



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102548741 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 26

(21) 申请号 201080041530. 0

B29B 11/16(2006. 01)

(22) 申请日 2010. 08. 21

B29C 53/04(2006. 01)

(30) 优先权数据

审查员 任欣生

12/561, 492 2009. 09. 17 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 03. 19

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/046253 2010. 08. 21

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/034684 EN 2011. 03. 24

(73) 专利权人 赫克赛尔公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 M·克韦德

(74) 专利代理机构 北京市嘉元知识产权代理事

务所(特殊普通合伙) 11484

代理人 张永新

(51) Int. Cl.

B29C 70/20(2006. 01)

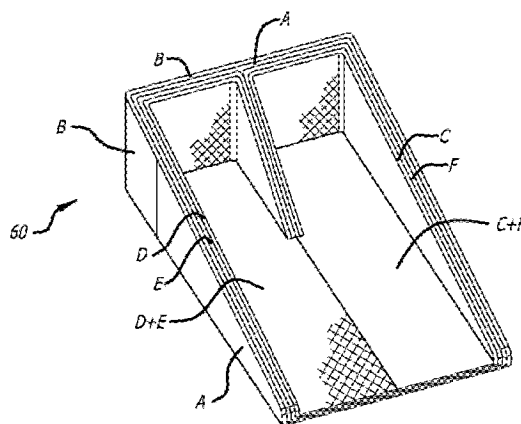
权利要求书3页 说明书5页 附图8页

(54) 发明名称

使用预堆叠的多方向连续纤维叠层模制复杂复合部件的方法

(57) 摘要

单向(UD)纤维浸渍体(12、14)的层被形成为预叠置的、多向的、连续的纤维叠层(10),其用于作为模制复合物以形成三维结构(40)。从叠层切下部分沿着所述折叠线被开槽和折叠以提供近似网形的预制坯,其可以被压缩模制以形成具有复杂形状的纤维加强复合结构。



1. 一种用于形成纤维加强复合结构的方法,包括以下步骤:

提供包括内部和边缘的预堆叠的,多向的叠层,所述叠层包括至少第一层预浸渍体和第二层预浸渍体,其中每个所述预浸渍体层包括未固化的树脂基体和单向纤维,其中在所述第一预浸渍体层中的所述单向纤维的方向与所述第二浸渍体层中的所述单向纤维的方向不同,其中所述叠层包括第一突出部分和第二突出部分;

折叠所述叠层以形成预制坯,其中,所述第一突出部分和所述第二突出部分彼此重叠,并被推压在一起以形成预制坯的一部分;以及

固化所述预制坯以形成所述纤维加强复合结构,其中,固化所述预制坯的由所述第一突出部分和所述第二突出部分形成的部分以形成所述复合结构的固化部分。

2. 根据权利要求1所述的用于形成纤维加强复合结构的方法,其中:所述叠层包括至少两根折叠线,沿着所述折叠线,所述叠层在所述预制坯形成期间被折叠,其中所述折叠线彼此交叉。

3. 根据权利要求1所述的用于形成纤维加强复合结构的方法,其中:所述叠层包括至少一个直线槽,所述直线槽从所述叠层的所述内部延伸至所述叠层的所述边缘,所述直线槽限定出所述第一突出部分和所述第二突出部分的边缘。

4. 根据权利要求2所述的用于形成纤维加强复合结构的方法,其中:所述叠层包括至少一个直线槽,所述直线槽从所述叠层的所述内部延伸至所述叠层的所述边缘,所述直线槽限定出所述第一突出部分和所述第二突出部分的边缘,其中所述直线槽与至少其中一根所述折叠线在同一直线上。

5. 根据权利要求4所述的用于形成纤维加强复合结构的方法,其中:所述直线槽从所述折叠线的交叉处延伸至所述叠层的所述边缘。

6. 根据权利要求1所述的用于形成纤维加强复合结构的方法,其中:所述叠层包括至少一根折叠线,其中所述折叠线在折叠所述叠层之前被加热以形成所述预制坯。

7. 一种纤维加强复合结构,其根据包括以下步骤的方法制作:

提供包括内部和边缘的预堆叠的、多向的叠层,所述叠层包括至少第一层预浸渍体和第二层预浸渍体,其中每个所述预浸渍体层包括未固化的树脂基体和单向纤维,其中在所述第一预浸渍体层中的所述单向纤维的方向与所述第二预浸渍体层中的所述单向纤维的方向不同,其中所述叠层包括第一突出部分和第二突出部分;

