袋 250，其与模具部件 210 一起形成模腔或等同的具有内部的成型部件。此外，真空通道，例如呈穿孔真空管的形式，可以设置在模具的凸缘即边缘处。此外，可以在第一芯部件和第二芯部件之上提供一些入口通道（未显示），相当于图 2 所示的实施方案。

[0091] 芯部件 211、212 可以包括图 3-9 中所示的任何芯块或这些块与现有技术的芯块的组合。所述芯块如前所述典型地具有在芯块平面内延伸的在叶片半壳纵向上或与之垂直的通道。所述通道也可以通过将轻木块设置在渗透性的织物或网上来形成。这些通道保证了液态聚合物可以在芯部件平面内快速传播。但是，所述芯部件并不必须是轻木或泡沫 PVC，其可以是具有良好流动性的任何其它材料。其可以例如是松散编织的玻璃纤维垫或具有高渗透性和大容量的类似网状结构。

[0092] 一般地，为了优化叶片壳部件的重量和强度，芯部件 211、212 包括轻木和泡沫 PVC 芯块的组合。

[0093] 在填充模具的过程中，第一和第二真空通道 231、233 以及可能的其它应用的真空通道与真空源连通，而入口通道 225-228 与具有液态聚合物的聚合物源连通。所述真空通道中的真空在模具部件 210 与真空袋 250 之间的整个模腔中产生真空，由此将树脂经入口通道 225-228 吸入模腔中，从而所述聚合物传播穿过和浸渍纤维材料 213、214、202 以及芯部件 211、212。当固化完成后，将真空袋 250 和剥离层 240 连同真空通道 231、232 以及树脂入口通道 225-228 一起除去。

[0094] 对于树脂入口通道 225-228，可以采用本身已知的 Ω- 形轮廓元件或穿孔管。所述真空通道也可以形成为 Ω- 形轮廓元件或穿孔管。如果采用穿孔真空管，则它们可以通过延伸到管中并防止管由于所述真空而扁瘪的螺旋刚性元件进行增强。

[0095] 不过，在真空袋 250 下使用树脂入口通道可能产生问题，因为所述真空袋将会把所述入口通道压向所述纤维层或主层压体 202，这会在这些纤维层或主层压体 202 中留下压痕。在风力涡轮机叶片的随后使用期间，这些压痕可能会导致弯曲效应，这可能意味着昂贵的叶片修复或甚至叶片更换。

[0096] 通过顶帽 223 减少或完全改善了这种问题。顶帽 223 将此压力平衡或均衡到顶帽 223 的整个下表面上，由此防止在主层压体 202 中形成压痕。顶帽 223 向着顶帽 223 的侧面是锥形的以在最终的壳部件的不同材料之间获得渐变过渡；这同样是为了防止形成具有不连续的刚性或强度的边界，由此使发生上述弯曲效应的可能性最小化。为了使顶帽 223 尽可能薄，其通常由轻木制成。不过，其也可以由泡沫聚合物制成。顶帽 223 的沟槽可以具有图 3-9 所示的任何构造。不过，其也可以具有在上表面中形成并在纵向上延伸的第一沟槽和在下表面中形成并在横向上延伸的第二沟槽，所述上下表面通过一些通孔连接。或者，所述沟槽可以形成为等同于图 3-9 中所示芯块的沟槽。

[0097] 虽然在图 10 中未显示，但叶片壳部件的前沿和后沿典型地具有如图 2 所示的纤维材料的边缘增强部件。

[0098] 在填充模具的过程中，液态树脂由于由模具部件 210 和真空袋 250 限定的模腔中的真空而从入口通道 225-228 流入模腔中。由于整个模腔中的真空，所述液态聚合物不仅被吸向叶片壳部件的前沿和后沿而且还被吸入纤维插入物 202 中。

[0099] 图 11a-h 显示了在填充模具的过程中主层压体 202 的纤维材料如何被液态树脂浸渍。在填充模具的过程开始之前，通过第一和第二真空通道 231、232 以及可能的其它真空通道将模腔中的空气排空，其中所述可能的其它真空通道例如可以设置在叶片壳部件的前沿和 / 或后沿处。空气的排空产生真空，其将被理解为模腔中的负压。

[0100] 图 11b 图解显示了填充模具过程的开始，其中入口通道 225-228 充满液态聚合物，由灰色区域表示。在填充模具的过程开始时，液态聚合物被导向顶帽 223，如图 11c 所示其沟槽 224 迅速被树脂充满。之后，如图 11d 所示聚合物慢慢向下扩展穿过主层压体 202，同时液态聚合物产生向下移动穿过中间区 220 的宽流动前沿。与此同时，一些聚合物被分别吸入第一区 221 和第二区 222 中并向第一半透膜 232 和第二半透膜 234 运动。

