



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102232020 B

(45) 授权公告日 2014. 06. 04

(21) 申请号 200980147538. 2

代理人 程伟 赵占元

(22) 申请日 2009. 11. 26

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

0858090 2008. 11. 28 FR

B29C 70/24 (2006. 01)

D03D 25/00 (2006. 01)

F01D 5/28 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 05. 26

B29D 99/00 (2006. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/FR2009/052309 2009. 11. 26

(56) 对比文件

US 7241112 B2, 2007. 07. 10,

US 2007/0248780 A1, 2007. 10. 25,

WO 2007/116176 A3, 2007. 10. 18,

CN 1607319 A, 2005. 04. 20,

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/061140 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

审查员 李敏

(72) 发明人 D·库普 C·鲁西耶 J·戈林

J·马泰奥 N·埃贝林-富克斯

G·勒农

(74) 专利代理机构 北京戈程知识产权代理有限公司

公司 11314

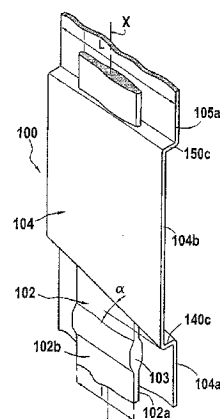
权利要求书2页 说明书11页 附图8页

(54) 发明名称

复合材料涡轮机组发动机叶片及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种复合材料的涡轮机发动机叶片,所述叶片包括通过基质而被致密化的纤维增强件,并且该叶片的制造方法包括:-通过三维编织来将纤维坯体(100)制成为一体件部分;-对所述纤维坯体加工成形,从而获得一整件的纤维预型件,该纤维预型件具有第一部分和至少一个第二部分,所述第一部分形成了叶片翼面和根部的预型件,所述至少一个第二部分形成了叶片缘板和柱脚的预型件;并且-通过基质来对所述预型件进行致密化,以获得具有纤维增强件的复合材料叶片,该纤维增强件由所述预型件构成并被所述基质进行了致密化,从而形成了带有内嵌的内缘板和/或柱脚的单一部分。



1. 一种利用复合材料来制造涡轮机组的叶片的方法,所述叶片包括通过基质而被致密化的纤维增强件,所述方法包括:

- 通过三维编织来制成一整件的纤维坯体;
- 对所述纤维坯体加工成形,以获得一整件的纤维预型件,该纤维预型件具有第一部分和至少一个第二部分,所述第一部分形成了叶片翼面和根部预型件,所述至少一个第二部分形成了用于叶片内缘板或者叶片外缘板的预型件;并且
- 利用基质来对所述纤维预型件进行致密化,以获得具有纤维增强件的复合材料叶片,该纤维增强件由所述预型件构成并被所述基质进行了致密化,从而形成了带有结合的内缘板和/或外缘板的单一部分,

所述一整件的纤维坯体被编织成包括第一部分,所述第一部分要在加工之后构成所述纤维预型件的第一部分,并具有第二部分,所述第二部分要在加工之后构成所述纤维预型件的第二部分。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,在与待被制造的叶片的纵向方向相对应的所述纤维坯体的纵向方向上,所述纤维坯体包括第一组多个纱线层和第二组多个纱线层,该第一组多个纱线层一起联接起来形成了坯体的第一部分,该第一部分对应于用于所述叶片翼面和根部的预型件,所述第二组多个纱线层至少局部地联接起来,以形成坯体的至少一个第二部分,该至少一个第二部分对应于用于叶片内缘板或叶片外缘板的预型件,所述第一组纱线层和第二组纱线层被同时编织,其中所述第一组纱线层的纱线不与所述第二组纱线层的纱线联接,并且其中使得所述第二组纱线层的纱线在所述坯体的第二部分或每个第二部分的水平高度上交叉穿过所述第一组纱线层。

3. 如权利要求2所述的方法,其特征在于,所述纤维坯体利用第二组连续的纱线层来进行编织,并且对所述纤维坯体的加工成形包括:通过将在所述纤维坯体的所述第二部分或者每个第二部分的之外的第二组纱线层的多个部分切掉而去除该多个部分。

4. 如权利要求2所述的方法,其特征在于,在所述第二组纱线层的纱线交叉穿过所述第一组纱线层的位置处或至少一个位置处,第一组纱线层和第二组纱线层之间的交叉点沿着一条线排列,该线并不正交于所述纤维坯体的纵向方向。

5. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述纤维坯体的第一部分中,并且在与沿着待被制造的叶片当中的具有变化厚度的翼面的轮廓延伸的方向相对应的方向上,所述第一组纱线层中的纱线层数量是恒定的。

6. 如权利要求5所述的方法,其特征在于,所述第一组纱线层的多个纱线具有变化的重量。

7. 如权利要求5所述的方法,其特征在于,所述第一组纱线层的多个纱线具有变化的支数。

8. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,包括多个连续的纤维坯体的条带是通过三维编织而制成的。

9. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述多个坯体被编织,其中它们的纵向方向在纬纱方向上延伸,该纵向方向对应于待被制造的叶片的方向。

10. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述多个坯体被编织,其中它们的纵向方向在经纱方向上延伸,该纵向方向对应于待被制造的叶片的方向。

11. 一种由复合材料制成的涡轮机组叶片,该复合材料包括纤维增强件,该纤维增强件通过对纱线进行三维编织而获得并且被基质进行了致密化,

其特征在于,所述叶片包括第一部分,该第一部分构成叶片的翼面和根部,该叶片的翼面和根部与构成叶片内缘板或叶片外缘板的至少一个第二部分一起形成为单一部分,并且,分别对应于所述叶片的第一部分和第二部分的纤维增强件的第一部分和第二部分至少局部互相交织,其中纤维增强件的第一部分的纱线穿入到纤维增强件的第二部分当中,以及构成对应于所述叶片的第二部分的所述纤维增强件的那部分的纱线交叉穿过对应于所述叶片的第一部分的所述纤维增强件的那部分。

12. 如权利要求 11 所述的叶片,其特征在于,它由陶瓷基复合材料制成。

13. 如权利要求 11 所述的叶片,其特征在于,所述叶片的翼面具有变化厚度的轮廓,对应于所述叶片的第一部分的纤维增强件的那部分沿着该轮廓具有恒定数量的纱线层,该纱线层沿着所述叶片的纵向方向延伸并具有变化的重量和 / 或支数。

14. 如权利要求 11 所述的叶片,其特征在于,所述叶片的翼面具有变化厚度的轮廓,对应于所述叶片的第一部分的纤维增强件的那部分沿着该轮廓具有变化数量的纱线层,该纱线层沿着所述叶片的纵向方向延伸。

15. 一种涡轮机组,其装配有通过实施权利要求 1 至 10 中任意一项所述的方法而制造的叶片。

16. 一种涡轮机组,其装配有根据权利要求 11 至 14 中任意一项所述的叶片。

复合材料涡轮机组发动机叶片及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及由复合材料制成的涡轮机组叶片,该复合材料包括通过基质(matrix)而致密化的纤维增强件。

[0002] 预期的技术领域是用于航空发动机或工业涡轮机的气体涡轮机叶片领域。

背景技术

[0003] 已经提出多种方案来利用复合材料制造涡轮机组叶片。作为实例,可以参考文献 EP 1 526 285,其描述了通过制造纤维预型件(fiber preform)来制造风机叶片,该纤维预型件是通过三维编织并利用有机基质对该预型件进行致密化而制成的。

[0004] 此外,为了制造在工作中暴露于高温下涡轮机组的结构部分,已经提出了使用热结构复合材料(thermostructural composite materials),特别是使用陶瓷基复合(CMC)材料。与金属合金相比,这种材料可以呈现增强的抗高温能力并具有较小的重量。特别是对于航空发动机的气体涡轮机而言,希望既要减少重量又要减少由于温度提高而导致污染排放。

发明内容

[0005] 因此,希望具有由复合材料制成的可用的涡轮机组叶片,特别而言但并不是必须的,由诸如 CMC 的热结构复合材料制成,其用于涡轮机组的涡轮机或者压缩机,它们的叶片需要呈现所需的机械性能同时还具有相对复杂的形状。

[0006] 为此,本发明提供了一种利用复合材料来制造涡轮机组的叶片的方法,所述复合材料包括通过基质而被致密化的纤维增强件,所述方法包括:

[0007] • 通过三维编织来制成一整件的纤维坯体;