折叠所述叠层以形成预制坯,其中,所述第一突出部分和所述第二突出部分彼此重叠,并被推压在一起以形成预制坯的一部分;以及

固化所述预制坯以形成所述复合结构,其中,固化所述预制坯的由所述第一突出部分和所述第二突出部分形成的部分以形成所述复合结构的固化部分。

8. 根据权利要求7所述的纤维加强复合结构,其中:所述叠层包括至少两根折叠线,沿着所述折叠线,所述叠层在所述预制坯形成期间被折叠,其中所述折叠线彼此交叉。

9. 根据权利要求7所述的纤维加强复合结构,其中:所述叠层包括至少一个直线槽,所述直线槽从所述叠层的所述内部延伸至所述叠层的所述边缘,所述直线槽限定出所述第一突出部分和所述第二突出部分的边缘。

10. 根据权利要求8所述的纤维加强复合结构,其中:所述叠层包括至少一个直线槽,所述直线槽从所述叠层的所述内部延伸至所述叠层的所述边缘,所述直线槽限定出所述第

一突出部分和所述第二突出部分的边缘,其中所述直线槽与至少其中一根所述折叠线在同一直线上。

11. 根据权利要求 10 所述的纤维加强复合结构,其中:所述直线槽从所述折叠线的交叉处延伸至所述叠层的所述边缘。

12. 根据权利要求 7 所述的纤维加强复合结构,其中:所述复合叠层包括至少一根折叠线,其中所述折叠线在折叠所述叠层之前被加热以形成所述预制坯。

13. 一种用于形成纤维加强复合结构的预制坯,所述预制坯根据包括以下步骤的方法制成:

提供包括内部和边缘的预堆叠的,多向的叠层,所述叠层包括至少第一层预浸渍体和第二层预浸渍体,其中每个所述浸渍体层包括未固化的树脂基体和单向纤维,其中在所述第一预浸渍体层中的所述单向纤维的方向与所述第二预浸渍体层中的所述单向纤维的方向不同,其中所述叠层包括第一突出部分和第二突出部分;以及

折叠所述叠层以形成所述预制坯,其中,所述第一突出部分和所述第二突出部分彼此重叠,并被推压在一起以形成预制坯的一部分。

14. 根据权利要求 13 所述的预制坯,其中:所述叠层包括至少两根折叠线,沿着所述折叠线,所述叠层在所述预制坯形成期间被折叠,其中所述折叠线彼此交叉。

15. 根据权利要求 13 所述的预制坯,其中:所述叠层包括至少一个直线槽,所述直线槽从所述叠层的所述内部延伸至所述叠层的所述边缘,所述直线槽限定出所述第一突出部分和所述第二突出部分的边缘。

16. 根据权利要求 14 所述的预制坯,其中:所述叠层包括至少一个直线槽,所述直线槽从所述叠层的所述内部延伸至所述叠层的所述边缘,所述直线槽限定出所述第一突出部分和所述第二突出部分的边缘,其中所述直线槽与至少其中一根所述折叠线在同一直线上。

17. 根据权利要求 16 所述的预制坯,其中:所述直线槽从所述折叠线的交叉处延伸至所述叠层的所述边缘。

18. 根据权利要求 13 所述的预制坯,其中:所述复合叠层包括至少一根折叠线,其中所述折叠线在折叠所述叠层之前被加热以形成所述预制坯。

19. 一种航空航天组件包括:

第一航空器部件;

第二航空器部件;

连接所述第一航空器部件至所述第二航空器部件的纤维加强复合结构,

其中,所述纤维加强复合结构根据包括以下步骤的方法制作:

提供包括内部和边缘的预堆叠的、多向的叠层,所述叠层包括至少第一层预浸渍体和第二层预浸渍体,其中每个所述预浸渍体层包括未固化的树脂基体和单向纤维,其中在所述第一预浸渍体层中的所述单向纤维的方向与所述第二预浸渍体层中的所述单向纤维的方向不同,其中所述叠层包括第一突出部分和第二突出部分;