[0101] 在填充过程开始时，只从顶帽 223 上面的入口通道 225-228 提供树脂预定量的时间，例如 30 分钟。随后，从分别设置在第一芯部件 211 和第二芯部件 212 上的额外的树脂入口通道（未显示）额外提供树脂，由此产生传播穿过这些芯部件的树脂分配网络的流动前沿。这些流动前沿在图 11d 的两侧都有显示。所述额外的树脂入口通道可以设置为等同于图 2 所示实施方案。

[0102] 当如图 11e 所示三个流动前沿到达下分配层 229 时，树脂在这里迅速扩展并因此进入主层压体 202 的第一区 221 和第二区 222 之下。随后，如图 11f 所示，所述流动前沿向上移动穿过第一区 221 和第二区 222 并最终，如图 11g 所示，形成期望的 v 形以确保不出现气眼。在最后，如图 11h 所示整个主层压体 202 都被浸渍，然后开始固化过程。

[0103] 顶帽 223 确保了液态聚合物在向下穿过中间区 220 的过程中以较宽的流动前沿在主层压体 202 中传播，和下分配层 229 确保了在向上穿过第一区 221 和第二区 222 过程中宽的流动前沿。由于所述主层压体的宽度往往是主层压体厚度大小的许多倍，所以保证了聚合物的流动前沿将移动可能的最短距离，由此可以缩短浸渍时间。由于所述树脂只需要保持为液态较短的时间，所以也可以缩短随后的固化时间。由此，可以显著缩短制造例如风力涡轮机叶片的总时间，这意味着与以前使用的方法相比可将总的生产时间缩短到更少的工作班次。由此，可以显著降低总的生产成本。

[0104] 为保证聚合物流动前沿在主层压体 202 内只缓慢地横向移动向第一区 221 和第二区 222，主层压体 202 的材料可构造成其在穿过纤维层方向上比在纤维层平面内具有更高的渗透性。

[0105] 为保证在浸渍过程中不出现气眼，此外使主层压体 202 的厚度与中间区 220 的宽度相互合适地设置大小是重要的。

[0106] 入口通道 225-228 的尺寸可以设置为使得大量的液态聚合物可以流过它们。在填充模具的过程的最后，可以在关闭真空源之前关闭聚合物源，由此入口通道 7、8 可以更容易地清空液态聚合物。这减少了聚合物消耗。

[0107] 真空通道 231、233 可以由半透膜 232、234 和织物 (cloth) 形成，其中可以设置呈三维网等形式的间隔材料 (spacer material) 以确保在填充模具过程中（在该过程中在真空通道 231、233 中建立起真空）所述膜 232、234 和织物不会扁瘪。

实施例

[0108] 根据 LM61.5 风力涡轮机叶片的给定原型，主层压体的宽度在叶片纵向上是不同

的。所述主层压体在最宽和最厚的部分分别是约 850mm 宽和约 42mm 厚。顶帽的宽度在叶片纵向上也是变化的，在最宽部分是约 360-370mm 而在最窄部分为 150mm。

[0109] 所述芯块的尺寸如下：w = 1-1.2mm，d = 30mm，h_2 = 2.5+/-0.5mm，α = 14 度，和 t = 1mm。所述芯块具有变化的厚度 h，由此第一沟槽的高度也是变化的。第一沟槽与第二沟槽之间的重叠等于 h_2 减去 t，因此为 1.5-2.0mm。

[0110] 根据优选实施方案描述了实例。不过，本发明并不仅限于这些实施方案。例如，为了获得浸渍过程中液态树脂的有效分配与随后所述固化的树脂的重量分布之间的最佳平衡，应当设定单独沟槽的宽度和高度以及沟槽之间的距离。还清楚的是，为了以期望的速度从第一表面向第二表面提供液态树脂，应当优化第一沟槽与第二沟槽之间的重叠。由此，该重叠既不应太小也不应太大。

