(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 102232019 B
(45)授权公告日 2014.10.15

(21)申请号 200980147539.7
(22)申请日 2009.11.26
(30)优先权数据
0858098 2008.11.28 FR
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2011.05.26
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2009/052308 2009.11.26
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2010/061139 FR 2010.06.03
(73)专利权人 赫拉克勒斯公司
地址 法国勒海兰
专利权人 斯奈克玛公司
(72)发明人 N·埃贝林-富克斯 E·布永
C·鲁西耶 N·奥廷 D·库佩
(74)专利代理机构 北京戈程知识产权代理有限公司 11314
代理人 程伟 王锦阳
(51)Int.Cl.
B29C 70/22(2006.01)
C04B 35/83(2006.01)
(56)对比文件
WO 97/33829 A1,1997.09.18, 全文.
US 3632460 ,1972.01.04, 全文.
US 5350545 A,1994.09.27, 全文.
US 2005/0084377 A1,2005.04.21, 全文.
CN 1951664 A,2007.04.25, 全文.
审查员 黄佳昕

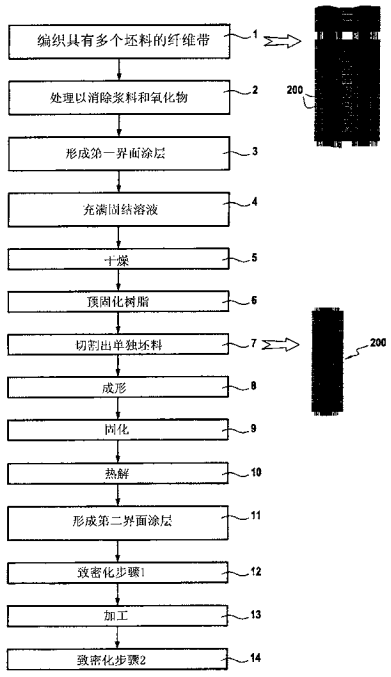
权利要求书2页 说明书12页 附图11页

(54)发明名称

用于制造复杂形状的复合材料部件的方法

(57)摘要

本发明涉及一种复杂形状的复合材料部件，所述部件包括通过基质进行致密化的三维编织纤维增强件，并且通过包括如下步骤的方法进行制造：三维编织连续纤维带，所述连续纤维带包括一连串纤维坯料(200)，所述纤维坯料(200)构成具有待制造的具有多个部件的预成型件；接着将单个纤维坯料切割为带，每一个坯料(200)都由单个部件制成；对切割出的坯料进行成形，使得获得的纤维预成型件的形状对应于待制造部件的形状；使所述预成型件固结成预期形状；并且-通过化学气相渗透形成基质，从而对已固结预成型件进行致密化。



CN 102232019 B

1. 一种由复合材料制造复杂部件的方法，所述部件包括通过基质进行致密化的三维编织纤维增强件，本发明包括如下步骤：

• 三维编织连续纤维带，所述连续纤维带包括一连串纤维坯料，用于待制造的多个部件的预成型件；

• 接着从所述连续纤维带切割出多个单独纤维坯料，每一个坯料都是整块坯料且包括毗邻在编织过程中形成的剥离区域的部分；

• 对切割出的坯料进行成形，使得获得的整块纤维预成型件的形状接近于待制造部件的形状；所述成形包括折叠或折回毗邻剥离区域的所述部分；

• 使所述预成型件固结成预期形状；并且

• 通过化学气相渗透形成基质，从而对已固结预成型件进行致密化。

2. 根据权利要求 1 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，在编织的连续纤维带的纤维上进行表面处理，所述处理包括至少一种如下操作：从纤维中除去浆料以及对纤维进行酸处理。

3. 根据权利要求 1 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，在切割出所述单独纤维坯料之前，使编织的连续纤维带充满包括树脂的固结液体复合物，并且通过对树脂进行固化和热解而进行固结。

4. 根据权利要求 3 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，在充满固结复合物之前，在编织的连续纤维带的纤维上形成纤维基质界面层，所述界面层由选自热解碳（PyC）、氮化硼（BN）和掺硼碳（BC）的材料制成。

5. 根据权利要求 4 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，所述界面层的厚度不大于 100nm。

6. 根据权利要求 4 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，在已经获得已固结预成型件之后且在利用基质对所述已固结预成型件进行致密化之前，形成附加纤维基质界面层。

7. 根据权利要求 6 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，通过化学气相渗透制成所述附加纤维基质界面层，并且其特征在于，在烘箱中相继进行所述附加纤维基质界面层的形成以及所述致密化。

8. 根据权利要求 3 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，在充满固结液体复合物之后且在切割出所述坯料之前，对固结液体复合物的树脂进行预固化。

9. 根据权利要求 3 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，所述纤维坯料在模具中成形，在该模具中相继进行固结液体复合物的树脂的固化和热解。

10. 根据权利要求 3 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，在温度上升的过程中对树脂进行热解，实现该温度上升以便为化学气相渗透的操作做准备。

11. 根据权利要求 1 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，在将所述预成型件保持在预期形状的同时，通过化学气相渗透对所述预成型件进行部分致密化，从而进行所述固结。

12. 根据权利要求 11 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，在成形之后且在固化之前，在所述预成型件的纤维上形成纤维基质界面涂层，所述界面涂层由选自热解碳（PyC）、氮化硼（BN）和掺硼碳（BC）的材料制成。

13. 根据权利要求 1 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，所述固结包括两个步骤，对部分致密化预成型件进行加工的操作将这两个步骤分开。

14. 根据权利要求 1 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，编织的连续纤维带包括在所述编织的连续纤维带的纵向方向上延伸的多行纤维坯料。

15. 根据权利要求 1 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，其特征在于，利用在所述纤维坯料周围的经线方向和纬线方向上的额外长度区域对编织的连续纤维带进行编织。

16. 根据权利要求 1 所述的由复合材料制造复杂部件的方法，用于制造涡轮机叶片，其中将编织的连续纤维带编织为具有一连串纤维坯料，这些纤维坯料在成形之后适于构成纤维预成型件，每一个纤维坯料构成至少用于叶翼和叶根的整块预成型件，所述纤维坯料通过其在纬线方向上或在经线方向上延伸的纵向方向进行编织，该纵向方向对应于待制造叶片的纵向方向。

用于制造复杂形状的复合材料部件的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及由复合材料制造复杂形状的部件。

[0002] 本发明的应用例子是由热结构复合材料制造部件，该部件使用在航空和空间领域中。

背景技术

[0003] 众所周知，由热结构复合材料制造部件包括：由耐火纤维（碳纤维或陶瓷纤维）制成纤维预成型件，该预成型件的形状接近待制造部件的形状；然后利用（碳或陶瓷的）耐火基质使纤维预成型件致密化。

[0004] 为了制造该纤维预成型件，可以使用各种纺织技术。一种公知技术在于通过三维编织或多层编织制造预成型件。这样的编织方法能够在多个纱线层之间进行交织，从而赋予预成型件所需强度，以便获得具有高级机械属性的复合材料部件。

[0005] 对于形状复杂的各部件，会难以甚至不可能直接通过三维 (3D) 编织来制造纤维预成型件。

[0006] 这时，可以将纤维预成型件制造成多个分离部件，在对预成型件进行致密化之前例如通过缝合或通过植入纱线将这些分离部件组装在一起。然而，预成型件的各个部分之间的连接会构成不牢固的点。

[0007] 同样公知的是，通过 3D 编织制造纤维坯料，并且通过对坯料进行成形而从坯料获得纤维预成型件。坯料的成形可以包括：在坯料的一个或多个部分上展开或折叠，这些部分毗邻在编织过程中形成的剥离区域或者毗邻在坯料中制造的切口或缺口。

[0008] 通过利用液体技术或气体技术的固结将纤维预成型件保持在预期形状。液体固结包括：使预成型件充满包含树脂的固结复合物，并且采用热处理使树脂固化并热解。选择树脂的量，从而使热解残余物实现充分的致密性，以便使预成型件在不借助支撑工具的条件下都能保持其形状。气体固结包括：通过化学气相渗透 (CVI) 而在纤维上沉积 材料，从而部分地使预成型件致密化，沉积的材料量选择为使预成型件的纤维充分连接在一起，从而使其在不借助支撑工具的条件下都可以保持其形状。随后利用耐火基质对已固结预成型件进行致密化。

[0009] 文献 US 5 350 545 描述了一种方法，其通过使用陶瓷前体树脂而制造复杂形状的陶瓷基质复合 (CMC) 部件，以便使由编织或交织材料制成的纤维预成型件固结，随后通过化学气相渗透使已固结预成型件致密化。

[0010] 此外，特别地但并不专用地，对于 CMC 材料，在纤维上形成界面，在使用液体固结时用来避免对树脂进行热解的残余物过度牢固地粘结在纤维上，同时在使用气体固结时用来极大地降低对裂缝的敏感性并提高承受冲击的能力。

[0011] 另外，特别是在所用纤维为市售陶瓷纤维时，出于消除纤维表面上存在的浆料或氧化膜的目的，可以期望在形成界面并固结之前在纤维上进行预成型处理。

[0012] 这些不同的操作需要进行大量操纵，从而提高了制造部件的复杂性和成本。

[0013] 文献 WO 97/33829 公开了一种由碳 / 碳复合材料制造舌片 (valves) 的方法，该方法包括制造一种交织预成型件。可以利用多个碳插入物制成连续的交织物，这些碳插入物以均匀间隔在交织物内部设置到位，以便通过将包含插入物的交织物切割成段而获得舌片预成型件。