[0008] • 对所述纤维坯体加工成形,以获得一整件的纤维预型件,该纤维预型件具有第一部分和至少一个第二部分,所述第一部分形成了叶片翼面(blade airfoil)和根部预型件(root preform),所述至少一个第二部分形成了用于内叶片平台或者外叶片平台(inner or outer blade platform)的预型件;并且

[0009] • 利用基质来对所述预型件进行致密化,以获得具有纤维增强件的复合材料叶片,该复合材料叶片由所述预型件构成并被所述基质进行了致密化,从而形成了带有结合一体的内缘板(inner platform)和/或外缘板(outer platform)的单一部分。

[0010] 通过从坯体中来制造叶片的纤维增强件(该坯体是通过三维编织而获得的单一部分),可以确保在纤维增强件的多个部分之间具有具有至少局部的相互交织,所述纤维增强件的多个部分对应于形成翼面和根部的叶片部分以及对应于形成内缘板或外缘板的每个部分。

[0011] 这有助于为具有结合一体的内和/或外缘板的叶片提供所需的机械性能,特别是在形成翼面和根部的部分以及形成内缘板或外缘板的该部分或形成内缘板或外缘板的每个部分之间的连接处提供所需的机械性能。

[0012] 根据所述方法的有利的特征,在与待被制造的叶片的纵向方向相对应的所述纤维坯体的纵向方向上,所述纤维坯体包括第一组多个纱线层(layers of yarns)和第二组多个纱线层,该第一组多个纱线层一起联接起来形成了坯体的第一部分,该第一部分对应于用于所述叶片翼面和根部的预型件,所述第二组多个纱线层至少局部地联接起来以形成至少一个坯体的第二部分,该坯体的第二部分对应于用于内叶片平台或外叶片平台的预型件,其中所述第一组纱线层的纱线不与所述第二组纱线层的纱线联接,并且其中所述第二组纱线层的纱线在所述坯体的该第二部分或每个第二部分的水平高度上交叉穿过所述第一组纱线层。

[0013] 这种非联接区域的布置使得不需要对联接的纱线进行切割就能够对纤维预型件加工成形,其中这种切割会降低纤维增强件的机械强度并因此降低所产生的叶片的机械强度。

[0014] 根据所述方法的另一个特征,所述纤维坯体利用第二组连续的纱线层来进行编织,并且对所述纤维坯体的加工成形包括:通过切除,将在所述纤维坯体的所述第二部分或者每个第二部分的之外的第二组纱线层的部分去除。

[0015] 根据所述方法的再一个特征,在所述第二组纱线层的纱线交叉穿过所述第一组纱线层的位置处或至少一个位置处,第一组纱线层和第二组纱线层的相交点沿着一条线排列,该线并不正交于所述纤维坯体的纵向方向。这样,就能够利用复合材料来制造出具有内缘板和/或外缘板的叶片,该内缘板和/或外缘板大体上并不垂直于叶片的纵向方向而延伸。

[0016] 根据所述方法的再一个特征,在所述纤维坯体的第一部分中,并且在与沿着待被制造的叶片当中的具有变化厚度的翼面的轮廓延伸的方向相对应的方向上,所述第一组纱线层中的纱线层数量是恒定的。那么,该第一组纱线的多个纱线可以具有变化的重量和/或支数(counts)。

[0017] 有利地,包括多个连续的纤维坯体的条带是通过三维编织而制成的。这些坯体可以随后从条带中切割下来。该多个坯体可以被这样编织,其中待被制造的叶片的纵向方向在纬纱方向上或在经纱方向上延伸。

[0018] 本发明还提供了一种由复合材料制成的涡轮机组叶片,该复合材料包括纤维增强件,该纤维增强件通过对纱线进行三维编织而获得并且被基质进行了致密化,所述叶片包括第一部分,该第一部分构成叶片的翼面和根部,该叶片的翼面和根部与构成内叶片平台或外叶片平台的至少一个第二部分一起形成成为单一部分,并且,对应于所述叶片的第一部分和第二部分的纤维增强件的两个部分至少局部互相交织,其中纤维增强件的部分之一的纱线穿入到纤维增强件的另一个部分当中。

[0019] 所述叶片可以由陶瓷基复合材料制成。

[0020] 根据所述叶片的特征,构成对应于所述叶片的第二部分的部分的所述纤维增强件的那部分的纱线交叉穿过对应于所述叶片的第一部分的部分的所述纤维增强件的那部分。

[0021] 所述叶片的翼面可以具有变化厚度的轮廓,对应于所述叶片的第一部分的纤维增强件的那部分沿着该轮廓,在叶片的纵向方向上具有恒定数量的纱线层,该纱线层具有变化的重量和/或支数,或者在叶片的纵向方向上具有变化数量的纱线层。

[0022] 本发明还提供了一种装配有如上限制的叶片的涡轮机组。

附图说明

[0023] 通过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:

[0024] • 图 1 是一体结合有外缘板和内缘板的涡轮机组叶片的立体图;

[0025] • 图 2 是在三维编织纤维坯体中设置两组纱线层,以用来制造用于图 1 所示类型的叶片的纤维预型件的高度图示性的视图;

[0026] • 图 3、4 和 5 显示了在从图 2 中的纤维坯体开始制造用于如图 1 所示的叶片的纤维预型件时的连续步骤;

[0027] • 图 6 为显示了制成例如如图 1 所示的布置为扁平叶片翼面的轮廓的截面图;

[0028] • 图 7 为通过适于获得例如如图 6 所示轮廓的一组经纱纱线层的截面图;

[0029] • 图 8A 和 8B 为经纱截面图,显示了编织图 2 中的纤维坯体的一种方式;

[0030] • 图 9 为在与图 2 中的纤维坯体的一部分的经纱方向和纬纱方向相平行的平面上的断片截面图,该部分对应于叶片和其内缘板之间的接合位置;

[0031] • 图 10 为图 2 中的纤维坯体的一部分的纬纱截面中的断片视图,该部分对应于叶片和其外缘板之间的接合位置;

[0032] • 图 11A 为显示在纤维坯体的一部分中纬纱纱线布置的实例的纬纱截面视图,该部分对应于叶片根部的一部分;

[0033] • 图 11B 至 11D 为显示用于在图 11A 的纤维坯体部分中进行(多层)三维编织的一个实例的经纱平面的纬纱截面视图;

[0034] • 图 12 是对应于叶片根部的坯体部分的另一种实施例的断片的截面示意图;

[0035] • 图 13 和 14 为显示制造编织纤维条带的方法的高度图示性的视图,该编织纤维条带通过三维编织并且包括如图 2 所示那种纤维坯体而制成;

[0036] • 图 15 显示了制造根据本发明的涡轮机组叶片的实施方法的连续步骤;

[0037] • 图 16 显示了制造根据本发明的涡轮机组叶片的另一实施方法的连续步骤。

具体实施方式

[0038] 本发明可以应用到多种类型的具有结合一体的内缘板和/或外缘板的涡轮机组叶片,特别是用于各种燃气涡轮转子(spools)的压缩机和涡轮机叶片,例如如图 1 所示的用于低压(LP)涡轮机的叶轮(rotor wheel)的叶片。

[0039] 图 1 中的叶片 10 以公知的方式包括:翼面 20;由较大厚度的部分所构成的根部 30,例如,该较大厚度的部分呈由柄脚 32 延伸出的灯泡形横截面的形状;位于柄脚 32 和翼面 20 之间的内缘板 40;以及外缘板 50,其位于叶片自由端的附近。

[0040] 翼面 20 在内缘板 40 和外缘板 50 之间在纵向方向上延伸,并且以如下的横截面延伸,该横截面在其前缘(leading edge)20a 和后缘(trailing edge)20b 之间呈厚度变化的弯曲轮廓。

[0041] 叶片 10 通过将其根部 30 接合在对应形状的壳体中而安装在涡轮机转子(图中未示)上,该对应形状的壳体形成在转子的外围。根部 30 通过柄脚 32 延伸,从而与内缘板 40 的内部(或者底部)面结合。

[0042] 在翼面 20 的径向内端上,翼面 20 连接至内缘板 40 的外部(或者顶部)面 42,该表面限制了气流穿过涡轮机的流道的内侧。在其上游端部分和下游端部分(相对于气流的流动方向 f) 当中,内缘板由边 44 和 46 而终止。在所示的实例当中,内缘板的面 42 是倾斜的,其相对于与叶片的纵向方向相正交的方向大体形成了非零角度 α 。取决于气流的流道的内表面所需的轮廓,角度 α 可以是零度,或者面 42 可以具有大体上非直线的轮廓,例如,呈弯曲的轮廓。