[0111] 附图标记列表

[0112] 1 风力涡轮机叶片壳部件

[0113] 2,102,202 主层压体 / 纤维插入物

[0114] 3 小主层压体 / 小 纤维插入物

[0115] 4,104 前沿

[0116] 5,105 后沿

[0117] 7 叶根

[0118] 8 末梢

[0119] 30 芯块

[0120] 31 第一沟槽

[0121] 32 第二沟槽

[0122] 33 额外的沟槽

[0123] 35 第一表面

[0124] 36 第二表面

[0125] 37′ 锥形区

[0126] 40 第一芯块

[0127] 45 第一纤维层

[0128] 50 第二芯块

[0129] 60 第一芯块

[0130] 65 第一纤维层

[0131] 70 第二芯块

[0132] 75 第二纤维层

[0133] 85 额外的纤维层

[0134] 110,210 模具部件

[0135] 111,211 第一芯部件

[0136] 112,212 第二芯部件

[0137] 113,213 一个或多个上纤维层

[0138] 114,214 一个或多个下纤维层

[0139] 115 第一纤维增强部件

[0140] 116 第二纤维增强部件

[0141] 125-126 树脂入口通道

[0142] 150,250 真空袋

[0143] 160 第一额外真空出口

[0144] 165 第二额外真空出口