折叠所述叠层以形成预制坯,其中,所述第一突出部分和所述第二突出部分彼此重叠,并被推压在一起以形成预制坯的一部分;以及

固化所述预制坯以形成所述复合结构,其中,固化所述预制坯的由所述第一突出部分和所述第二突出部分形成的部分以形成所述复合结构的固化部分。

20. 根据权利要求 19 所述的航空航天组件,其中 :所述第一和第二航空器部件是航空器的载荷承载元件。

## 使用预堆叠的多方向连续纤维叠层模制复杂复合部件的方法

### 技术领域

[0001] 本发明总体涉及纤维加强复合结构和用于制造该结构的模制材料。更尤其地,本发明涉及单向预浸渍体带的使用,以形成预堆叠 (pre-plyed) 的,多向的连续纤维叠层,其适合用于经由近似网形的预制件模制复杂的三维纤维加强复合结构。

### 背景技术

[0002] 纤维加强复合结构通常包括作为两个主要部件的树脂基体和纤维。这些结构很好地适合用于苛刻的环境,诸如,在高强度和轻重量的组合是重要的航空航天领域。

[0003] 预浸渍复合材料 (预浸渍体) 广泛地用于复合部件和结构的制造。预浸渍体是未固化的树脂基体和加强纤维的组合,其常用于模制和固化形成最终的复合部件。通过使用树脂预浸渍加强纤维,制造商可以仔细地控制被预浸渍进入纤维网的树脂的数量和位置,并且保证了树脂在纤维网中如期望般分布。预浸渍体是在制造载荷承载结构部件中,特别是在机翼、机身、舱壁和控制表面中使用的载荷承载飞行器部件中使用的优选材料。重要的是这些部件具有惯常为这些部件建立的足够的强度,损伤容限和其它要求。

[0004] 单向 (UD) 带是预浸渍体的通常形式。在单向带中的纤维是彼此平行延伸的连续纤维。纤维通常是以数个个体纤维或者称为“丝束”的细丝的束的形式。单向纤维浸渍有仔细控制数量的未固化树脂。UD 浸渍体通常放置在保护层之间以形成 UD 最终带,其卷绕起来用于存储或者运输至制造设备。UD 带的宽度通常范围从小于 1 英寸至 1 英尺或者更多。

[0005] 单向带没有良好地适合用于使用压缩模制技术形成复杂三维结构的模制复合物。当 UD 带被强迫配合复杂部件的特征时,在 UD 带中纤维的平行的方向和连续的本质致使纤维聚成束或者形成桥接。结果,使用 UD 带的复杂三维部件的制造已经被限制为艰苦的过程,在该过程中 UD 带的单独层被直接应用至三维模具,三维模具接下来在高压釜或者其它模制设备中进行处理。使用 UD 带的该成层 (lay-up) 步骤往往是漫长且成本昂贵的操作。

[0006] 已经发现适合用于压缩模制复杂部件的模制复合物通常应用更易于配合部件构造的随机定向短纤维。然而,当被装配成随机配合时,该短纤维的使用引入了局部重量变动。该重量变动产生几个问题。例如,它会造成合层设计的复杂性,当装配几个高可变合层用于特定部件几何尺寸时,合层设计不得不适应于所有的可能的总的重量结果。短纤维的随机配合中的局部重量变动也造成模制期间的不规则,因为低重量的区域由高重量的区域补偿。该补偿过程不可预测地一个模制部件不同于下一个模制部件,也在给定部件的不同特征之间不同。结果,设计者难于预测和确定模制复合物设计对于形成期望的部件是否是足够的。

[0007] 鉴于上述情况,存在持续的需要以提供浸渍体模制方法,其适合在具有相对复杂形状的压缩模制加强纤维复合结构中使用。对于该方法的需要在部件强度是首要考虑的情况下是特别重要的。

## 发明内容

[0008] 根据本发明,公开了单向(UD)带可以形成为可以被处理为适于模制的预堆叠的,多向的叠层。预堆叠的叠层通过取UD带的单独层并在彼此的上方放置它们得以形成,以使得该叠层的这些层或者层板包含沿不同方向延伸的纤维。本发明的预堆叠叠层不具有任何明显的重量变化,重量变化可能在模制期间引起可能影响模制的三维结构的结构化性能的变化。此外,发现预堆叠的叠层的多向本质允许部件设计师以在叠层中切出槽,然后折叠该叠层为接近于三维部件的最终形状的形状。要被固化的部件的该近似网形或者“预成形”避免了之前当UD带直接用于模制复合物时产生的纤维成束和搭桥的问题。