[0043] 在翼面的径向外端,所述翼面通过其内部(或者底部)面 52 而与外缘板 50 相结合,该内面 52 用来限制了气流的流道的外侧。在外缘板的外侧(或顶部)上,外缘板限制了凹进或浴缸(bathtub)54。沿着该浴缸 54 的上游边缘和下游边缘,所述外缘板携带有齿状轮廓的接触刷(wipers)56,所述接触刷的尖端穿入到涡轮机环(turbine ring)内(图中未示)的可磨损材料层当中,从而减少叶片尖端和涡轮机环之间的间隙。在所示的实例当中,外缘板的面 52 大致上垂直于叶片的纵向方向而延伸。在变型当中,取决于气流的流道的外表面所需的轮廓,面 52 可以是倾斜的,其相对于与叶片的纵向方向相正交的方向大体上形成了非零角度,或者面 52 可以具有大体上非直线的轮廓,例如,弯曲的轮廓。

[0044] 图 2 是纤维坯体 100 的高度示意性的图,从该纤维坯体中能够形成叶片纤维预型件,从而在通过基质而致密化并且还可以加工之后,获得了由纤维材料制成的如图 1 所示类型的结合有内缘板和外缘板的叶片。

[0045] 坯体 100 包括通过三维编织或多层编织而获得的两个部分 102 和 104,图 2 中仅仅显示了这两个部分的包层(envelopes)。在加工成形之后,部分 102 将构成对应于叶片的翼面和根部的预型件的叶片纤维预型件部分。在加工成形之后,部分 104 将构成对应于叶片的内缘板和外缘板的预型件的叶片纤维预型件部分。

[0046] 两个部分 102 和 104 呈条带的形式,其大体沿着对应于待被制造的叶片的纵向方向的方向 X 进行延伸。在将被形成翼面预型件的部分当中,纤维条带 102 呈现出变化的厚度,该变化的厚度被确定为待被制造的叶片的翼面轮廓的厚度的函数。在将形成为根部预型件的部分当中,纤维条带 102 呈现出额外的厚度 103,该额外的厚度 103 被确定为待被制造的叶片的根部的厚度的函数。

[0047] 纤维条带 102 具有宽度 1,该宽度 1 被选定为待被制造的叶片的翼面和根部的展开(扁平)轮廓的函数,而纤维条带 104 的宽度 L 大于 1,且宽度 L 被选定为待被制造的叶片的内缘板和外缘板的展开长度的函数。

[0048] 纤维条带 104 具有大致恒定的厚度,该厚度被确定为待被制造的叶片的缘板的厚度的函数。条带 104 具有第一部分 104a、第二部分 104b 和第三部分 105a,该第一部分 104a 沿着条带 102 的第一面 102a 并在该第一面 102a 旁边延伸,该第二部分 104b 沿着条带 102 的第二面 102b 并在该第二面 102b 旁边进行延伸,该第三部分 105a 沿着条带 102 的第一面 102a 并在该第一面 102a 旁边进行延伸。

[0049] 部分 104a 和 104b 通过连接部分 140c 而连接在一起,该连接部分 140c 在对应于待被制造的叶片的内缘板的位置上相对于条带 102 而横向延伸。连接部分 140c 与条带交叉,从而与正交于纤维坯体的纵向方向的方向形成了角度 α 。部分 104b 和 105a 通过连接部分 150c 而连接在一起,该连接部分 150c 在对应于待被制造的叶片的外缘板的位置上相对于条带 102 而横向延伸。在所示的实例当中,连接部分 150c 在大致垂直于纤维坯体的纵

向方向 X 上与条带 102 交叉。取决于叶片的外缘板的所需形状,连接部分 150c 可以与条带 102 交叉而与正交于叶片的纵向方向 X 的方向形成非零角度,这与内缘板类似。此外,连接部分 140c 的轮廓和 / 或连接部分 150c 的轮廓可以是曲线形的,而不是如实例中所示的直线形的。

[0050] 正如下面更加详细描述的那样,条带 102 和 104 通过三维编织而同时进行编织,而不需要在条带 102 和条带 104 的多个部分 104a、104b 和 105a 之间的任何联接,其中多个相继的坯体 100 在方向 X 上连续编织。

[0051] 图 3 至图 5 显示了如何能够从纤维坯体 100 中得到形状上接近于待被制造的叶片的形状的纤维预型件的高度示意性的图。

[0052] 纤维条带 102 在额外厚度 103 的一端处被切割,并在稍微超过连接部分 150c 的另一端处被切割,从而具有了长度对应于待被制造的叶片的纵向方向的条带 120,该条带 120 带有扩大部分 130,该扩大部分 130 由额外厚度 103 的部分形成并且其位置对应于待被制造的叶片的根部的位置。

[0053] 此外,在条带 104 的多个部分 104a 和 105a 的端部中、并在它的部分 104b 中,形成了多个切口,从而如图 3 所示,在连接部分 140c 的任两侧上留下了节段 140a 和 140b,并在连接部分 150c 的两侧上留下了节段 150a 和 150b。节段 140a 和 140b 以及 150a 和 150b 的长度被确定为待被制造的叶片的缘板的函数。

[0054] 因为在纤维坯体的条带 102 和多个部分 104a、104b 和 105a 之间不具有联接,因此节段 140a、140b、150a 和 150b 能够弯折展开成垂直于条带 102 而无需切割纱线,从而形成了如图 4 所示的板 140、150。

[0055] 随后,通过模制来获得了用于待被制造的叶片的纤维预型件 200,其中条带 102 进行变形从而再复制出叶片翼面的弯曲轮廓,并且板 140 和 150 进行变形,从而复制出类似于叶片的内缘板和外缘板的形状,其如图 5 所示。从而,获得了具有翼面预型件部分 220、根部预型件部分 230 (包括柄脚预型件) 和缘板预型件部分 240 和 250 的预型件。

[0056] 如下所述,有利地,在纤维坯体已经被处理并被注入固结复合物之后,来执行从纤维坯体中制造叶片预型件的步骤。

[0057] 以下将详细描述三维编织纤维坯体 100 的方法。

[0058] 假设利用在坯体的纵向方向 X 上延伸的经纱纱线来进行编织的话,则规定了还可以利用在该方向上延伸的纬纱纱线来进行编织。

[0059] 通过使用变化重量的纬纱纱线来获得了沿着条带 102 的长度上的条带 102 的厚度变化。在变型当中或者除此以外,可以改变经纱纱线的支数 (在纬纱方向上的每单位长度的经纱数量),当通过模制而对预型件加工成形的时候,较少的支数使得更加的纤细 (greater thinning) 成为可能。

[0060] 从而,为了获得图 6 中平投影方式所示的叶片翼面轮廓,可以使用如图 7 所示的具有变化重量和支数的三层经纱纱线。

[0061] 在实施例当中,所使用的纱线可以是碳化硅 (SiC) 纱线,其被日本供应商 Nippon Carbon 以名称“Nicalon”进行供应,该纱线具有 0.5K 的重量 (用细丝的数量来表示,亦即为 500 根细丝)。

[0062] 经纱是利用 0.5K 的 SiC 纱线和通过将两个 0.5K 纱线联合起来的 1K 的 SiC 纱线

制成的,该两个纱线通过包裹而联合在一起。有利地,所述包裹是通过使用一种临时特性的纱线来实施的,这种临时特性的纱线适合于在编织之后被去除,例如,能够通过在水中溶解而被去除的聚乙烯醇纱线(PVA)。

[0063] 下方的表 I 指定了经纱纱线在每一柱中的支数(在轮廓的每厘米长度上的纱线数量)、0.5K 纱线的数量、1K 纱线的数量和用毫米(mm)表示的轮廓厚度,其中所述厚度在 1mm 到 2.5mm 的范围内变化。

[0064] 表 I

[0065]

柱	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
支数	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6
#0.5K 纱线	3	3	3	3	3	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3
#2x0.5K 纱线	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	1.5	2	2.2	2.4	2.5	2.4	2.4	2.2	2.1	1.8	1.5	1.2

[0066] 自然地,取决于可用的纱线重量,对于待被获得的轮廓,能够采用纱线层数量以及支数和重量的各种变化的不同组合。

[0067] 图 8A 和 8B 在经纱截面中显示了两个相继的编织平面,其能够用于在额外厚度 103 的外侧对纤维坯体 100 进行编织。

[0068] 纤维坯体 100 的条带 102 包括一组经纱纱线层,其中在该实例中层的数量等于 3(层 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13})。经纱纱线使用三维编织而通过纬纱纱线 t_1 而联接起来。