发明内容

[0014] 本发明旨在提出一种适于合理地由复合材料制造复杂形状的部件的方法，其包括通过基质进行致密化的纤维增强件，并且其中所述纤维增强件是 3D 编织增强件。

[0015] 根据本发明，实现该目的的方法包括如下步骤 ：

[0016] • 三维编织连续纤维带，所述连续纤维带包括一连串纤维坯料，用于待制造的多个部件的预成型件 ；

[0017] • 接着从所述带切割出多个单独纤维坯料，每一个坯料都是整块坯料 ；

[0018] • 对切割出的坯料进行成形，使得获得的整块纤维预成型件的形状 接近于待制造部件的形状 ；

[0019] • 使所述预成型件固结成预期形状 ；并且

[0020] • 通过化学气相渗透形成基质，从而对已固结预成型件进行致密化。

[0021] 有利地，在编织纤维带的纤维上进行表面处理，所述处理包括至少一种如下操作 ：从纤维中除去浆料以及对纤维进行酸处理。

[0022] 在第一实施方案中，在切割出所述单独纤维坯料之前，使所述编织纤维带充满包括树脂的固结液体复合物，并且通过对树脂进行固化和热解而进行固结。

[0023] 有利地，在充满固结复合物之前，在所述编织纤维带的纤维上形成纤维基质界面层，所述界面层由选自热解碳 (PyC)、氮化硼 (BN) 以及掺硼碳 (BC) 的材料制成。所述界面层所呈现的厚度优选为不大于 100 纳米 (nm)，以便保持所述纤维坯料的变形能力。

[0024] 在充满固结复合物之后且在切割出所述坯料之前，可以对固结树脂进行预固化。这样的预固化或者部分固化可以为所述纤维坯料提供硬度，并由此为所述纤维坯料提供额外强度。

[0025] 当在充满所述带之前已经形成薄的纤维基质界面层时，在已经获得已固结预成型件之后且在利用基质对所述已固结预成型件进行致密化之前可以形成附加界面层。

[0026] 在这种情况下，有利地，通过化学气相渗透制成所述附加界面层，并且在烘箱中相继进行所述附加界面层的形成以及所述致密化。

[0027] 所述纤维坯料可以在模具中成形，在该模具中相继进行固结树脂的固化和热解。

[0028] 在一个不同的实施例中，在温度上升的过程中对树脂进行热解，实现该温度上升以便为化学气相渗透的操作做准备。

[0029] 在该方法的另一个实施方案中，在将所述预成型件保持在预期形状的同时，通过化学气相渗透对所述预成型件进行部分致密化，从而进行所述固结。

[0030] 有利地，在该另一个实施方案中，在固结之前且在成形之后，在所述预成型件的纤维上形成纤维基质界面涂层，所述界面涂层由选自热解碳 (PyC)、氮化硼 (BN) 和掺硼碳 (BC) 的材料制成。所述界面涂层所呈现的厚度位于大约一百至数百纳米的范围内。

[0031] 根据该方法的特征，所述固结包括两个步骤，对部分致密化预成型件进行加工的

操作将这两个步骤分开。

[0032] 根据该方法的另一个特征，在通过化学气相渗透进行致密化之前，在所述已固结预成型件上进行预加工。

[0033] 所述编织带可以包括在所述带的纵向方向上延伸的多行纤维坯料。

[0034] 有利地，利用在所述纤维坯料周围的经线方向和纬线方向上的额外长度区域对所述带进行编织。

[0035] 因此，本发明的方法的非凡之处在于：在连续 3D 编织带上进行对纤维坯料成形之前的操作，这样就易于处理并且能够同时对多个坯料进行处理。这就在制造大批量相似部件方面提供了显著优势。

[0036] 本发明的方法特别但并不专用地适于由陶瓷基质复合材料制造复杂形状的部件。

[0037] 具体应用是制造涡轮机叶片。随后，将所述带有利地编织为具有一连串纤维坯料，这些纤维坯料在成形之后适于构成纤维预成型件，每一个纤维坯料构成至少用于叶翼和叶根的整块预成型件，所述纤维坯料通过其在纬线方向上或在经线方向上延伸的纵向方向进行编织，该纵向方向对应于待制造叶片的纵向方向。

[0038] 附图说明

[0039] 通过阅读参考所附附图以非限制表示给出的如下描述可以更好地理解本发明，在这些附图中：

[0040] • 图 1 显示了本发明的方法的第一实施方案的连续步骤；

[0041] • 图 2 显示了本发明的方法的第二实施方案的连续步骤；

[0042] • 图 3 为在其中包含有内平台和外平台的涡轮机叶片的立体图；

[0043] • 图 4 为在三维编织纤维中设置两组纱线层以制造用于图 3 所示类型的叶片的纤维预成型件的高度简略的示图；

[0044] • 图 5、6 和 7 显示了在从图 4 中的纤维坯料开始制造用于如图 3 所示的叶片的纤维预成型件时的连续步骤；

[0045] • 图 8 为显示制成例如如图 3 所示的扁平叶片的轮廓的截面图；

[0046] • 图 9 为可以获得例如如图 8 所示轮廓的一组经纱层的截面图；

[0047] • 图 10A 和 10B 为经线截面图，显示了编织图 4 中的纤维坯料的一种方式；

[0048] • 图 11 为图 4 中的纤维坯料的一部分在平行于经线方向和纬线方向的平面上的断片截面图，该部分对应于叶翼和叶片的内平台之间的接合位置；

[0049] • 图 12 为经过图 4 中的纤维坯料的一部分的纬线截面中的断片视图，该部分对应于叶翼和叶片的外平台之间的接合位置；

[0050] • 图 13A 为显示在纤维坯料的一部分中设置纬纱的例子的纬线截面视图，该部分对应于叶根的一部分；

[0051] • 图 13B、13C 和 13D 为显示用于在纤维坯料的图 10A 的部分中进行（多层）三维编织的一个例子的经线平面的纬线截面视图；

[0052] • 图 14 为以截面显示制造对应于叶根的部分的另一种方式的断片示意图；

[0053] • 图 15 和 16 为显示制造编织纤维带的两种方式的高度简略的视图，该编织纤维带通过三维编织而获得并且包括诸如如图 4 所示的多个纤维坯料；

[0054] • 图 17 为具有后续燃烧的燃气涡轮航空发动机的喷嘴的热可操作活板 (hot

steerable flap) 的立体图；

[0055] •图 18 为在 3D 编织纤维坯料中设置多个纱线层以制造用于图 17 所示类型的活板本体的高度简略的视图；

[0056] • 图 19 和 20 显示了在从图 18 中的纤维坯料制造用于图 17 所示类型的活板本体时的连续步骤；

[0057] •图 21A 和 21B 为形成图 18 中的坯料的一组纱线层的放大比例的断片截面图；并且

[0058] •图 22 和 23 为显示制造 3D 编织纤维带的两种方式的高度简略的视图，该 3D 编织纤维带包括诸如如图 18 所示的多个纤维坯料。

具体实施方式

[0059] 在图 1 中给出了在本发明的方法的第一实施方案中制造复合材料部件的方法的连续步骤。

[0060] 在该例子中，考虑制造陶瓷基质复合 (CMC) 材料部件，该陶瓷基质复合材料部件包括通过陶瓷基质而致密化的陶瓷纤维的纤维增强件。

[0061] 在步骤 1 中，通过 3D 编织来编织纤维带，该纤维带包括至少一行纤维坯料 200。这些纤维坯料可以使纵向方向被定向在经线方向，即，使纵向方向被定向在如图所示的带的纵向方向，或者在不同的实施例中，它们可以被定向在纬线方向。用于制造各个部件的纤维坯料的制造技术在下文中具体描述。举例而言，陶瓷纤维为 SiC 纤维，然后利用 SiC 纤维纱线（例如由日本供应商 Nippon Carbon 所售的名为“Nicalon”的纤维纱线）进行编织。

[0062] 在步骤 2 中，对纤维带进行处理，以消除纤维上存在的浆料以及纤维表面上存在的氧化物。通过酸处理，特别是通过浸入氢氟酸浴中而实现氧化物的消除。例如通过利用短时热处理而使润滑剂分解，从而进行用于消除浆料的在先处理。

[0063] 在步骤 3 中，通过化学气相渗透 (CVI) 而在纤维带的纤维上形成薄界面涂层。界面涂层材料例如由热解碳 (PyC)、由氮化硼 (BN) 或者由掺硼碳 (BC，例如 B 的原子百分比为 5％至 20％，其余为 C) 构成。薄界面涂层优选为具有较小厚度，例如不大于 100nm，甚至不大于 50nm，从而在纤维坯料中保持良好的变形能力。该厚度优选地不小于 10nm。

[0064] 在步骤 4 中，使具有涂覆了薄界面涂层的纤维的纤维带充满固结复合物，该固结复合物典型地为树脂，其可以在溶剂中进行稀释。可以使用碳前体树脂或者陶瓷前体树脂作为 SiCN、SiCO 和 SiC 的前体，所述碳前体树脂例如酚醛树脂或呋喃树脂，所述陶瓷前体树脂例如聚硅氨烷、聚硅氧烷或聚碳硅烷树脂。

[0065] 在通过消除任何树脂的溶剂而干燥（步骤 5）之后，可以对树脂进行预固化（步骤 6）。预固化或不完全固化用于提高硬度，并由此提高强度，同时保持变形能力，通过使坯料成形而制造预成型件需要这种变形能力。

[0066] 在步骤 7 中，切割出单独的纤维坯料 200。

[0067] 在步骤 8 中，使按此方式切割出的纤维坯料放置在模具或成形器 中并在其中成形，所述模具或成形器例如由石墨制成以用于成形，从而获得具有复杂形状的预成型件，该形状接近于待制造的复合材料部件的形状。

[0068] 此后，完成树脂的固化（步骤 9），并且对固化的树脂进行热解（步骤 10）。通过逐

渐升高模具中的温度，从而可以相继进行固化和热解。

[0069] 在热解之后，获得被热解残余物固结的纤维预成型件。选择固结树脂的量，从而热解树脂使预成型件的纤维充分地粘结在一起，以便不借助工具而使其能够被处置同时保持其形状，可以观察到，固结树脂的量优选地选择成尽可能少。