[0145] 170 一个或多个第一额外树脂入口通道

[0146] 175 一个或多个第二额外树脂入口通道

[0147] 220 中间区

[0148] 221 第一区

[0149] 222 第二区

[0150] 223 板状分配介质 / 顶帽

[0151] 224 沟槽

[0152] 225-228 树脂入口通道

[0153] 229 下分配层

[0154] 231 第一真空出口

[0155] 232 第一半透膜

[0156] 233 第二真空出口

[0157] 234 第二半透膜

[0158] 240 撕去层 / 有孔箔 / 剥离层

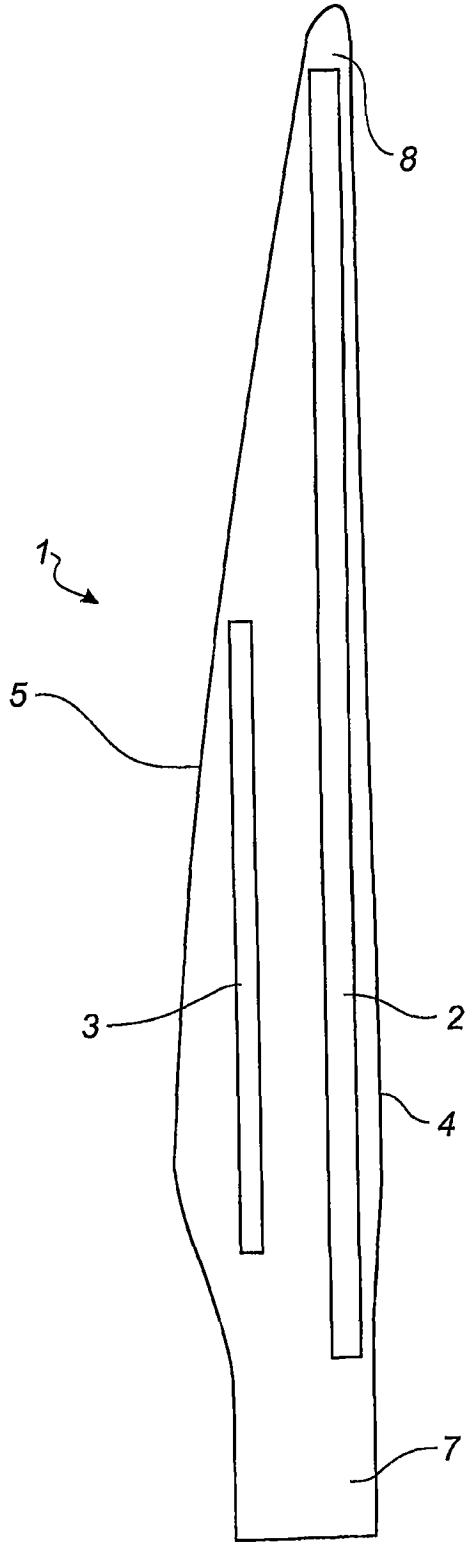