[0069] 条带 104 也具有一组经纱纱线层,例如,同样为三层(层 C_{21} 、 C_{22} 、 C_{23}),它们与条带 102 一样通过三维编织而被纬纱纱线 t_2 联接起来。

[0070] 应当注意到,纬纱纱线 t_1 并未延伸到条带 104 的经纱纱线层当中,并且纬纱纱线 t_2 并未延伸到条带 102 的经纱纱线层当中,从而确保它们不会联接起来。

[0071] 在所示的实例当中,编织是使用缎纹(satin)或多缎(multi-satin)类型的编织而进行多层编织。也可以使用其它类型的三维编织,例如通过复平织(multiple plain weave)进行的多层编织或者利用双罗纹编织(interlock weave)而进行的编织。本文中所使用的术语“双罗纹编织”表示在编织中,每个纬纱纱线层与多个经纱纱线层联接在一起,在特定的纬纱栏当中的所有纱线在编织平面当中都具有相同的路径(path)。

[0072] 特别在文献 WO 2006/136755 中描述了各种形式的三维编织,该文献的内容通过引用的方式并入到本文中。

[0073] 图 9 是平行于经纱和纬纱方向的截面视图,其中条带 102 使得条带 104 的连接部分 140c 穿过其中,图中显示了连接部分的经纱纱线的截面。在该连接部分 140c 当中的每个经纱纱线层的延伸方向相对于条带 102 的纬纱方向形成了角度 α 。在编织过程中,通过使得条带 104 的每个经纱纱线单独地穿过条带 102 的经纱和纬纱纱线组,使得条带 104 从条带 102 的一侧穿到另一侧。

[0074] 图 10 是纬纱的截面图,其中条带 104 的连接部分 150c 穿过条带 102。在该实例当中并且如以上所指定的那样,连接部分 150c 垂直于条带 102 的经纱方向而延伸。然而,对于连接部分 140c 而言,取决于外缘板所需的定向,可以使得连接部分 150c 以非零角度相对于与经纱方向正交的方向延伸。

[0075] 如图 11A 中通过实例的方式所示的那样,可以使用更大重量厚度的纬纱纱线并使用纬纱纱线的附加层来获得额外的厚度 103。

[0076] 在图 11A 中,在条带 102 的部分 102_1 和该条带的部分 102_3 之间穿过的纬纱纱线层的数量在该实例中是从四到七,部分 102_1 对应于叶片的柄脚,部分 102_3 表示额外厚度 103。

[0077] 此外,纬纱纱线 t_1 、 t'_1 和 t''_1 使用了不同的重量,例如,纱线 t_1 是“Nicalon”SiC 纱线,其重量为 0.5K(500 根细丝),纱线 t'_1 是通过将两个 0.5K 纱线联合起来而获得的,而纱线 t''_1 通过将三个 0.5K 的纱线联合起来而获得的。

[0078] 在坯体部分 102_3 中进行编织需要比在部分 102_1 中更多数量的经纱纱线层。有利地,这是在部分 102_1 和部分 102_3 之间的过渡来实现的,通过从部分 102_1 中的两个经纱平面中将经纱纱线联合起来,从而在部分 102_3 中构成每个经纱平面,这样通过减少经纱平面的数量来实现该过渡。图 11B 和 11C 显示了在部分 102_1 中两个相邻的经纱平面,图 11D 显示了通过将图 11B 和 11C 中的多个经纱平面联合起来而获得了部分 102_3 中的经纱平面。在图 11B、11C 和 11D 当中,并未显示经纱纱线的不同重量(以图 7 的方式),也未显示纬纱纱

线的重量（以图 11A 的方式），其目的是为了对图进行简化。在图 11B 和 11C 以及图 11D 之间，虚线显示了图 11B 和 11C 中的各层经纱纱线如何形成了图 11D 的经纱纱线层。

[0079] 当然，也可以采用各种数量的纬纱层和纬纱纱线重量的其他组合，以形成额外厚度 103。

[0080] 在图 12 中图示性所示的另外的实施例当中，可以通过在编织条带 102 的同时引入插入件来获得额外厚度 103。

[0081] 在图 12 当中，对应于叶片的柄脚的条带 102 的部分 102_1 当中的纬纱纱线层 T_1 通过在编织过程中进行分开而被分离，从而形成了两个子组件 T_{11} 和 T_{12} ，并且插入件 103_1 插入到它们之间。在所示的实例当中，部分 102_1 比对应于叶片翼面的条带 102 的部分 102_2 要厚。可以通过与如上对于图 11A 中的部分 102_1 和 102_3 之间的过渡所描述的相同方式来获得部分 102_2 和部分 102_1 之间的过渡。在片材 104 以图 2 中的连接部分 140c 的水平高度穿过片材 102 的位置可以穿过较厚的部分 102_1 。

[0082] 在插入件 103 远离部分 102_1 的那个端部，纬纱纱线层的子组件 T_{11} 和 T_{12} 通过以下的方式而重新联合起来，通过编织来形成了与部分 102_1 相同厚度的部分 $102'_1$ ，接着通过减少厚度，部分 $102'_2$ 具有了与部分 102_2 相同的厚度，该部分 $102'_2$ 形成了对应于叶片翼面的那个部分，以用于随后的被编织的坯体。

[0083] 优选地，插入件 103_1 是单一的陶瓷件，优选地利用了与用于待被制造的叶片的复合材料的基质相同的陶瓷材料制成。因此，插入件 103_1 可以是通过对 SiC 粉末进行烧结而获得的 SiC 块。

[0084] 如图 13 非常图示性地所示，通过对条带 300 进行编织而可以获得多个纤维坯体 100，其中形成有一排或多排相继的纤维坯体。在经纱方向（只具有经纱纱线）和纬纱方向（只具有纬纱纱线）中形成了额外长度区域 310、320，以避免与编织有关的边缘现象（edge phenomena），从而在对预型件加工成形的时候留下了更大的变形自由度，并在多个坯体 100 之间提供了过渡区域。

[0085] 图 14 显示了一种变型实施例，其中条带 400 是由在垂直于条带的纵向方向的纬纱方向上进行编织的一排坯体 100 而制成。同样地，额外长度区域 410、420 在经纱方向和纬纱方向上形成。可以编织多排的坯体 100，为此目的，要对条带 400 的宽度进行调整。

[0086] 图 15 中给出了在本发明的实施例当中，复合材料的叶片的制造方法的连续步骤。

[0087] 在步骤 501 当中，通过三维编织来对纤维条带进行编织，该条带包括多个纤维坯体，例如，如图 13 所示，在经纱方向上延伸的多排纤维坯体。对于将被在高温下使用的涡轮机组叶片而言，并且特别在腐蚀环境中（特别是潮湿环境）而言，使用由陶瓷材料（特别是碳化硅（SiC）纤维）制成的纱线来进行该编织。

[0088] 在步骤 502 中，对纤维条带进行处理，以去除纤维上存在的油并从纤维表面中去除氧化物。通过酸性处理来去除氧化物，特别是通过浸入到氢氟酸的溶液当中来去除氧化物。如果所述油不适合通过酸性处理来去除的话，则执行用来去除所述油的预处理，例如通过短暂的热处理使其分解。

[0089] 在步骤 503 中，通过化学气相渗透（CVI）来在纤维条带的纤维上形成界面涂覆的薄层。该界面涂覆材料由例如热解碳（PyC）、氮化硼（BN）、或者掺硼碳（BC，例如，具有百分之五到百分之二十的原子百分比的硼，其余为碳（C））构成。界面涂覆的薄层优选地为小厚

度,例如不超过 100 纳米 (nm),或者更佳地不超过 50nm,从而确保了纤维坯体保持良好的变形性能。厚度优选地不小于 10nm。

[0090] 在步骤 504 中,纤维被界面涂覆的薄层所涂覆的纤维条带被注入了固结复合物,典型地为注入了树脂,该树脂选择性地可以在溶剂中溶解。可以使用碳前体 (carbon precursor) 树脂,例如可以使用酚醛树脂或呋喃树脂 (furanic resin)、或陶瓷前体 (ceramic precursor),例如构成用于 SiC 的前体的聚硅氮烷树脂或者聚硅氧烷树脂。