[0070] 消除浆料、进行酸处理以及在 SiC 纤维的基体上形成界面涂层的步骤是公知的。可以参考文献 US 5 071 679。

[0071] 如果需要，可以通过 CVI 形成第二界面层（步骤 11），使得获得的整个纤维基质界面的厚度足以实现使复合材料不易碎裂的功能。第二界面层可以是选自 PyC、BN 和 BC 的材料，并且并不需要与构成第一界面层的材料必然相同。众所周知，这样的界面材料能够缓减经过复合材料的基质抵达界面的裂缝底部处的应力，从而随后避免或减缓裂缝经过纤维的蔓延（其会造成纤维破裂），进而使复合材料不易碎裂。第二界面层的厚度优选为不小于 100nm。

[0072] 优选地将界面制成两层，如上所述。在本申请的其中一个申请人的序号为 08/54937 的法国专利申请中对此进行了描述。第一界面层有助于避免使固结树脂热解的残余物过度粘结在纤维上。

[0073] 随后利用陶瓷基质对已固结预成型件进行致密化。可以通过 CVI 进行该致密化，并且在这种情况下，第二界面层以及利用陶瓷基质的致密化可以在相同烘炉中相继进行。

[0074] 利用陶瓷基质（特别是 SiC 基质）对预成型件进行 CVI 致密化是公知的。可以使用包含甲基三氯硅烷 (MTS) 和气态氢 (H_2) 的反应气体。将固结预成型件设置在外壳中，而不使用工具以保持其形状，并且将气体导入到该外壳中。在受控条件下，特别是在温度和压力受控的条件下，气体扩散到预成型件的孔隙内，从而通过在其组分之间进行的反应而形成 SiC 基质的沉积物。

[0075] 当然，根据预期复合材料的特性，本方法可以利用除了陶瓷之外的纤维（例如，碳纤维）的纤维带进行实施。随后省去步骤 2 中用于消除氧化物层的酸处理。

[0076] 相似地，可以利用除了 SiC 之外的基质（特别是碳基质或自修复基质）进行已固结预成型件的 CVI 致密化，自修复基质方面的例子是三元 (ternary)Si-B-C 系统或碳化硼 B_4C。可以参考文献 US5246736 和 US5965266，其描述了利用 CVI 获得这样的自修复基质。

[0077] 致密化可以在两个相继的步骤（步骤 12 和步骤 14）中进行，这两个相继的步骤被将待制造部件加工到预期尺寸的步骤 13 分开。两个致密化步骤不但用来完成使复合材料致密化到芯体，而且用来在任何纤维上形成表面涂层，这些纤维在加工过程中可能已经被裸露地铺设。

[0078] 应当观察到，在步骤 9 和 10 之间，即，在对树脂进行固化之后且在对树脂进行热解之前，可以进行预加工或修剪。

[0079] 下面将参考图 2 描述在本发明的方法的第二实施方案中制造复合材料部件的方法的连续步骤。

[0080] 对由多个纤维坯料 200 构成的纤维带进行三维编织的步骤 21 以及采用处理以消除浆料和氧化物的步骤 22 与图 1 中的实施方案的步骤 1 和 2 相似。

[0081] 在步骤 23 中，从纤维带切割出单独纤维坯料，然后在模具或成形器中对每一个单独纤维坯料进行成形（步骤 24），以便获得具有预期复杂形状的纤维预成型件。

[0082] 在步骤 25 中，通过 CVI 而在纤维带的纤维上形成用于缓减脆化的界面涂层。举例而言，界面涂层材料为 PyC、BN 或 BC，如上所述。界面涂层的厚度在大约一百至几百纳米的范围内。

[0083] 对于在成形器中保持形状的预成型件，通过部分固结对预成型件进行固结（步骤 26），通过 CVI 而在纤维上形成陶瓷沉积物，从而进行该固结。

[0084] 通过 CVI 形成界面涂层以及通过 CVI 而由陶瓷沉积物进行固结可以在相同的 CVI 烘炉中相继进行。

[0085] 成形器优选地由石墨制成，并且存在孔以便于反应气体通过，该反应气体引起界面沉积并且通过 CVI 引起陶瓷沉积。

[0086] 一旦固结充分，以能够对预成型件进行处置同时在无需借助支撑工具的条件下保持其形状，就从成形器提取已固结预成型件，并且通过 CVI 进行利用陶瓷基质的致密化。致密化可以在两个相继的步骤（步骤 27 和步骤 29）中进行，这两个相继的步骤被将待制造部件加工到预期尺寸的步骤 28 分开。

[0087] 如上所述，在切割出坯料 200 之前，在步骤 23 的过程中在纤维带的纤维上形成界面涂层。在不同的实施例中，可以在预成型件已经成形（步骤 25）之后且在其固结（步骤 26）之前形成界面涂层。然后，通过 CVI 形成界面涂层以及通过 CVI 而由陶瓷沉积物进行固结可以在相同的 CVI 烘炉中相继进行。按此方式进行，可以形成厚度不受限制的界面涂层，以便保留一定的变形能力，从而形成预成型件。

[0088] 例子 1：由 CMC 材料制造其中包含内平台和外平台的涡轮机叶片

[0089] 本发明的方法可以用于制造各种类型的涡轮机叶片，例如低压涡轮的转子盘的叶片，该叶片在其中包含有内平台和外平台，正如图 3 所示的叶片 110。

[0090] 图 3 中的叶片 110 以公知方式包括叶翼 120、由更厚部分形成的叶根 130（例如，其呈现的截面的形式为通过柄脚 132 延伸的隆起）、位于叶根 130 和叶翼 120 之间的内平台 140 以及邻近叶翼的自由端的外平台 150。

[0091] 叶翼 120 在内平台 140 和外平台 150 之间在纵向方向上延伸，并且所呈现的横截面的形式为弯曲轮廓，该弯曲轮廓的厚度在其前缘 120a 和其后缘 120b 之间变化。

[0092] 通过将叶根 130 接合在设置于转子周边中的互补形状的壳体中，从而将叶片 110 安装在涡轮机转子（未显示）上。叶根 130 通过柄脚 132 延伸，以便与内平台 140 的内（或底）面连接。

[0093] 在其径向内端处，叶翼 120 经由内平台的外（或顶）面 142 连接到平台 140，所述面限定气流经过涡轮的流动通道的内部。在其处于上游和下游（相对于气流的流动方向 f）的端部中，较低平台收尾于边缘 144 和 146。在所示例子中，内平台的面 142 倾斜，从而相对于叶片的纵向方向的法向形成总体非零的角度 α。根据气流流动通道的内表面的预期轮廓，角度 α 可以为零，或者面 142 可以具有基本非直线的轮廓，例如其可以是弯曲的。

[0094] 在其径向外端处，叶翼经由外平台的内（底）面 152 连接到外平台 150，所述面限定气流流动通道的外部。在其（顶）外侧，外平台限定内凹盆或浴盆 154。沿着盆 154 的上游边缘和下游边缘，外平台带有齿状轮廓的刮片 156，刮片 156 的端部可以深入涡轮环（未显示）的可磨蚀材料层内，以便减小叶片尖端和涡轮环之间的间隙。在所示例子中，外平台的面 152 基本垂直于叶片的纵向方向而延伸。在不同的实施例中，根据气流流动通道的外

表面的预期轮廓，面 152 可以倾斜，从而相对于叶片纵向方向的法线形成基本非零的角度，或者面 152 的轮廓可以基本为非直线的，例如其为弯曲的。

[0095] 图 4 为纤维坯料 200 的高度简略的视图，叶片纤维预成型件可以从纤维坯料 200 成形，从而在通过基质进行致密化之后且可以在进行加工之后，获得由复合材料制成的叶片，并且该叶片在其中包含有内平台和外平台，如图 3 所示。图 4 中显示了单个坯料 200，可以观察到，一连串这样的坯料在纤维带中连续编织，如上所述并且将在下文中更具体地描述。

[0096] 坯料 200 包括通过三维编织或多层编织而获得的两个部分 202 和 204，图 4 中只是显示了这两个部分的外壳。在成形之后，部分 202 将构成叶片纤维预成型件的一部分，该部分对应于用于叶翼且用于叶根的预成型件。在成形之后，部分 204 将构成叶片纤维预成型件的部分，所述部分对应于用于叶片的内平台和外平台的预成型件。

[0097] 两个部分 202 和 204 的形式为基本在对应于待制造叶片的纵向方向 X 的方向上延伸的带。在其将形成叶片预成型件的部分中，纤维带 202 呈现变化的厚度，该变化的厚度确定为待制造叶翼的轮廓厚度的函数。在其将形成叶根预成型件的部分中，纤维带 202 呈现额外厚度 203，该额外厚度 203 确定为待制造叶根的厚度的函数。

[0098] 纤维带 202 的宽度 l 选择为待制造叶翼和叶根的轮廓的展开长度（即，在平展时的轮廓长度）的函数，而纤维带 204 的宽度 L 大于 l 并选择为待制造叶片的内平台和外平台的的展开长度的函数。

[0099] 纤维带 204 的厚度基本恒定，并且确定为待制造叶片的内平台和外平台的厚度的函数。带 204 包括沿着带 202 的第一面 202a 并与其邻近而延伸的第一部分 204a、沿着带 202 的第二面 202b 并与其邻近而延 伸的第二部分 204b、以及沿着带 202 的第一面 202a 并与其邻近而延伸的第三部分 205a。

[0100] 部分 204a 和 204b 通过连接部分 240c 连接在一起，连接部分 240c 在与待制造叶片的内平台的位置对应的位置处相对于带 202 横向延伸。连接部分 240c 穿过带 202，带 202 相对于纤维坯料的纵向方向的法线形成角度 α 。部分 204b 和 205a 通过连接部分 250c 连接在一起，连接部分 250c 在与待制造叶片的外平台的位置对应的位置处相对于带 202 横向延伸。在所示例子中，连接部分 250c 基本垂直于纤维坯料的纵向方向而穿过带 202。根据在叶片的外平台处的预期形状，连接部分 250c 可以按照相对于坯料的纵向方向的法线的非零角度穿过带 202，如同内平台一样。此外，连接部分 240c 的轮廓和 / 或连接部分 250c 的轮廓可以是曲线的而不是向着所示例子中那样为直线的。