1
2
3
4
5
7
8

图 1

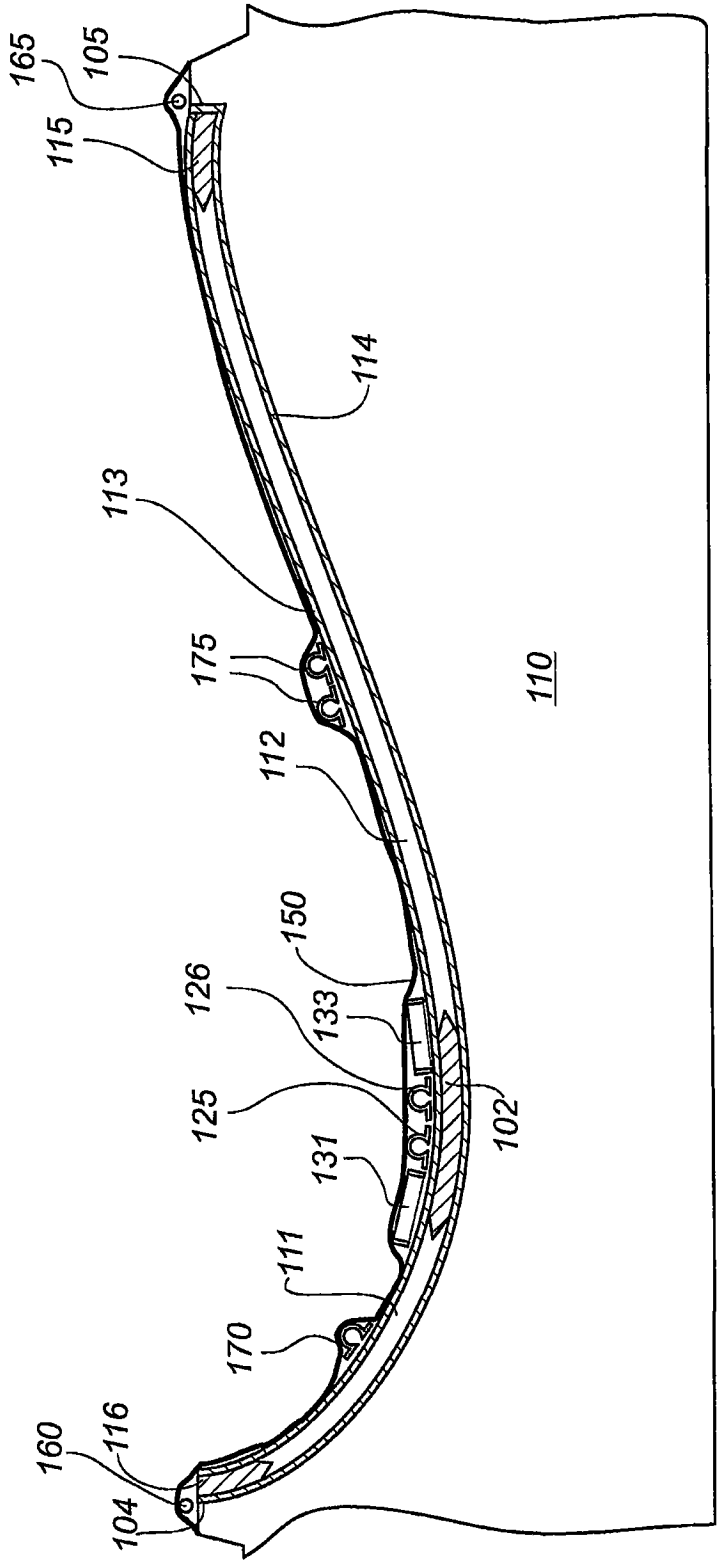

165
105
115
114
113
175
110
112
150
126
133
125
102
131
111
170
160
116
104

图 2

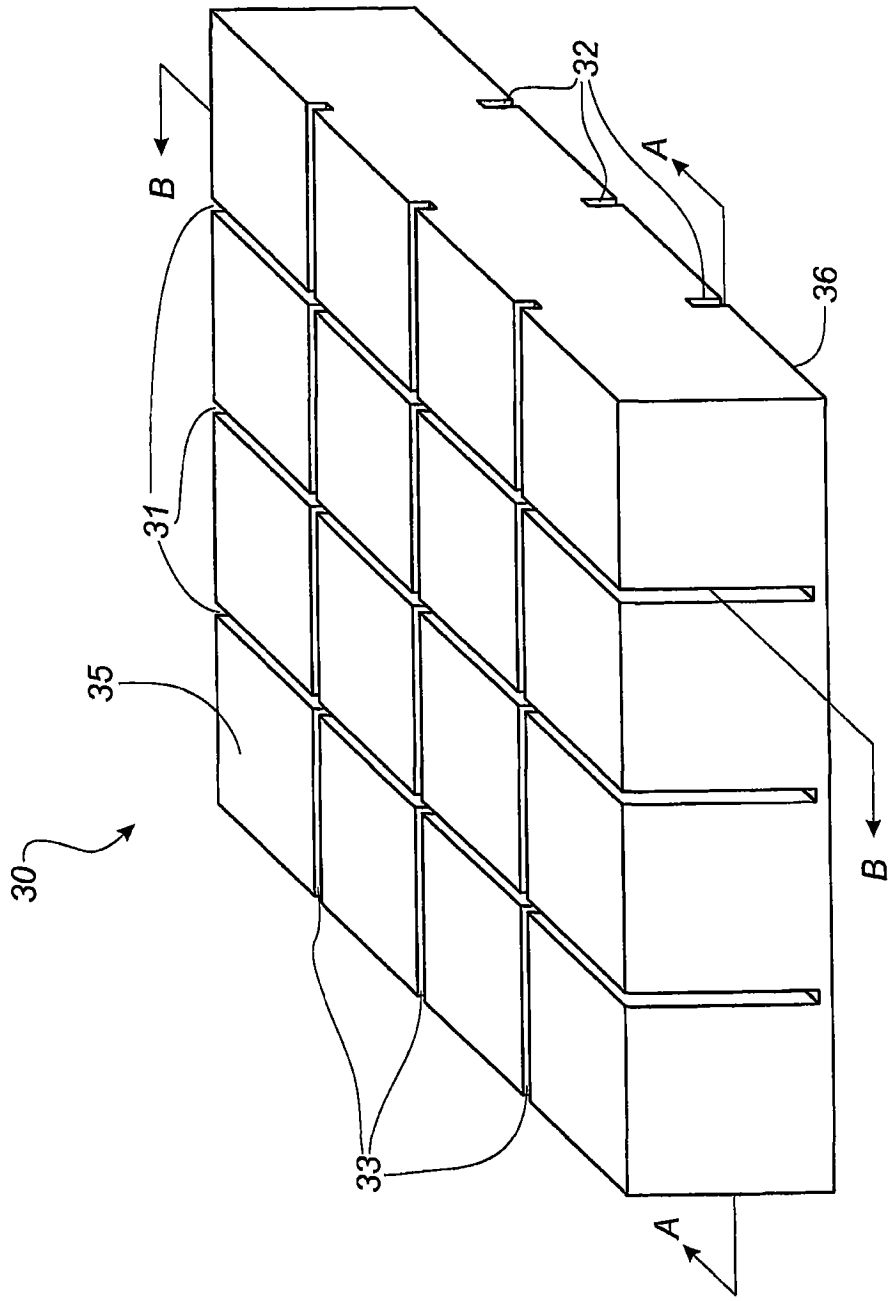


图 3

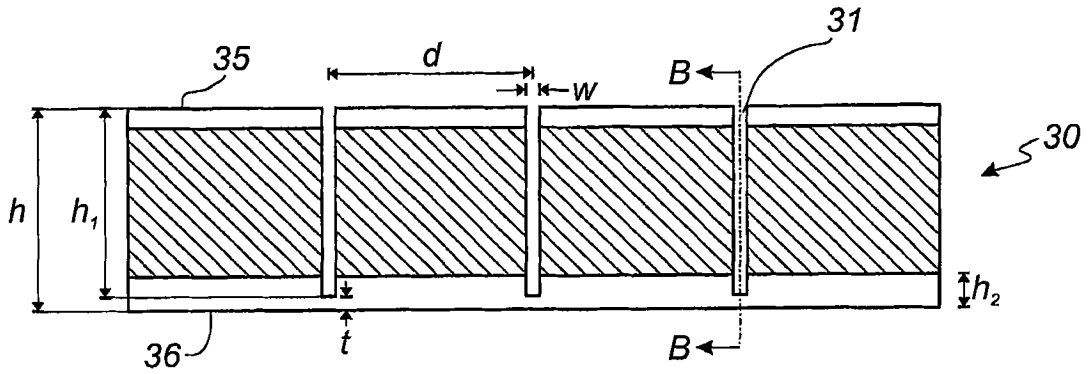


图 4

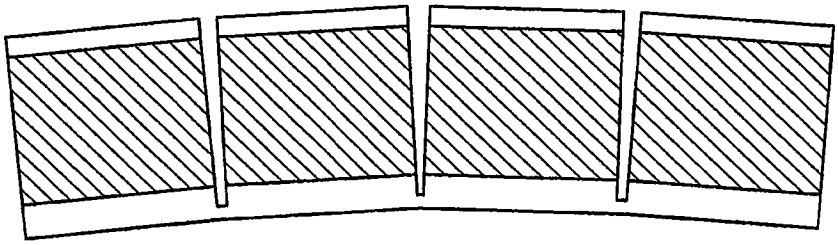


图 5