[0091] 通过去除溶剂而干燥之后 (如果存在溶剂的话),从树脂中去除溶剂 (步骤 505),该树脂可以被预先固化 (步骤 506)。预先固化,亦即不完全的交联,是用来增大刚度以及因此导致的强度,同时保持了制造叶片预型件所需的变形的能力。

[0092] 在步骤 507 当中,切割出多个分离的纤维坯体,其如图 3 所示。

[0093] 在步骤 508 当中,利用这种方式被切割出的纤维坯体进行加工成形 (其如图 4 和图 5 所示) 并被放置在模具中,例如,石墨模具,以用于对翼面和根部预型件部分以及内缘板和外缘板预型件部分进行加工成形。

[0094] 之后,完成了树脂的固化 (步骤 509) 并且,被固化的树脂受到了热解 (步骤 510)。固化和热解可以通过逐步提高模具中的温度而按次序进行。

[0095] 在热解之后,获得了已经被热解的残渣进行固结的纤维预型件。对固结的树脂的量进行选定,从而热解残渣将预型件的纤维结合在一起,其足以能够使得所述预型件在保持其形状并且没有工具加工辅助的同时来进行处理,注意到固结树脂的量优选地被选定为尽可能地少。

[0096] 用来去除油、酸性处理和形成用于 SiC 纤维基板的界面涂覆的步骤是已知的。可以参考文献 US 5 071 679。

[0097] 通过 CVI (步骤 511) 来形成第二界面层,从而全面地获得纤维基质界面,其呈现的厚度足以使得它能够实现让复合材料不易碎的功能。该第二界面层的材料可以选择 PyC、BN 和 BC,并且不必与第一界面层的材料相同。第二界面层的厚度优选地不小于 100nm。

[0098] 优选地,如上所述,利用两层来制造界面。申请人在申请号为 08/54937 的法国专利申请中对此进行了描述。

[0099] 之后,通过基质来对固结的预型件进行致密化。对于将在高温下使用的涡轮机组叶片而言,并且特别是在腐蚀媒介中使用的涡轮机组叶片而言,基质是陶瓷基质,例如由 SiC 制成。可以通过 CVI 来执行致密,在该情形下,形成第二界面层并利用基质来致密化可以在同一烤炉中按次序进行。

[0100] 可以在两个连续的步骤 (步骤 512 和 514) 当中执行致密化,该两个连续的步骤被步骤 513 分隔开,步骤 513 是将叶片加工成所需的尺寸。

[0101] 应当注意到,可以在步骤 509 和 510 之间执行预先加工,亦即,在对树脂固化之后并在对树脂热解之前执行预先加工。

[0102] 图 16 给出了在本发明的另一个实施例当中,复合材料的叶片的制造方法的连续步骤。

[0103] 步骤 601 是对纤维条带进行三维编织,该纤维条带包括多个纤维坯体,步骤 602 是进行处理以去除油和氧化物,该步骤 601 和 602 类似于图 15 中实施例的步骤 501 和 502。

[0104] 在步骤 603 当中,从纤维条带中切割出多个分离的纤维坯体,接着每个分离的纤

维坯体在模具或夹具中加工成形（步骤 604），以通过对翼面和根部预型件部分进行加工成形并通过对缘板预型件部分进行加工成形而获得叶片纤维预型件。

[0105] 在步骤 605 当中，在预型件保持在夹具中的同时，通过 CVI 而在预型件的纤维上形成了界面涂覆，以制造不易碎材料。举例来说，界面涂覆材料是如上所述的 PyC、BN 或 BC。界面涂覆的厚度大约为一百到数百纳米。

[0106] 在预型件仍然被保持在夹具中的情况下，它通过局部的致密化而被固结（步骤 606），该固结是通过在纤维上利用 CVI 形成了陶瓷沉积而执行的。

[0107] 通过 CVI 而形成界面涂覆以及通过 CVI 而产生的陶瓷沉积所导致的固结可以在同一 CVI 烤炉中按次序执行。

[0108] 所述夹具优选地由石墨制成，并具有便于反应气体通过的多个孔，该反应气体通过 CVI 而提供了界面沉积和陶瓷沉积。

[0109] 一旦固结已经足够使得预型件在保持它的形状的同时并且在不需要工具的辅助支持的情况下被处理，被固结的预型件就被从夹具中取出，并且通过 CVI 而利用陶瓷基质来进行致密化。可以在两个连续步骤中（步骤 607 和 609）执行致密化，该两个连续步骤被步骤 608 分隔开，该步骤 608 将叶片加工成所需的尺寸。

[0110] 在以上的描述中，具有变化厚度的翼面轮廓是通过使用变化重量和 / 或变化支数的纱线而获得的。在变型例当中，可以利用特定数量的相同重量和恒定支数的纱线层来制造对应于预型件的翼面部分的纤维坯体的那个部分，预型件的厚度在第一致密化步骤之后的加工期间进行变化，或者在被固结的坯体预型件的预加工的过程中进行变化。

[0111] 此外，取决于叶片的预期使用条件，该叶片的纤维增强件的纤维可以由不同于陶瓷的材料制成，例如，它们可以由碳制成，并且基质可以由不同于陶瓷的材料制成，例如由碳或者树脂制成，本发明当然也可以应用于利用具有有机基质的复合材料来制造叶片。