[0101] 正如在下文中将要更为具体地描述的，带 202 和 204 通过三维编织而在同时进行编织，但在带 202 和带 204 的部分 204a、204b 和 205a 之间不进行连结，并且同时在方向 X 上对多个连续坯料 200 进行连续编织。

[0102] 图 5 至 7 是显示如何从纤维坯料 200 开始获得纤维预成型件的高度简略的视图，纤维预成型件的形状接近于待制造叶片的形状。

[0103] 纤维带 202 在一端处在额外厚度 203 中进行切割，在另一端处略微超过连接部分 250 而切割，从而使带 220 的长度对应于待制造叶片的纵向尺寸，并且由额外厚度 203 形成扩展部分 230，额外厚度 203 位于与待制造的叶根位置对应的位置处。

[0104] 另外，在带 204 的部分 204a、205a 的端部处以及在其部分 204b 中形成切口，从而

在连接部分 240c 的任一侧上保留部段 240a 和 240b，并且在连接部分 250c 的任一侧上保留部段 250a 和 250b，如图 5 所示。部段 240a、240b 和 250a、250b 的长度确定为待制造叶片的内平台和外平台的长度的函数。

[0105] 由于一方面在纤维坯料的带 202 和部分 204a、204b 与 205a 之间不存在结合，所以另一方面部段 240a、240b、250a 与 250b 均能够垂直于带 202 而折叠，而不会切割纱线，从而形成板 240 和 250，如图 6 所示。

[0106] 接下来，通过模铸而获得待制造叶片的纤维预成型件 300，并且带 202 变形为再现叶翼的弯曲轮廓，且板 240、250 变形为再现与叶片的内平台和外平台的形状相似的形状，如图 7 所示。由此获得的预成型件具有构成叶翼预成型件的部分 320、构成叶根预成型件（包括柄脚预成型件）的部分 330 以及构成内平台和外平台的预成型件的部分 340 和 350。

[0107] 下面将更为具体地描述对纤维坯料 200 进行三维编织的方法。

[0108] 可以设想利用在坯料的纵向方向 X 上延伸的经纱来进行编织，可以观察到，也可以利用在该方向上延伸纬纱进行编织。

[0109] 通过使用重量变化的经纱，从而使带 202 的厚度沿着其宽度变化。在不同的实施例中，或者此外，可以改变经纱的数量（在纬线方向上的每单位长度的纱线数目），在通过模铸而对预成型件进行成形的过程中，数量越少则越薄。

[0110] 因此，为了获得如图 8 中的投影展开所示的叶翼轮廓，可以使用重量和数量变化的三层经纱，如图 9 所示。

[0111] 在实施方案中，所用纱线可以是由日本供应商 Nippon Carbon 售卖的名为“Nicalon”的碳化硅 (SiC) 纱线，其重量（丝线数目）为 0.5K(500 根丝线）。利用 0.5K 的 SiC 纱线和 1K 的 SiC 纱线形成经线，1K 的 SiC 纱线通过组合成对的 0.5K 纱线而获得，两根纱线通过包覆层而组合。包覆层有利地利用在编织之后将被消除的保护性纱线而获得，例如能够通过在水中溶解而消除的聚乙烯醇 (PVA) 的纱线。

[0112] 对于每一列经纱，下面的表 I 给出了：数量（在轮廓的长度中每厘米的纱线数目）、0.5K 纱线的数目、1K 纱线的数量以及单位为毫米 (mm) 的轮廓的厚度，该厚度在大约在 1mm 至 2.5mm 的范围内变化。

[0113] 表 I

[0114]

列	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
数量	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6
0.5K 纱线的数目	3	3	3	3	3	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3
2×0.5K 纱线的数目	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3	3	3	3	3	3	1	2	0
厚度	1	1	1	1	1	1	12	15	2	22	24	25	24	24	22	21	18	15	12

[0115] 当然，根据可得到的纱线重量，可以采用纱线层数的不同组合以及不同的数量和重量，以便获得预期轮廓。

[0116] 图 10A 和 10B 是编织物的两个连续平面中的经线截面，该编织物适于用作在纤维

坯料 200 的额外厚度 203 外部对其进行编织。

[0117] 纤维坯料 200 的带 202 包括一组经纱层，其中在该例子中层数等于三（层 C11、C12、C13）。经纱通过三维编织而由纬纱 t_1 连接在一起。

[0118] 带 204 由此具有一组经纱层，层数例如为通过三维编织而由纬纱 t_2 连结的三层（层 C21、C22、C23），如同带 202 一样。

[0119] 应当观察到，纬纱 t_1 并未在带 204 的经纱层中延伸，且纬纱 t_2 并未在带 202 的经纱层中延伸，从而获得剥离。

[0120] 在所示例子中，编织是利用缎纹型或多重缎纹型编织物进行的多层编织。可以使用其它类型的三维编织，例如利用多重平织物的多层编织或者利用“双罗纹”型编织物的编织。在此所用的术语“双罗纹”编织意指这样的编织物，其中每一层纬纱与多层经纱编织在一起，并且在给定列纬线中的所有纱线在编织平纹中具有同样的运动。文献 WO2006/136755 中具体描述了三维编织的各种方法，其内容通过参考结合于本文中。

[0121] 图 11 是平行于经线方向和纬线方向的截面图，其中带 204 的连接部分 240c 穿过带 202，截面中显示了连接部分的经纱。每一层经纱在相对于带 202 的纬线方向形成角度 α 的方向上在该连接部分 240c 中延伸。在编织过程中，通过使带 202 的所有经纱和纬纱单独地横穿带 204 的每一根经纱，从而实现了使带 204 从带 202 的一侧穿过到另一侧。

[0122] 图 12 为带 204 的连接部分 250c 穿过带 202 的位置的纬线截面图。在所示例子中，并且如上所述，连接部分 250c 垂直于带 202 的经线方向延伸。然而，对于连接部分 240c，可以具有连接部分 250c，根据外平台的预期取向，连接部分 250c 以相对于经线方向的法线的非零角度延伸。

[0123] 额外厚度 203 可以通过利用更重的纬纱和附加层的纬纱而获得，例如如图 13A 所示。

[0124] 在图 13A 中，在该例子中，在对应于叶片柄脚的带 202 的纤维坯料部分 202_1 和存在额外厚度 203 的带 202 的纤维坯料部分 202_3 之间的 纬纱的数目为从四根至七根。

[0125] 此外，使用不同重量的纬纱 t_1、t'_1、t''_1，纱线 t_1 例如为重量 0.5K(500 根丝线）的“Nicalon”SiC 纱线，纱线 t'_1 通过组合两根 0.5K 纱线而获得，纱线 t''_1 通过利用三根 0.5K 纱线而获得。

[0126] 在坯料部分 202_3 中，需要对数目大于部分 202_1 的多层经纱进行编织。通过将部分 202_1 中的两个经线平面的经纱集合在一起而在部分 202_3 中构成每一个经线平面，从而减少经线平面的数目，进而在部分 202_1 和部分 202_3 之间过渡的过程中有利地实现了上述目的。图 13B 和 13C 显示了在部分 202_1 中毗邻的两个经线平面，并且图 13D 显示了通过组合图 13B 和 13C 中的经线平面而在部分 202_3 中获得的经线平面。在图 13B、13C 和 13D 中，出于简明的原因，并未显示经纱或纬纱的不同重量（正如分别在图 9 和图 13A 中所示的那样）。在从图 13B、13C 穿行到图 13D 时，虚线显示了图 13B 和 13C 中的各层经纱如何形成图 13D 中的多层经纱。

[0127] 当然，可以采用纬线层数和纬线层重量的其它组合，以便形成额外厚度 203。

[0128] 在图 14 示意性地显示的另一个实施方案中，可以通过在对带 202 进行编织的同时导入插入物而获得额外厚度 203。

[0129] 在图 14 中，在带 202 的部分 202_1 中的对应于叶片柄脚的纬纱层组 T_1 在对两个次

组 T_{11}、T_{12} 进行编织的过程中通过剥离而分离，并且插入物 203_1 导入次组 T_{11}、T_{12} 之间。在所示例子中，部分 202_1 的厚度大于带 202 的对应于叶翼的部分 202_2 的厚度。按照上述的对于图 13A 中的部分 202_1 和 202_3 之间的过渡的同样方式，可以实现在部分 202_2 和部分 202_1 之间的过渡。带 204 在图 4 中的连接部分 240c 的层次处穿过带 202 可选地经过更厚部分 202_1 而发生。

[0130] 在插入物 203 的远离部分 202_1 的端部处，通过编织使纬纱层次组 T_{11}、T_{12} 重新组合，从而形成与部分 202_1 厚度相同的部分 $202'_1$，随后通过减小厚度而形成与部分 202_2 厚度相同的部分 $202'_2$，部分 $202'_2$ 形成对应于用于随后编织坯料的叶翼的部分。

[0131] 插入物 203_1 优选地由一体陶瓷制成，优选为与形成待制造叶片的复合材料的基质的陶瓷材料为同样的陶瓷材料。因此，插入物 203_1 可 以是通过烧结 SiC 粉末而获得的 SiC 块。

[0132] 如图 15 中非常简略地所示，通过编织带 400 而获得多个纤维坯料 200，在带 400 中形成一行或多行连续纤维坯料。在经线方向（只是经纱）上以及在纬线方向（只是纬纱）上设置额外长度区域 410、420，以便避免与编织相关的边缘现象，从而在形成预成型件的同时保留更大的变形自由度，并且在坯料 200 之间提供过渡区域。

[0133] 图 16 显示了不同的实施例，其中带 450 利用在垂直于带的纵向方向的纬线方向上进行编织的一行坯料 200 而制成。在经线方向上以及在纬线方向上也设置额外长度区域 460、470。可以对多行坯料 200 进行编织，带 450 的宽度适用于这一目的。