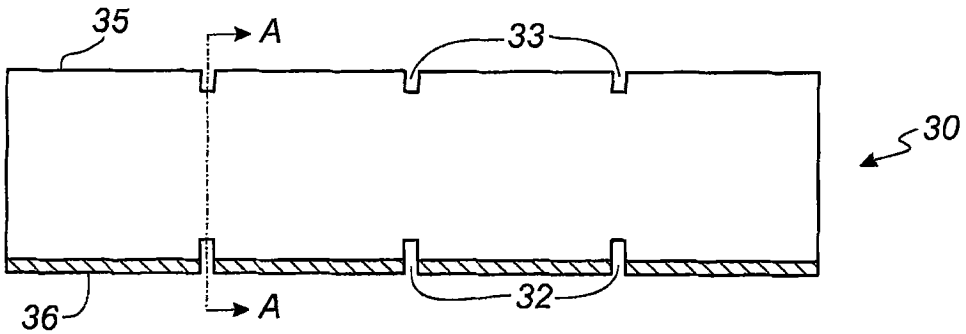


图 6

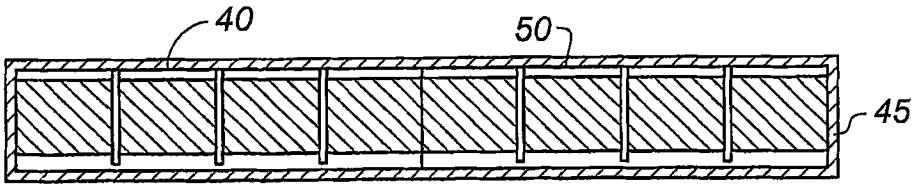


图 7

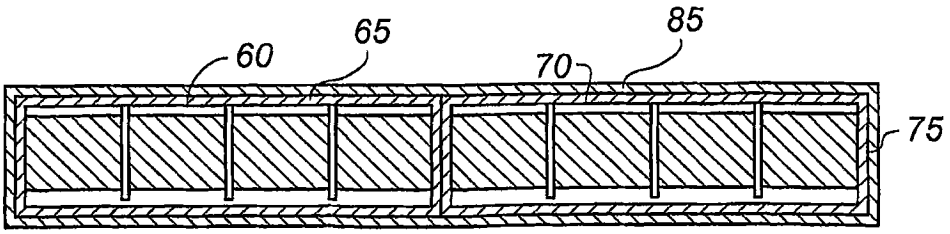


图 8

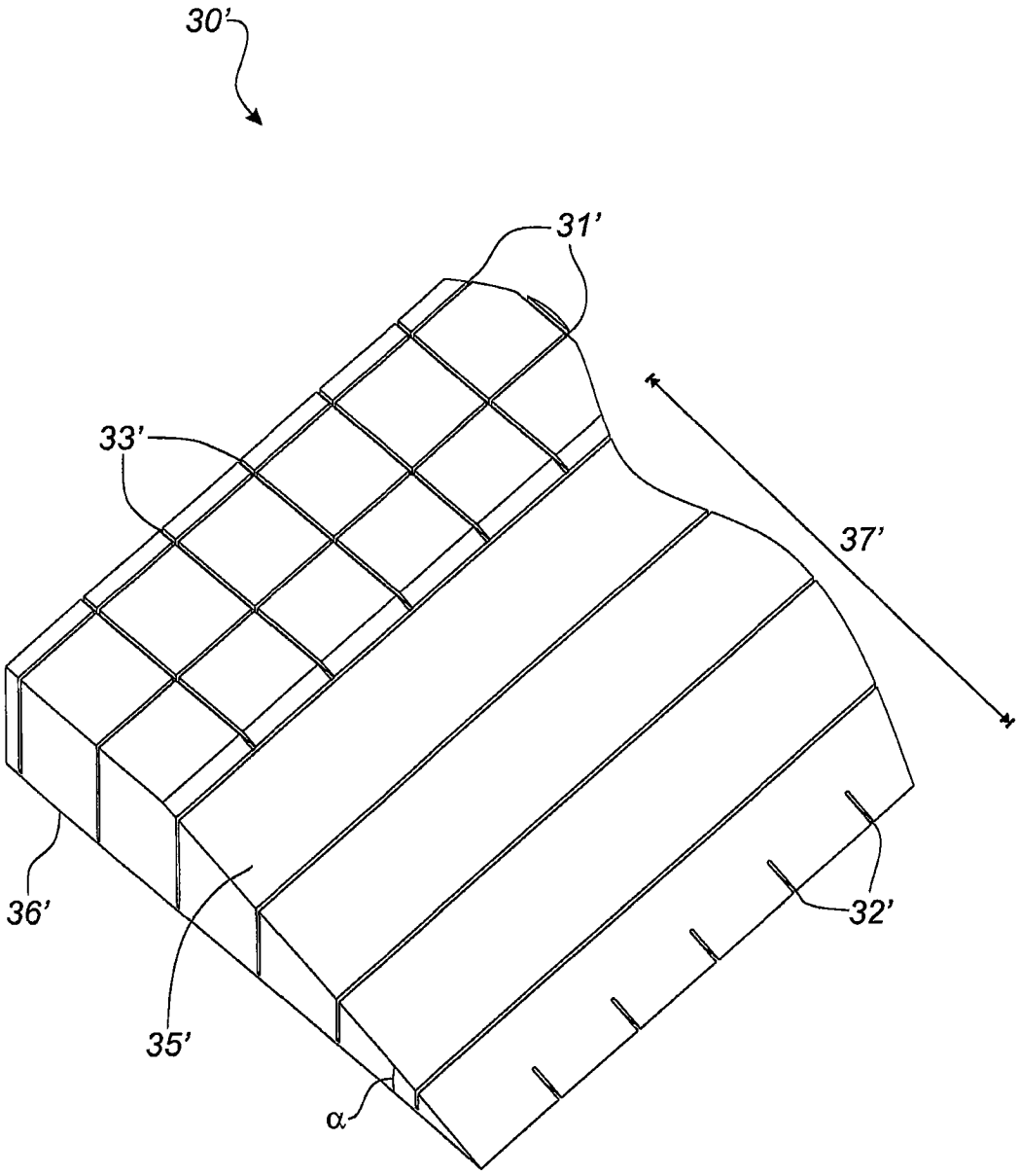


图 9

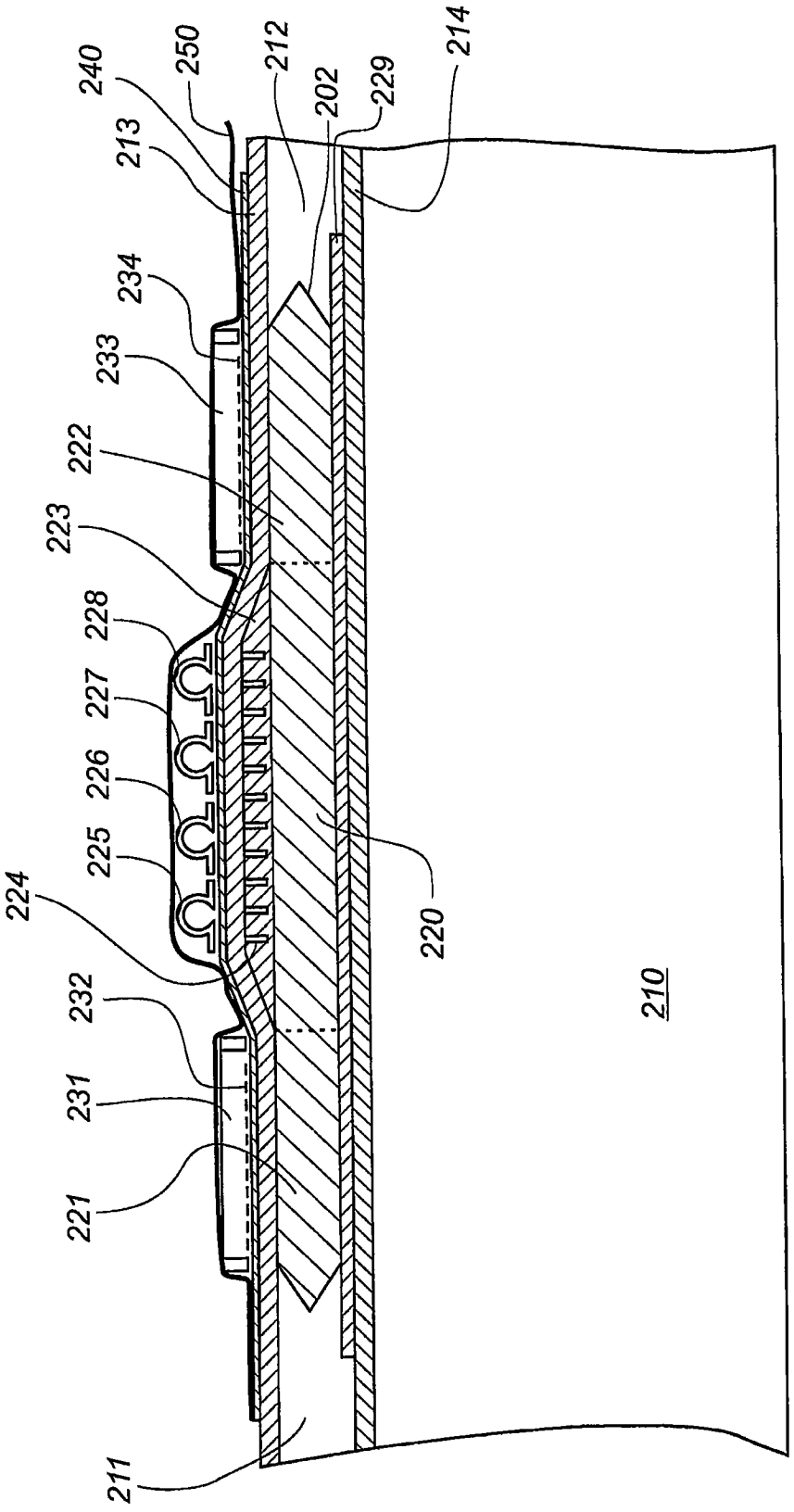

240
250
212
214
213
202
229
234
233
222
223
228
227
226
225
224
220
232
231
221
210
211