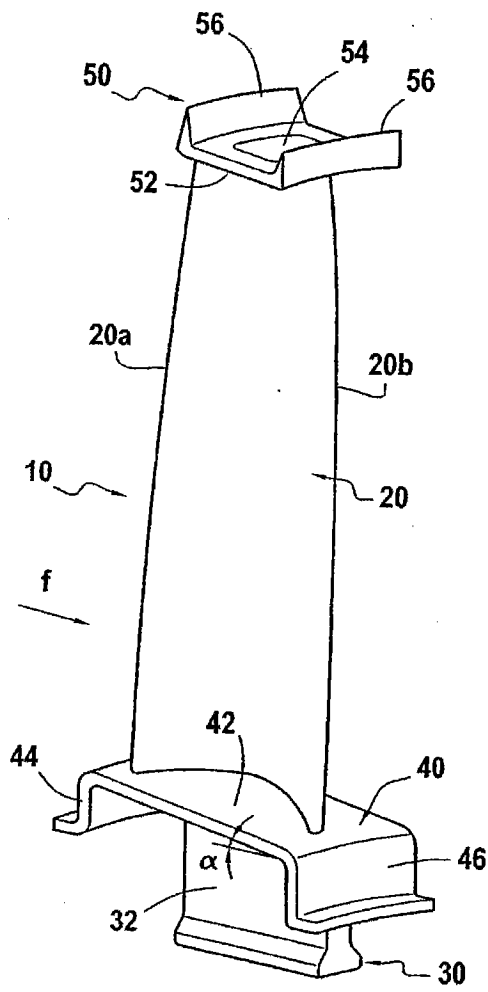


图 1

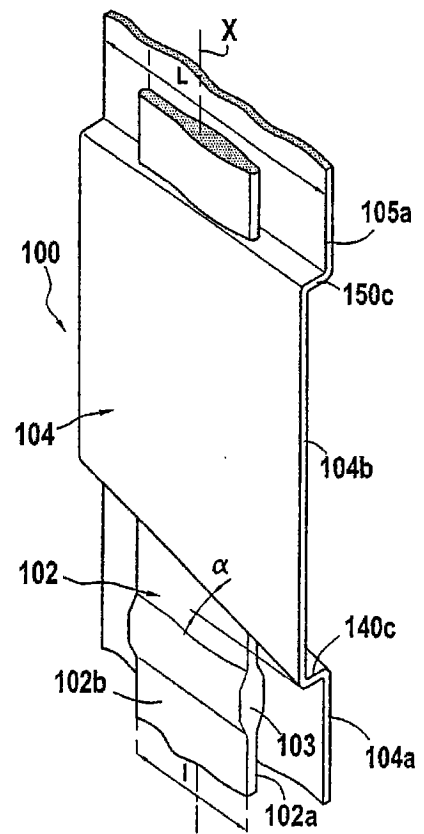


图 2

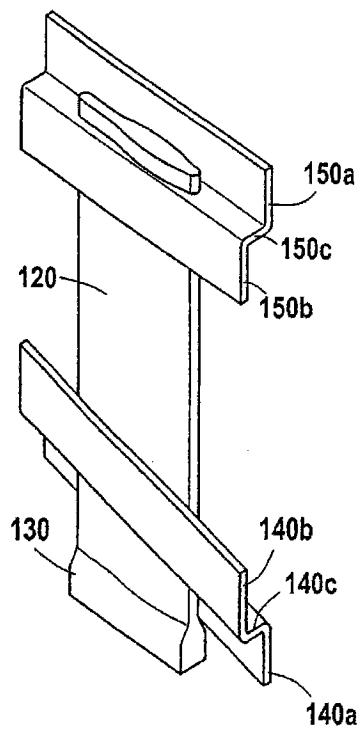


图 3

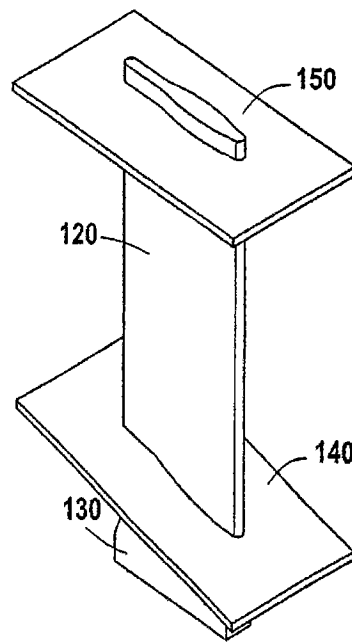


图 4

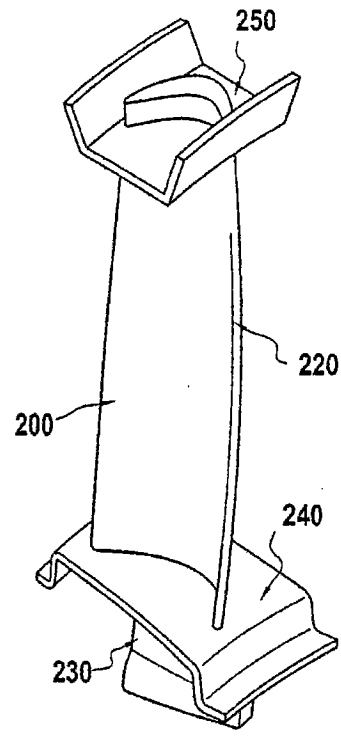


图 5



图 6



图 7