[0134] 图 1 中方法的实施方案中的采用纤维表面处理、形成第一层界面涂层、充满固结复合物以及预固化的各步骤在从带 400 或 450 切割出坯料之前进行。

[0135] 在已经切割出坯料之后，在模具中对每一个坯料进行成形、对固结树脂进行固化、对已固化树脂进行热解、形成界面涂层的附加层以及利用中间加工在多个周期中致密化的各步骤参考图 1 所述进行。

[0136] 在不同的实施例中，可以使用图 2 的实施方案。

[0137] 上面给出了制造其中包含内平台和 / 或外平台的涡轮机叶片的方法的具体实施方案。该方法可用于制造并不包括内平台或外平台的叶片，并且各平台随后例如与其配合。在这样的环境下，制造纤维预成型件可以通过仅制造纤维带 202 而得以简化。

[0138] 例子 2：制造用于具有后续燃烧的航空发动机燃气涡轮的热喷嘴活板

[0139] 图 17 显示了可操作活板 500，这种类型的可操作活板 500 用于在具有后燃烧的涡轮发动机的排气通道中的可变的截面喷嘴。

[0140] 活板 500 包括活板本体 510，活板本体 510 的形式基本为在两个纵向边缘 511、512 之间延伸的圆柱部分。在活板 500 的凹面上形成更硬的肋 520、530。在活板的一个纵向端部 501 处，板 540 紧固到肋 520 和 530 之间的活板的凹面，板 540 支撑用于穿过活板 500 的铰接销（未显示）的孔眼 541、542。另一个板 550 紧固到活板的凹面，并且紧固到肋 520、530。板 550 位于肋 520、530 之间并远离端部 501，并且其 承载用于连接到致动器（未显示）的铰接部 552，该致动器控制活板的角度位置。活板本体 510 的形式为与肋 520 和 530 一起的单块 CMC 材料，同时板 540、550 例如由耐火金属材料制成。

[0141] 图 18 为纤维坯料 600 的高度简略的视图，由纤维坯料 600 可以形成用于活板本体的纤维预成型件，从而在通过基质进行致密化并进行加工之后获得活板本体，像如图 17 所

示的本体 510。

[0142] 坯料 600 的形式为具有纵向方向 X 的带，该带的宽度选择为待制造活板本体 510 的展开宽度（即，其已经被展平之后的宽度）的函数。坯料 600 的厚度基本恒定，并且确定为待制造活板的厚度的函数。图 18 中显示了单个坯料 600，应当理解，一连串这样的坯料按照连续纤维带的形式进行编织。坯料 600 利用通过 3D 编织而连结的叠置的多层纱线而制成。各层纱线之间的连结在具有坯料的除了区域 602 的整个厚度上进行，区域 602 在距离 D 上纵向延伸，距离 D 选择为待制造活板本体 510 的肋 520、530 之间的平展投影的距离的函数。剥离区域 602 基本位于横穿坯料 600 的厚度的一半处，在剥离区域 602 的任一侧上的多组纱线层 604 和 606 在该区域的整个长度上分离。

[0143] 图 19 和 20 示意性地显示了如何由纤维坯料 600 获得纤维预成型件，纤维预成型件的形状接近于活板本体 510 的形状。

[0144] 在方向 X 上，为坯料 600 保留的尺寸选择为待制造活板本体 510 的长度的函数。

[0145] 从纤维坯料的各面 605 中的一个面开始，一组纱线层 604 的一部分通过切除而移除，这部分在纤维坯料的整个长度上平行于方向 X 而延伸。被移除的部分的厚度直至非连结区域 602。在垂直于方向 X 的方向 Y 上，已移除部分呈现的尺寸 d 小于 D，从而保留纱线层组 604 的断片 604a 和 604b，纱线层组 604 在选择为待制造活板本体 510 上的肋 520、530 的宽度的函数的长度上且在方向 Y 上延伸（图 19）。

[0146] 随后，通过具有变形的模铸而获得待制造的活板本体 510 的纤维预成型件 700，以便再现活板本体的弯曲轮廓，并且折回部分 604a 和 604b，从而获得用于活板本体的肋 520、530 的预成型件部分（图 20）。

[0147] 图 21A 和 21B 示意性地显示了对坯料 600 进行 3D 编织的方法。图 21A 是在未呈现剥离的坯料 600 的一部分中的两个连续经线截面平 面的放大的断面图，同时图 21B 显示了包括剥离区域 602 的坯料 600 的那部分中的两个连续经线截面平面。

[0148] 在该例子中，坯料 600 具有在方向 X 上延伸的六层经纱。在图 21A 中，六层经纱通过纬纱 T_1 至 T_5 而连结，编织物是双罗纹型的。在图 21B 中，形成纱线层组 604 的三层经纱通过两根纬纱 T_1、T_2 而连结，并且相似地，形成纱线层组 605 的三层经纱通过两根纬纱 T_4 和 T_5 而连结。剥离区域 602 将两组经纱层 604 和 605 彼此分开。

[0149] 如图 22 中非常简略地所示，通过编织带 700 而获得多个纤维坯料 600，在带 700 中形成一排或多行连续坯料。在经线方向（只是经纱）上以及在纬线方向（只是纬纱）上形成额外长度区域 710、720，以便避免与编织相关的边缘现象，从而在制成预成型件时保留更大的变形自由度，并且在坯料 600 之间提供过渡区域。

[0150] 图 23 显示了不同的实施例实施方案，其中带 750 制成为具有在垂直于带的纵向方向的纬线方向上进行编织的一行坯料 600。在经线方向上以及在纬线方向上同样设置额外长度区域 760、770。可以对多行坯料 600 进行编织，并采用相应的带 750 的长度。

[0151] 图 1 中方法的实施方案中的采用纤维表面处理、形成第一层界面涂层、充满固结复合物以及预固化的各步骤在从带 700 或 750 切割出坯料 600 之前进行。

[0152] 在已经切割出坯料之后，在模具中对每一个坯料进行成形、对固结树脂进行固化、对已固化树脂进行热解、形成附加的界面涂层以及利用中间加工在多个周期中致密化的各步骤参考图 1 所示进行。

[0153] 当然，在不同的实施例中，可以使用图 2 的实施方案。

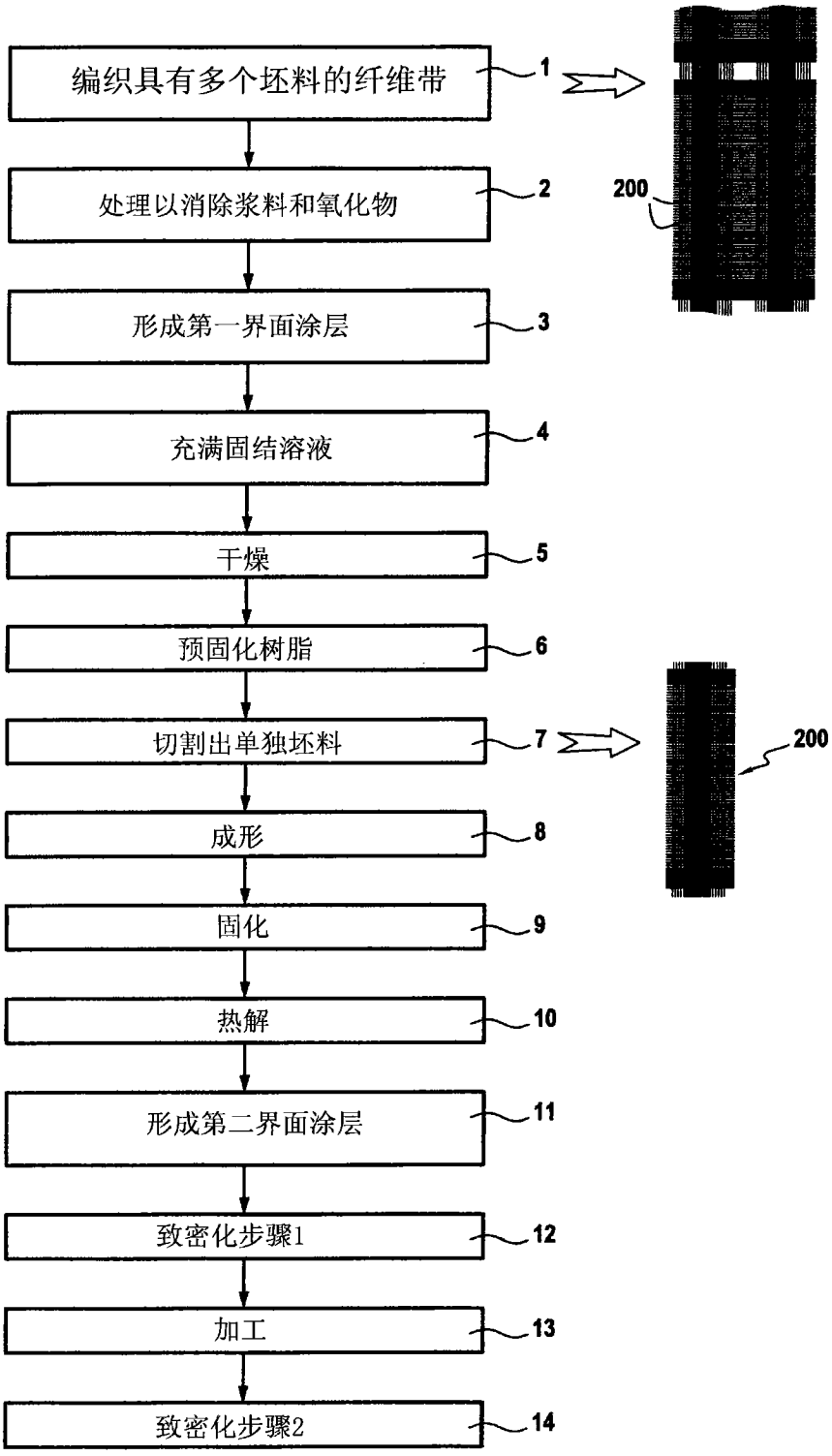

编织具有多个坯料的纤维带
1
处理以消除浆料和氧化物
2
形成第一界面涂层
3
充满固结溶液
4
干燥
5
预固化树脂
6
切割出单独坯料
7
成形
8
固化
9
热解
10
形成第二界面涂层
11
致密化步骤1
12
加工
13
致密化步骤2
14
200
200