图 10

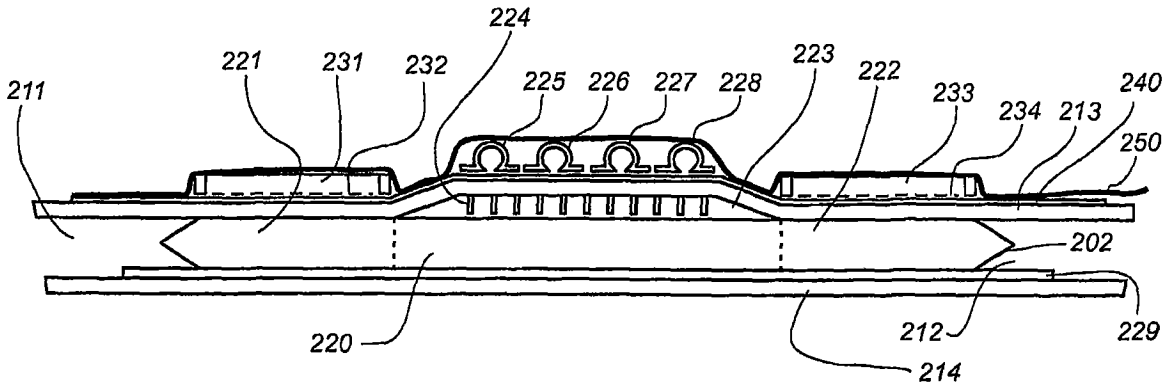


图 11a

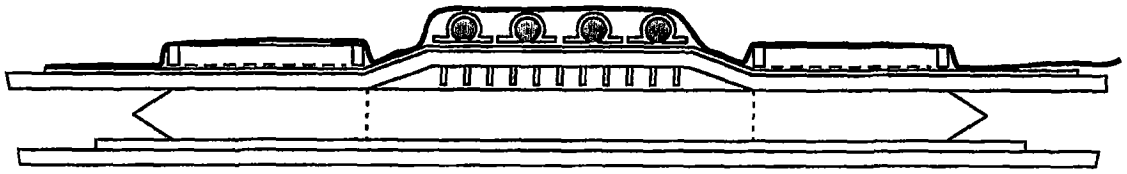


图 11b

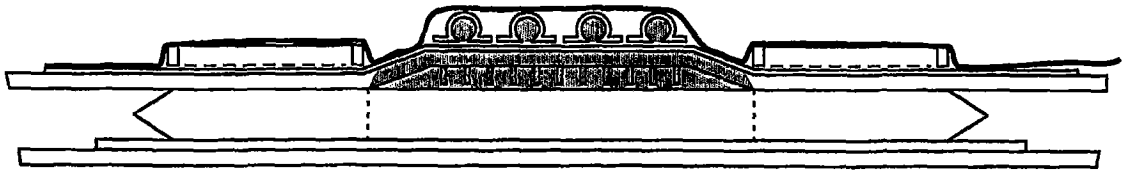


图 11c

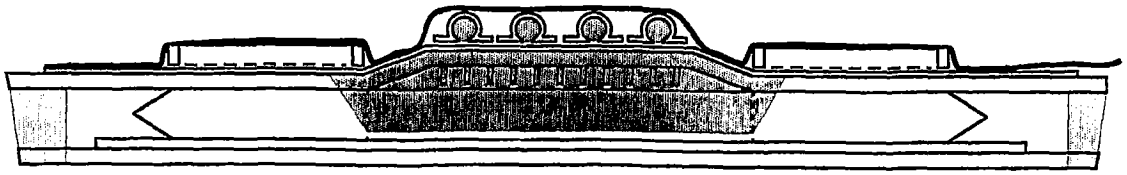


图 11d

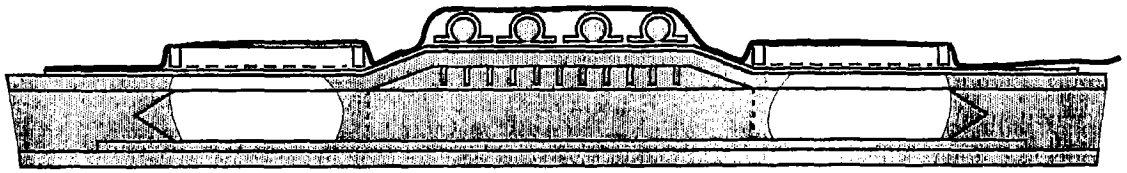


图 11e

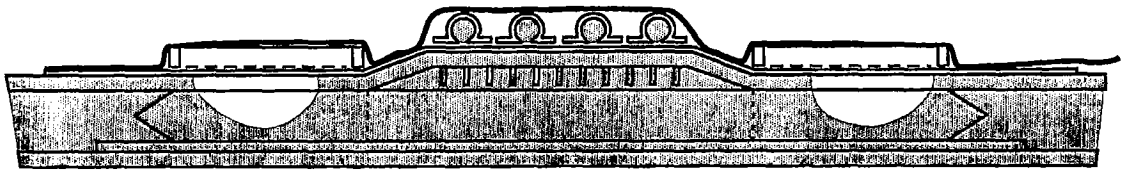


图 11f

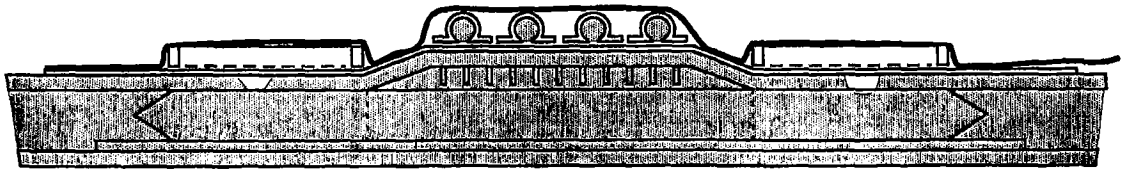


图 11g

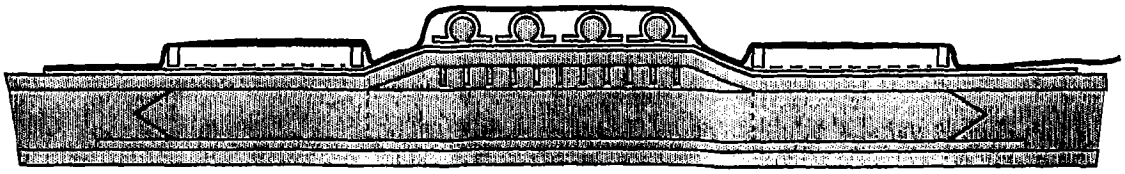


图 11h