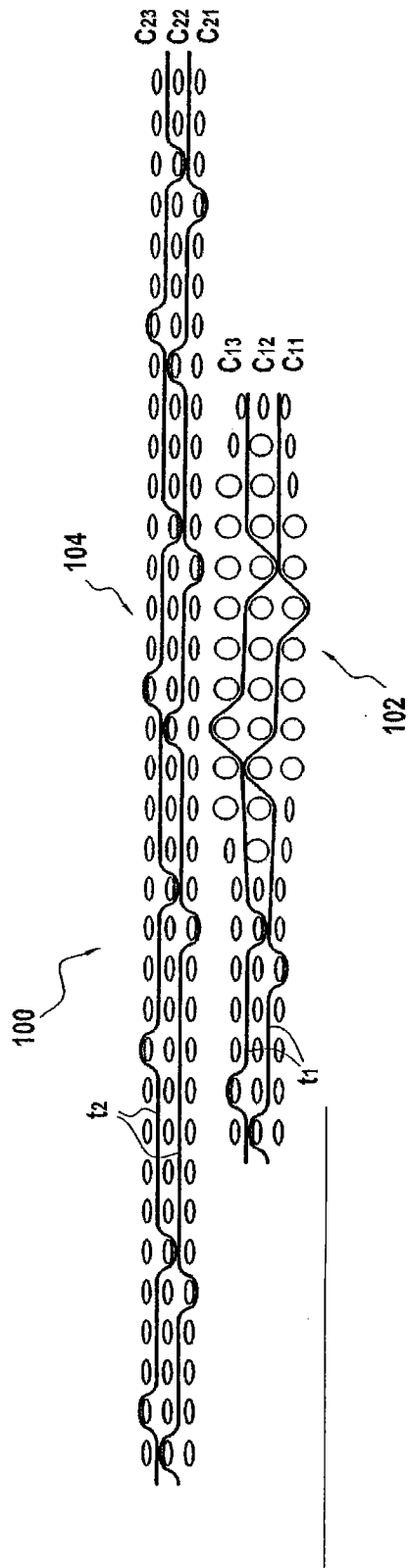


图 8A

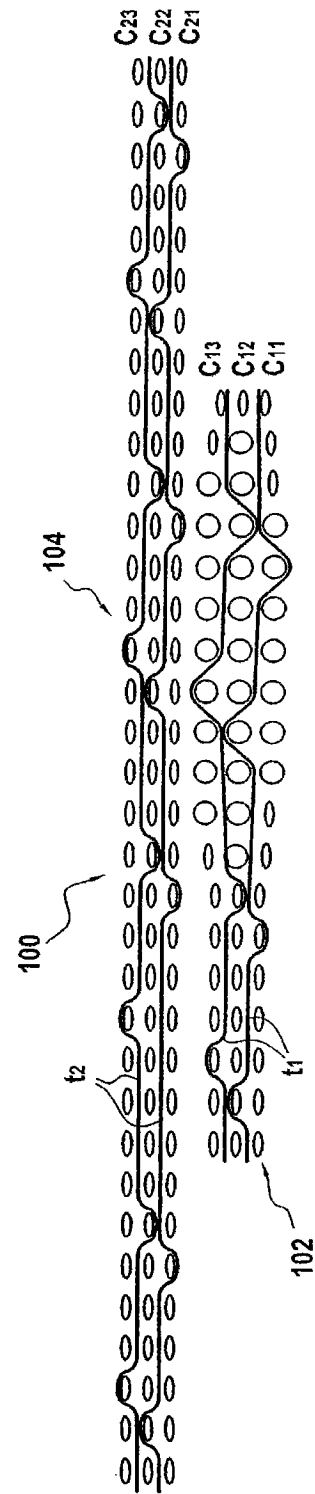


图 8B

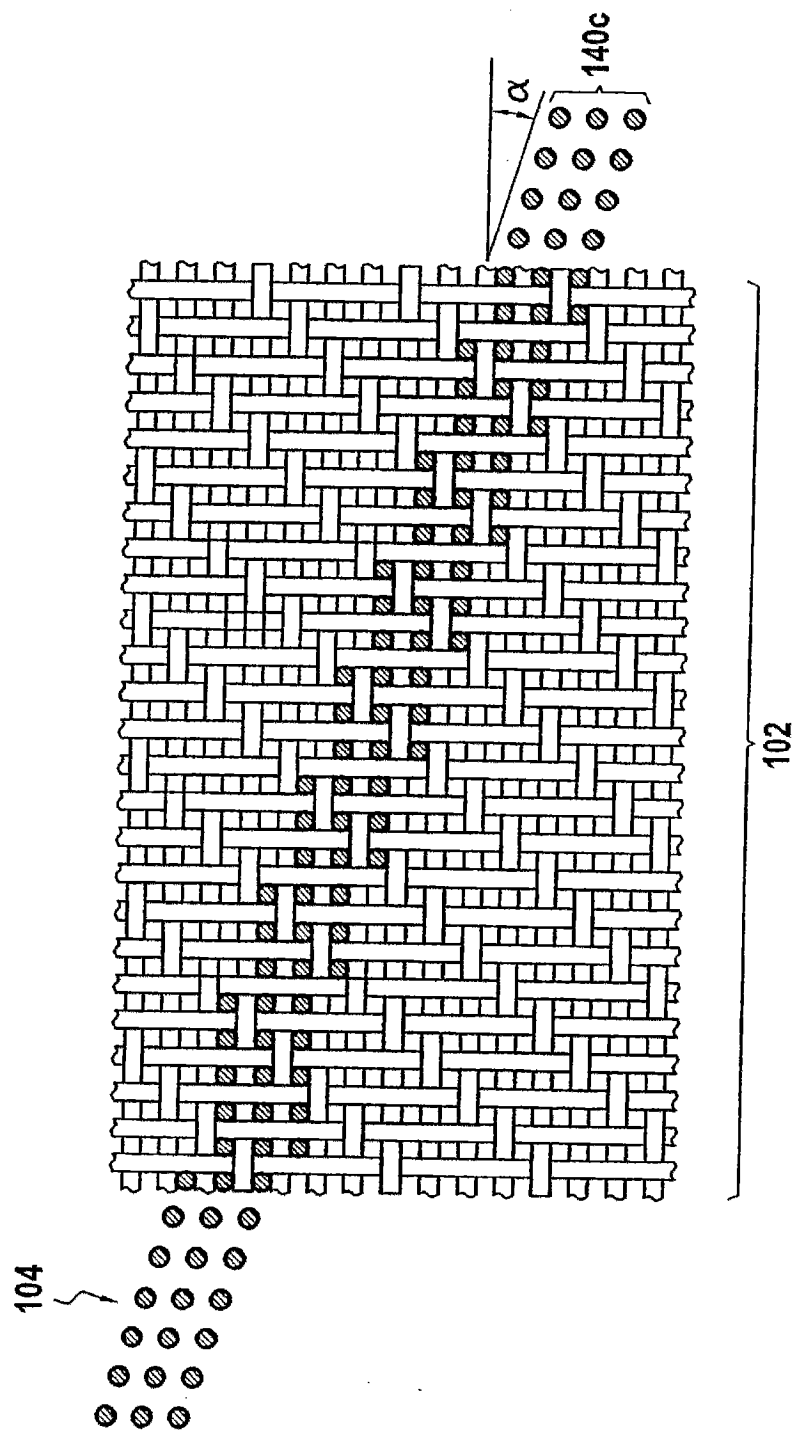


图 9

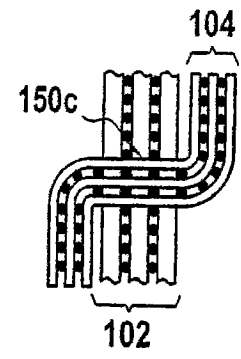
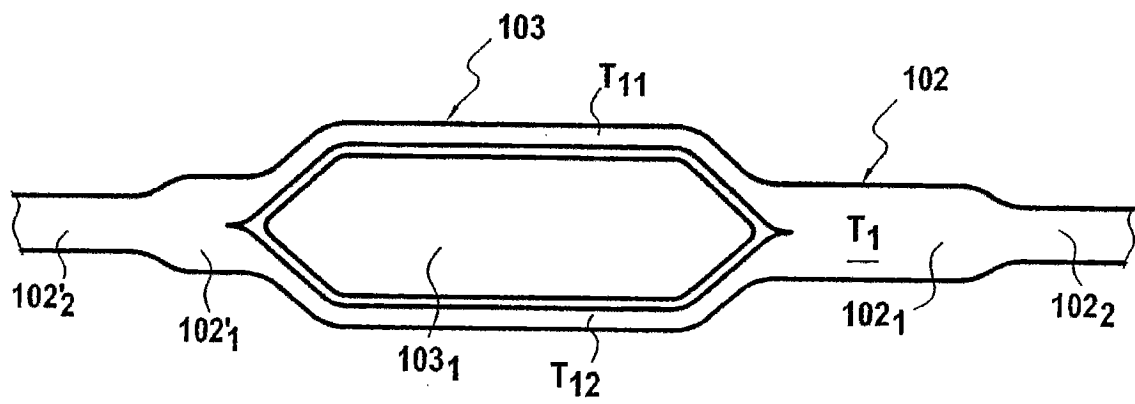
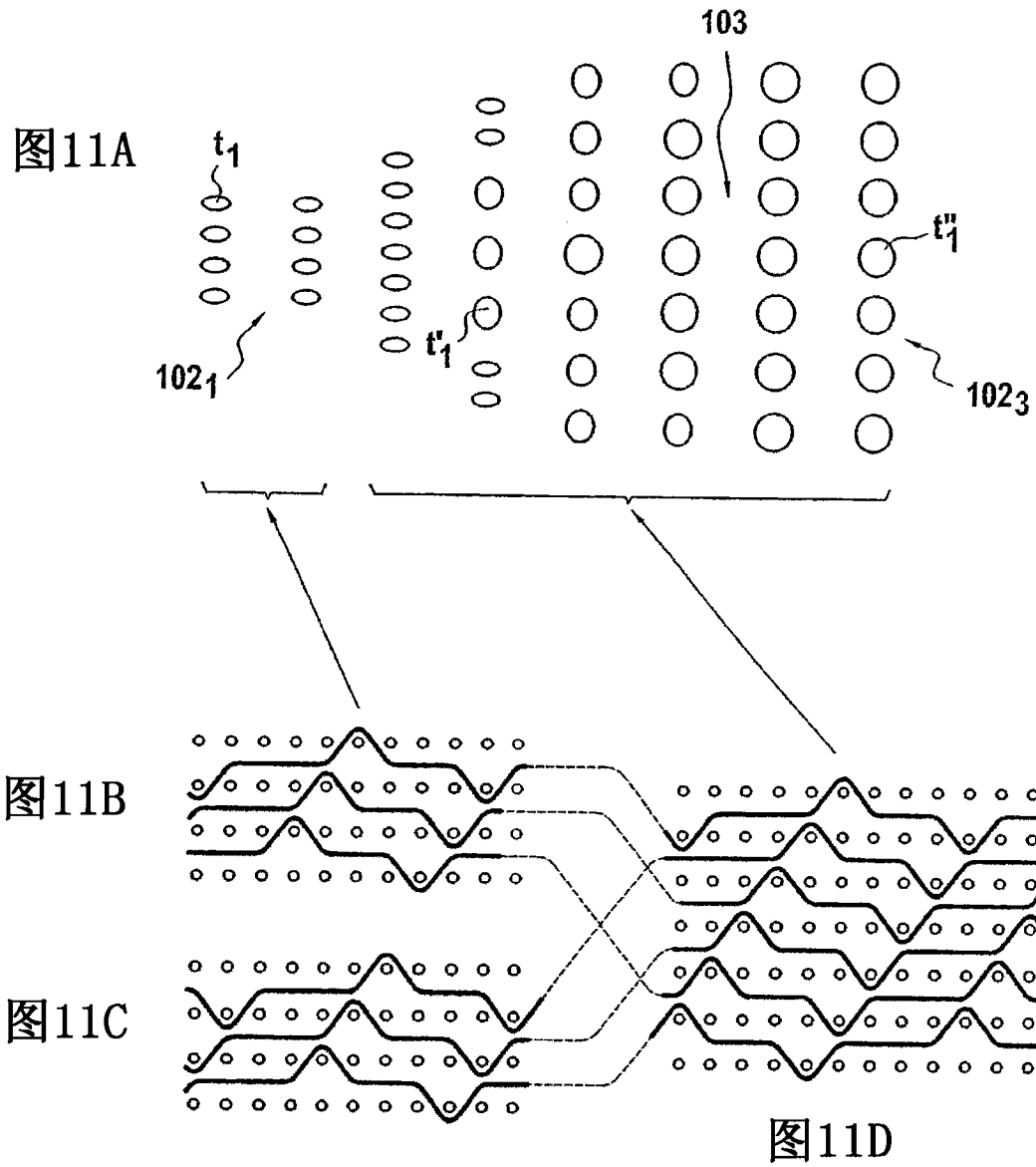