图 1

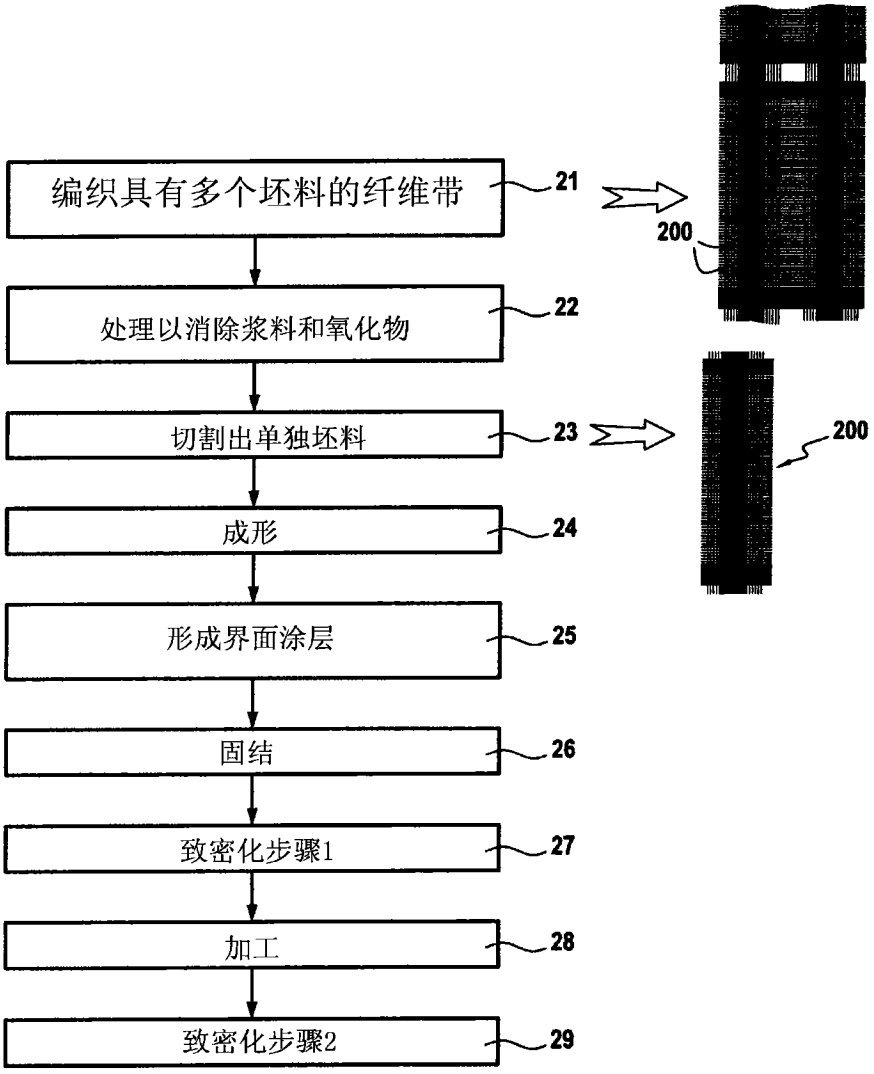

编织具有多个坯料的纤维带
21
200
处理以消除浆料和氧化物
22
切割出单独坯料
23
200
成形
24
形成界面涂层
25
固结
26
致密化步骤1
27
加工
28
致密化步骤2
29

图 2

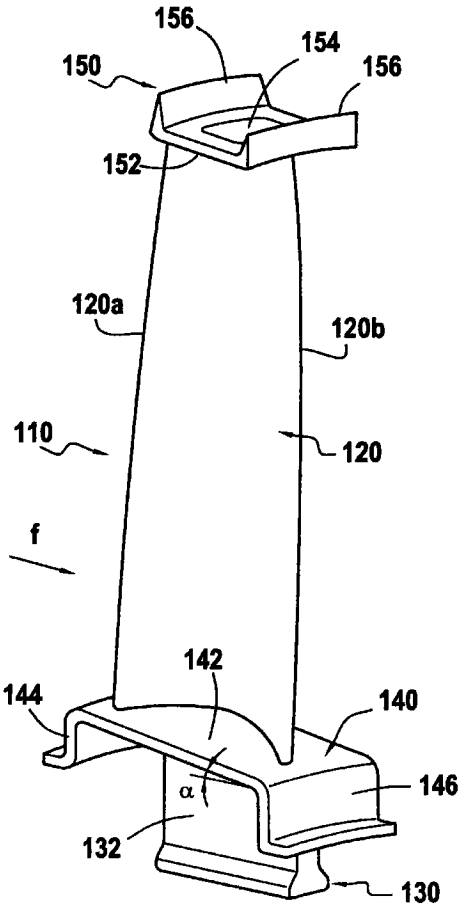

156
154
150
156
152
120a
120b
110
120
f
142
144
140
146
α
132
130

图 3

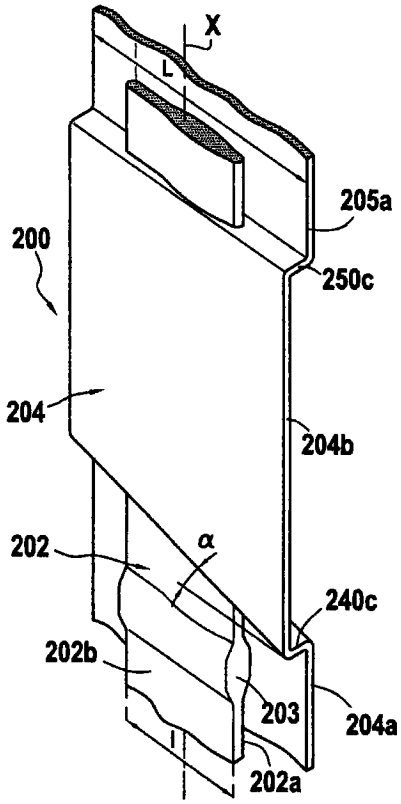

X
L
205a
200
250c
204
204b
202
α
240c
202b
203
204a
202a

图 4

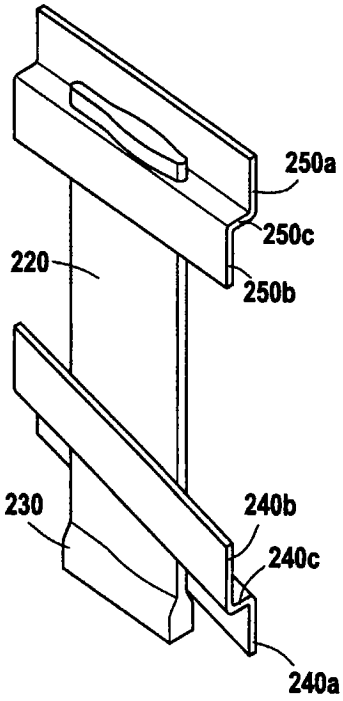

250a
250c
220
250b
230
240b
240c
240a

图 5

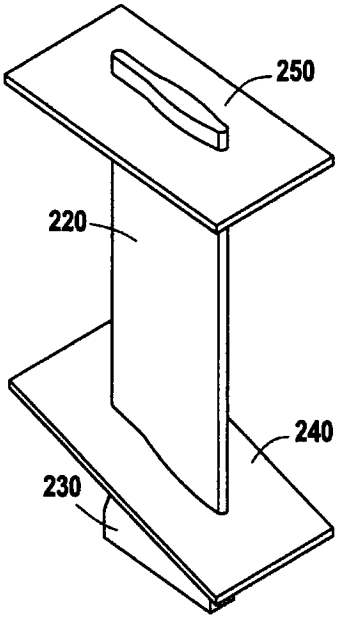

250
220
240
230

图 6

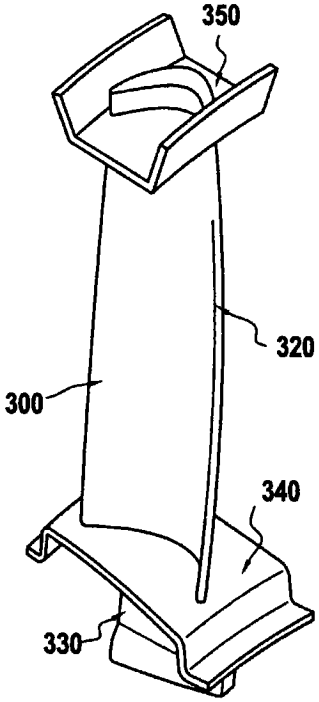

350
320
300
340
330

图 7



图 8

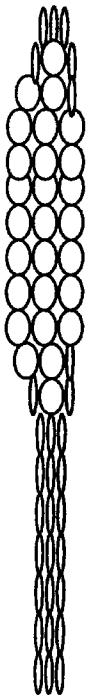


图 9

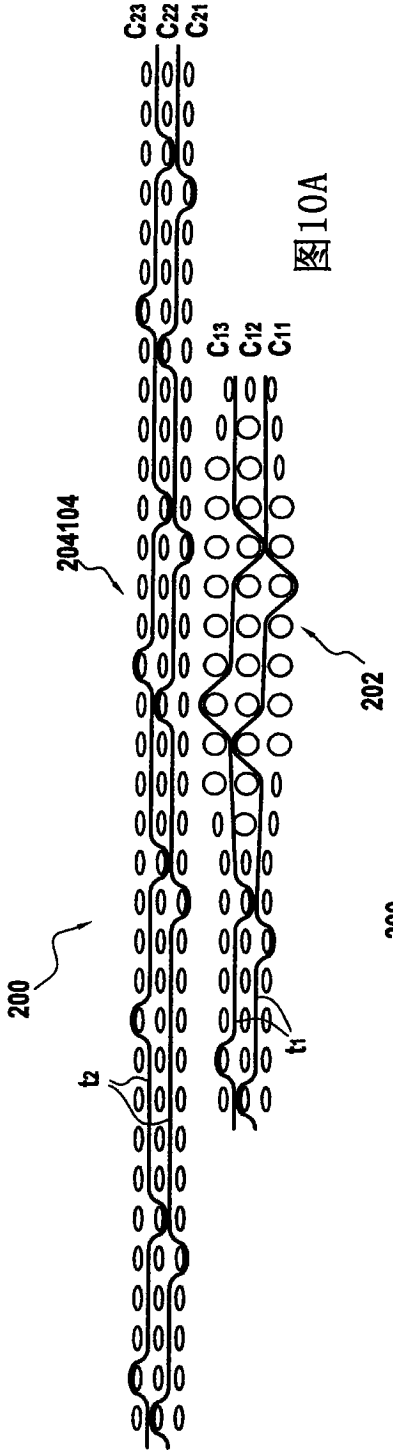

C23
C22
C21
C13
C12
C11
204104
202
200
t2
t1

图10A

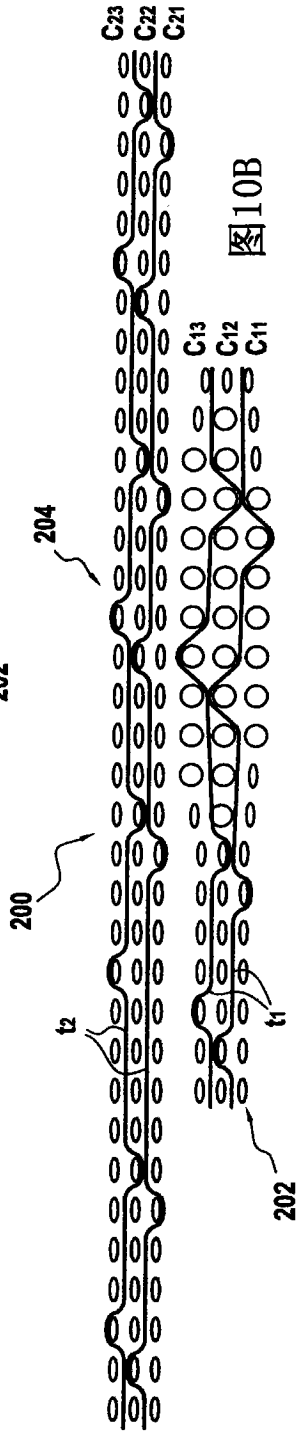

C23
C22
C21
C13
C12
C11
204
200
t2
t1
202

图10B

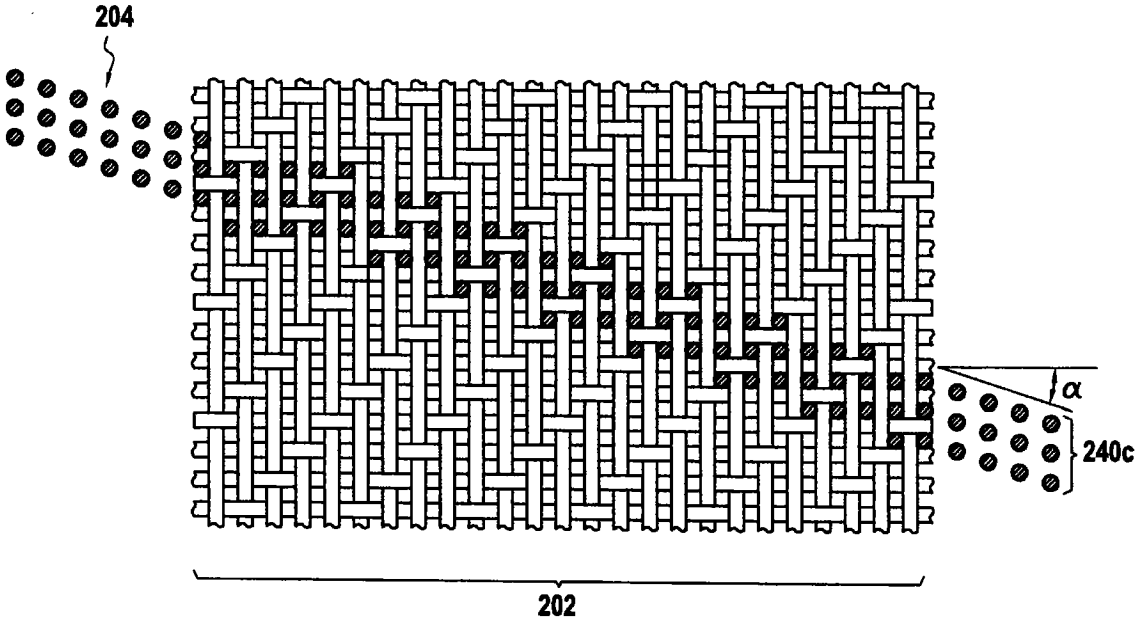