图 10



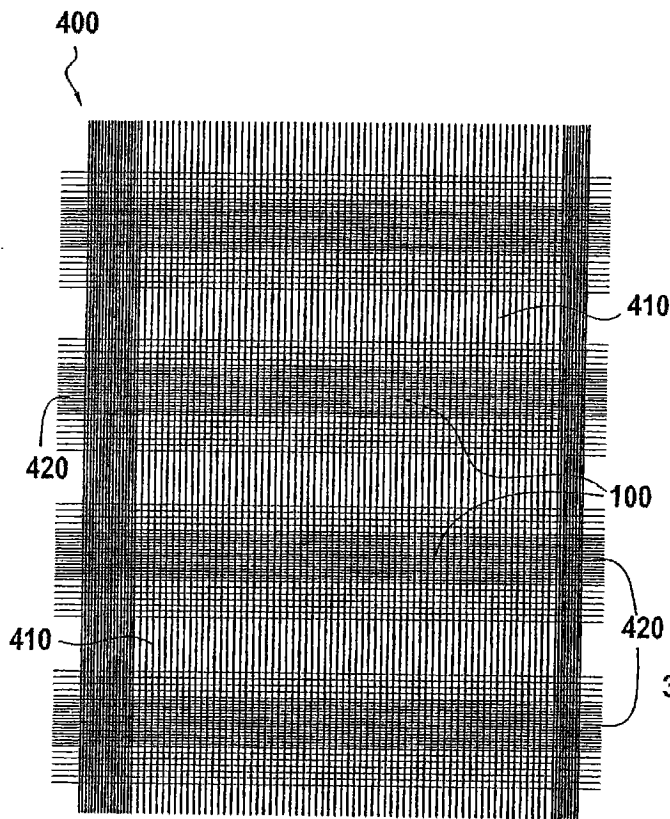


图14

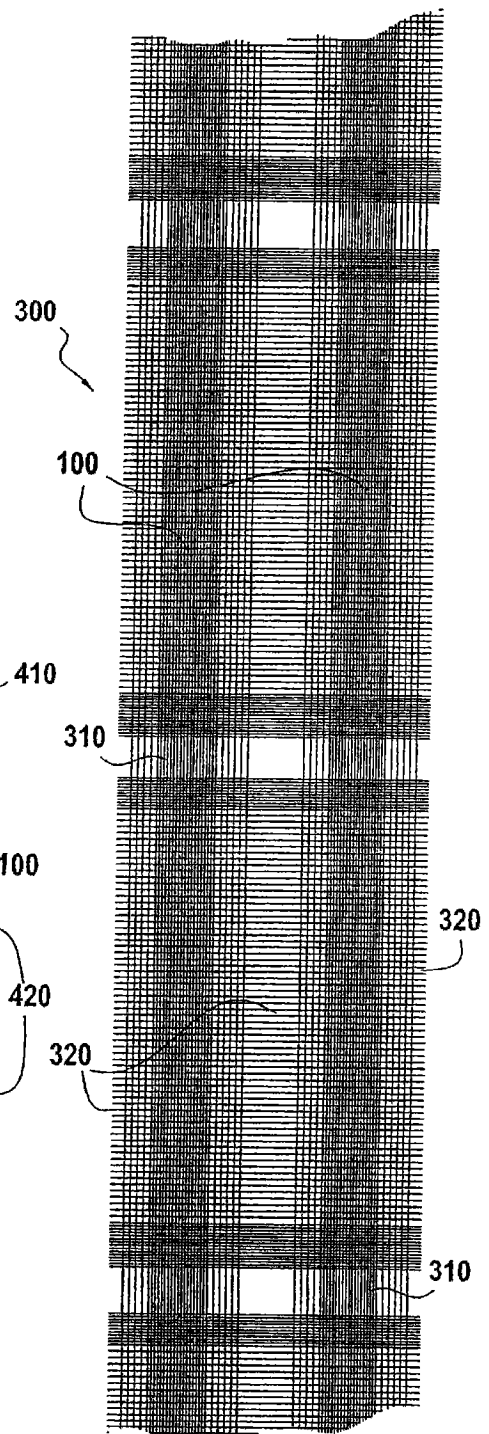


图13

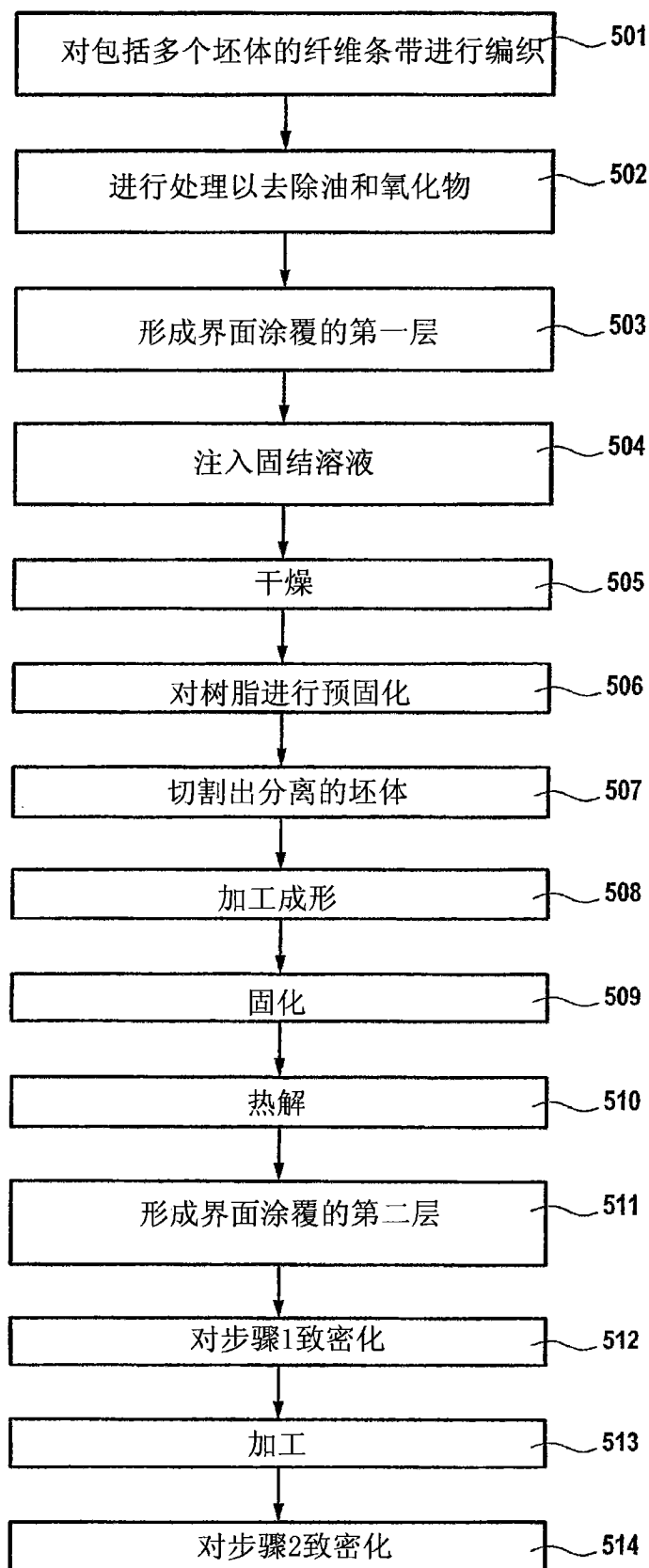


图 15

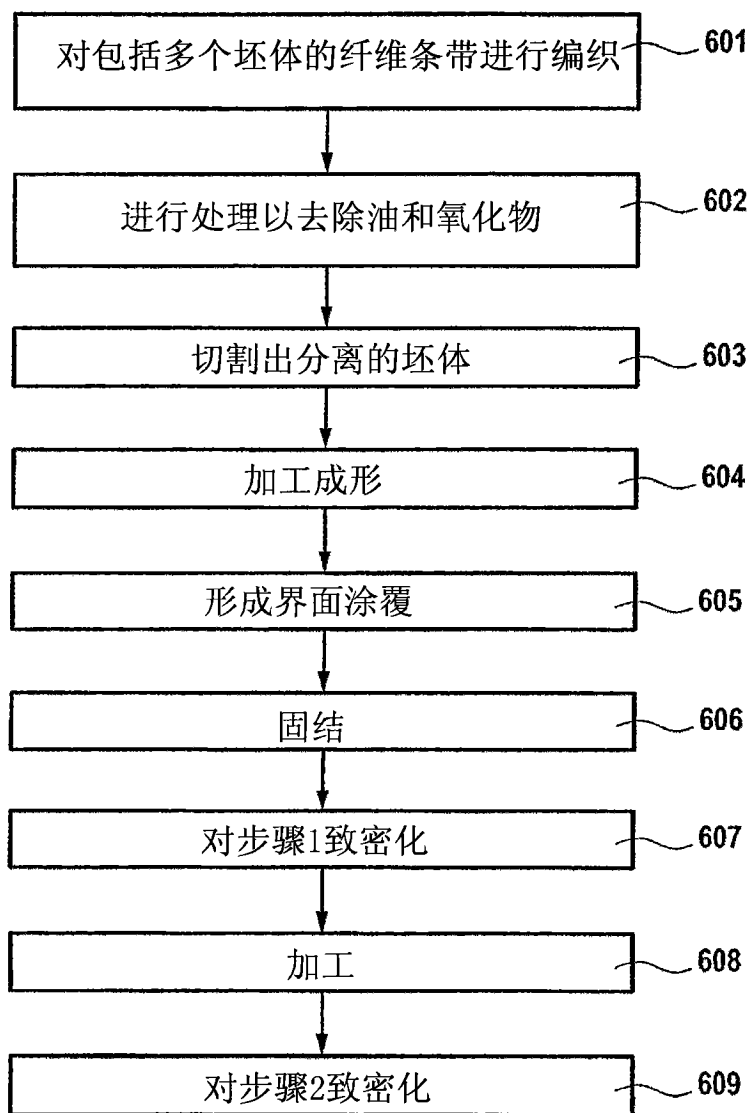


图 16