图 11

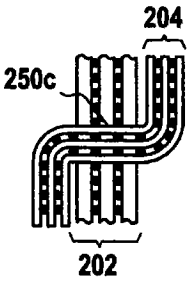


图 12

图13A

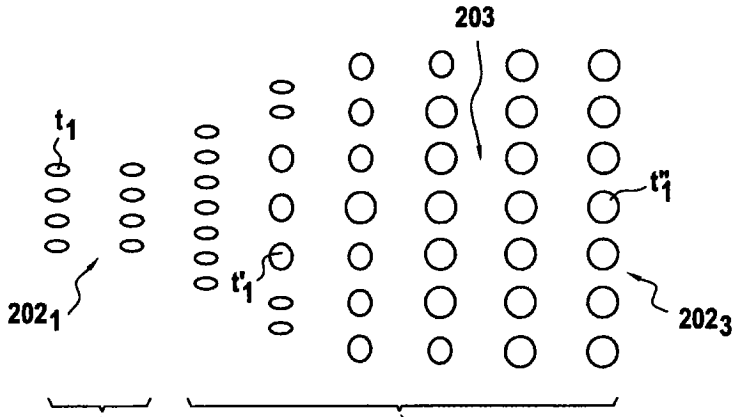


图13B

图13C

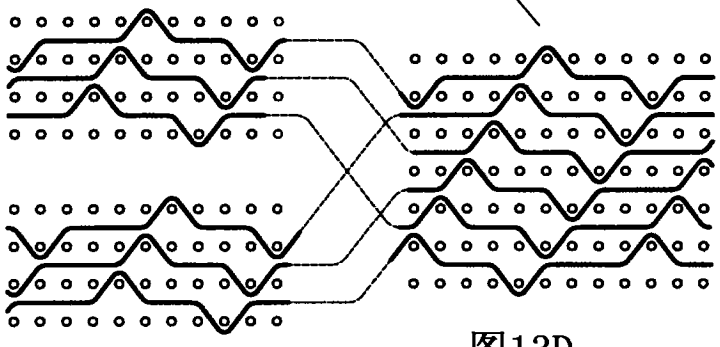


图13D

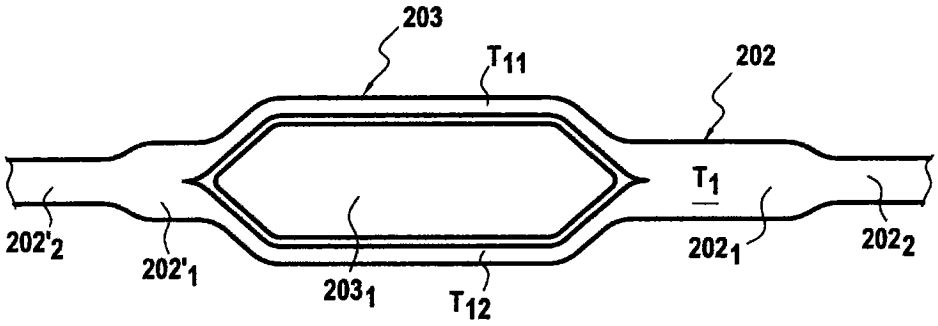


图 14

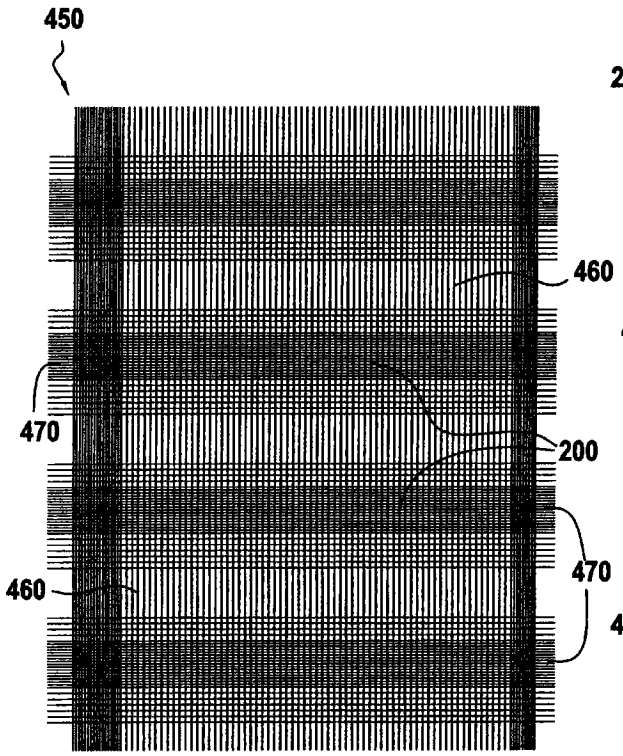


图16

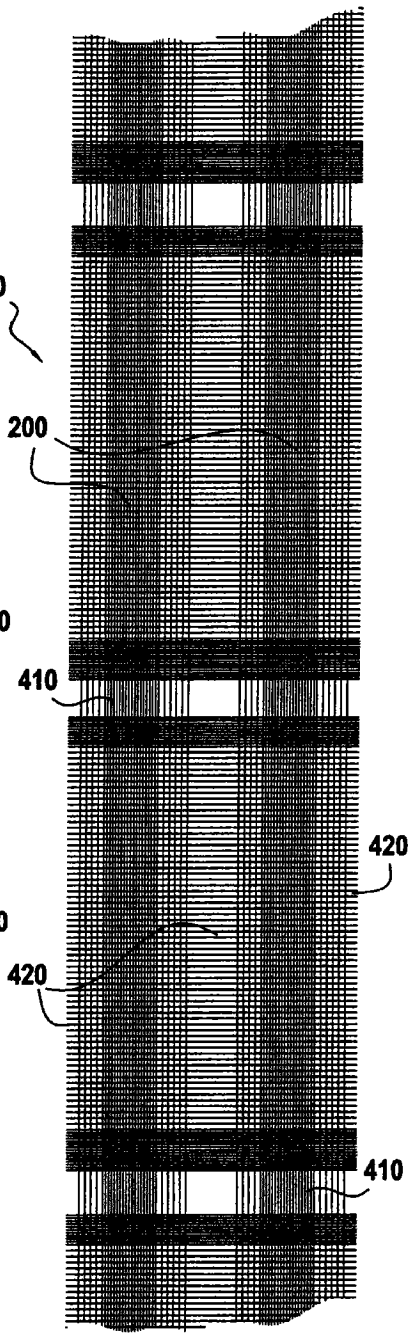


图15

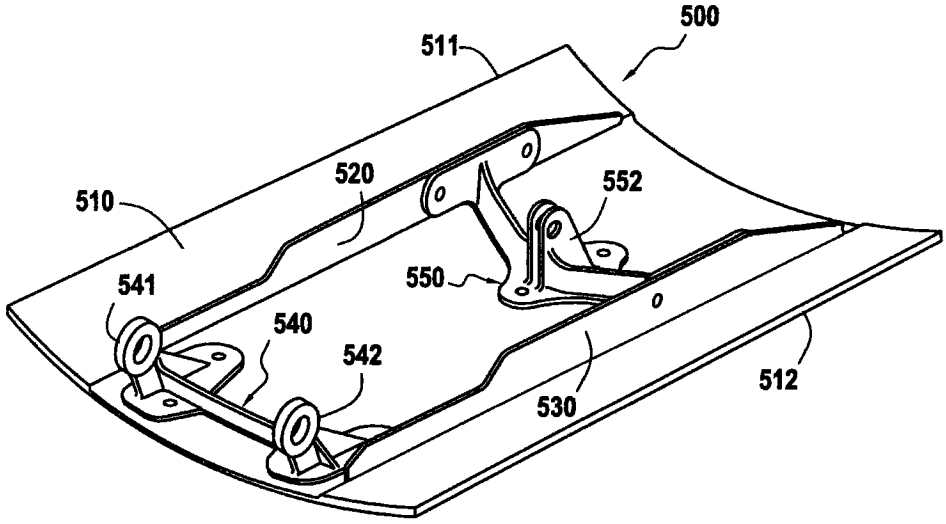


图 17

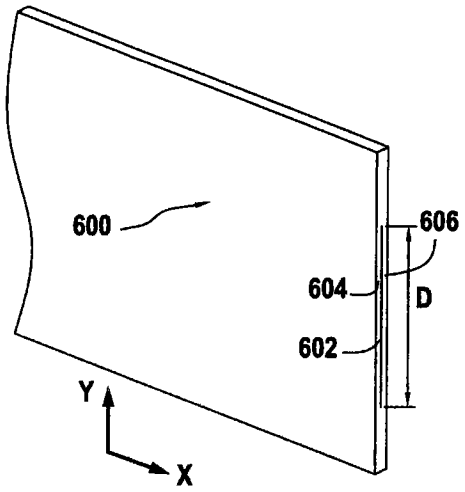
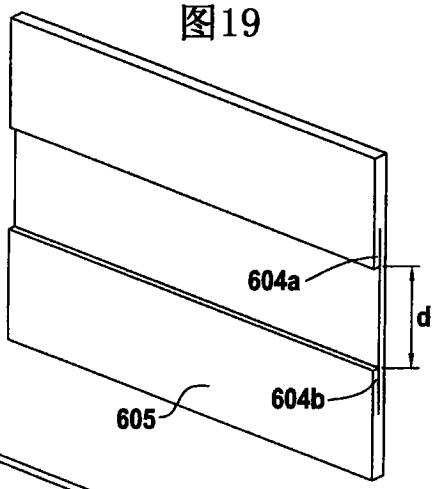


图18

图19



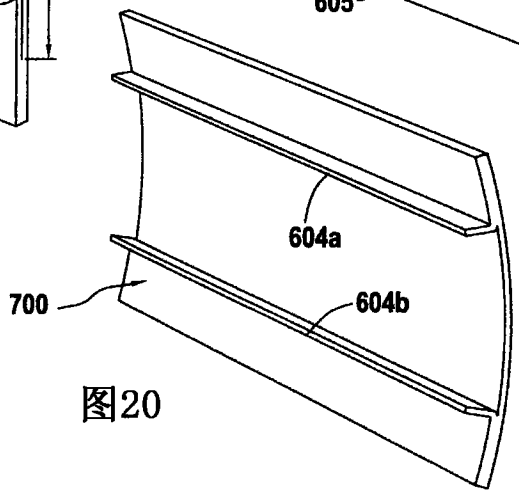


图20

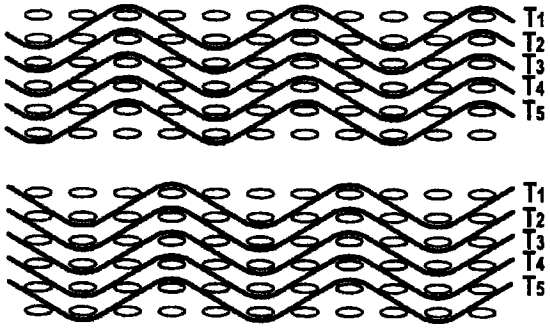


图 21A

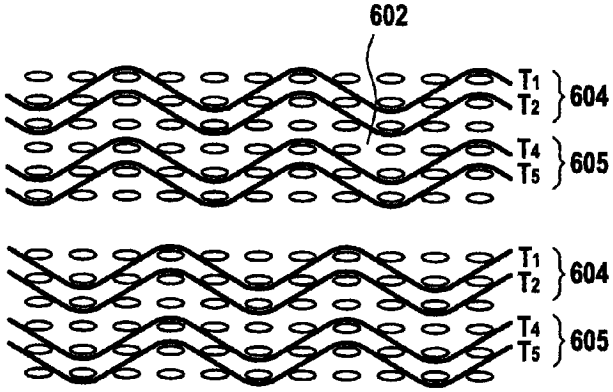


图 21B

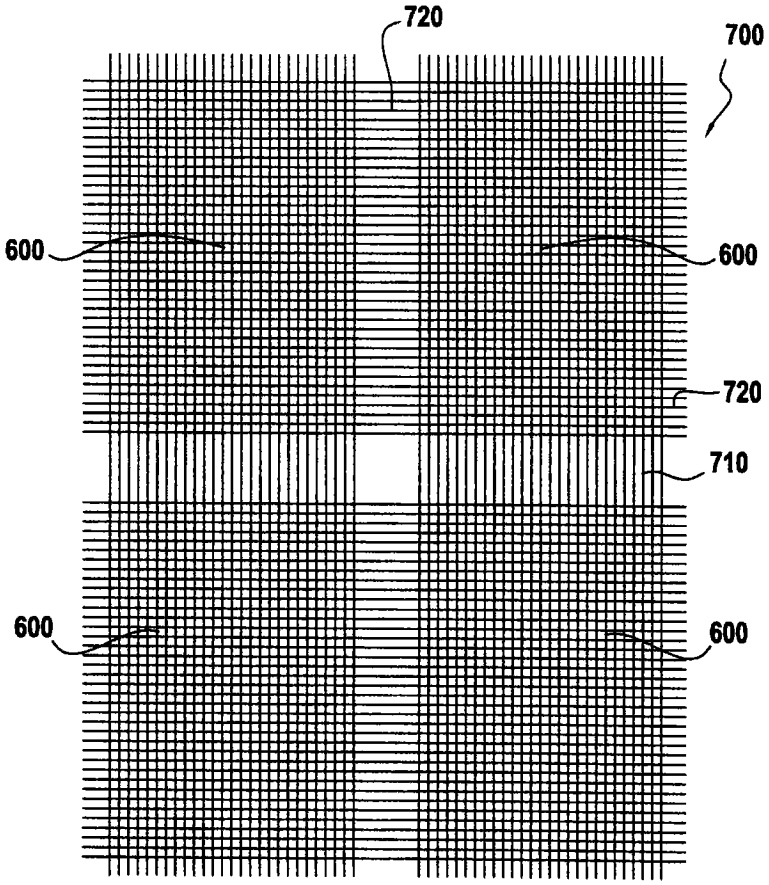


图 22

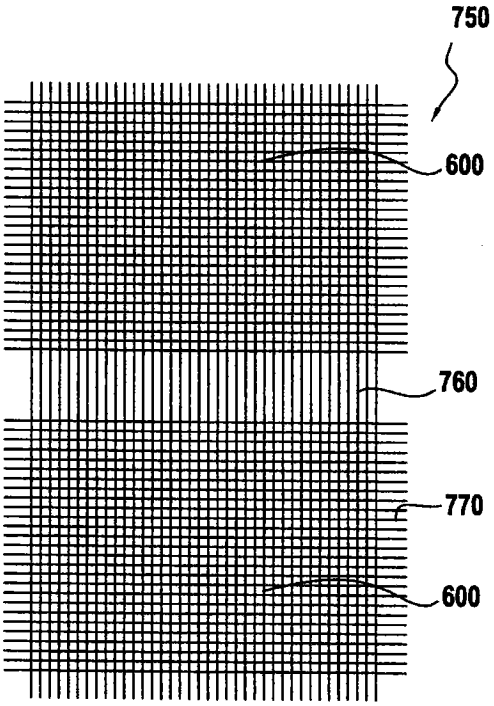


图 23