[0009] 本发明针对在预堆叠的,多向叠层被折叠成可以接着固化成复合结构的预制坯的情况下,用于形成纤维加强复合结构的方法。该预堆叠叠层包括至少第一层预浸渍体和第二层预浸渍体,其中每个预浸渍体层包括未固化的树脂基体和单向纤维。作为本发明的一个特征,在两个预浸渍体层中的单向纤维的方向是不同的。对叠层进行折叠以形成预制坯会在模制期间提供控制纤维取向的能力,且因此使得三维部件非常坚固,尤其适合用于在航空器中和在其它航空航天设备中使用。

[0010] 本发明也针对使用该叠层制作的纤维加强复合结构。此外,使用叠层的切下部分形成的预制坯由本发明覆盖。进一步,航空航天组件,诸如航空器,其包括使用该预堆叠的叠层制作的纤维加强复合结构由本发明覆盖。

[0011] 作为本发明的一个特征,该叠层切下部分可以沿着彼此相交的至少两根折叠线折叠以形成三维部件。此外,该叠层在折叠线相交处开槽从而提高折叠过程和避免纤维桥接。包含槽也允许了设计师形成折叠预制坯,在此情况下,纤维如期望般取向以满足加强设计要求。

[0012] 本发明的上述和许多其它特征和附随的优点通过当结合附图时,参照接下来的详细说明会变得更好理解。

## 附图说明

[0013] 图1是示出单层的单向(UD)浸渍体或者带如何被定向以形成适用于制造根据本发明的优选层中使用的四层准各向同性叠层的图示表示。

[0014] 图2是示出纤维取向的图示表示,当两个如图1所示的四层准各向同性叠层结合以形成根据本发明的优选示例性对称的八层准各向同性叠层时得到所述纤维取向。

[0015] 图3示出了根据本发明的示例性对称八层准各向同性叠层。

[0016] 图4示出了层中切下部分(cut-out),其被制作从而形成示例性凸缘支撑结构。

[0017] 图5是示例性凸缘支撑结构的预制坯,其已经通过折叠和组合图4中所示的切下部分而得以形成。

[0018] 图6是示例性凸缘支撑结构,其当图5的预制坯得以固化时形成。

[0019] 图7是叠层的示例性切下部分,其用于制作用于连接两个主要航空器部件在一起的航空器夹具结构。

[0020] 图8是示例性航空器夹具结构的预制坯,其通过折叠图7中的切下部分而形成。

[0021] 图9是示例性航空器夹具结构,其当图8的预制坯固化时得以形成。

## 具体实施方式

[0022] 本发明涉及用于压缩模制过程以形成三维部件的预堆叠的多向叠层的形成和使用。本发明特别适合用于制作具有复杂形状和设计以承载大载荷的三维部件。虽然,本发明主要在航空航天工业中使用,但是,该过程也可以根据本发明用于生产三维结构,其适用于期望高强度和轻重量的广泛多种应用。接下来的详细说明主要针对航空器部件的生产,如使用本发明制作的优选结构类型。应该理解的是,本发明也具有广泛的应用以生产其它类型的高强度部件,诸如任何数量的复杂三维部件,其用于汽车、铁路、船运、能源和运动产业。

[0023] 图 1-3 示出如何根据本发明制造示例性预堆叠、八层的对称准各向同性叠层 10。如图 1 所示,预浸渍体 12 的第一层和预浸渍体 14 的第二层被提供。预浸渍体层 12 和 14 每个分别包括未固化的树脂基体和单向纤维 16 和 18。在预浸渍体 12 中的单向纤维 16 以  $0^\circ$  方向取向。在预浸渍体 14 中的单向纤维 18 以  $45^\circ$  方向取向。如图 1 进一步所示,第二组两个预浸渍体层 12a 和 14a 得以提供。该两层 12a 和 14a 是与层 12 和 14 相同的层,除了它们已经旋转了  $90^\circ$  以使得单向纤维 16a 以  $90^\circ$  取向,单向纤维 18a 以  $-45^\circ$  取向。该四层 12、14、12a、14a 被组合,如图 1 所示,以形成 4 层准各向同性叠层 20。

[0024] 如图 2 所示,第二 4 层准各向同性叠层 20a 被提供,其是与叠层 20 相同的叠层,除了它已经受到倒转以提供与叠层 20 为镜像的单向纤维取向。该两个 4 层垫 20 和 20a 组合如图 2 和 3 中的 30 所示以形成优选示例性的预堆叠,八层对称准各向同性叠层 10。叠层具有多于或者少于 8 层单向预浸渍体是可能的,假设它们可以被开槽和折叠以形成当该预制坯得以压缩模制/固化时其不会经受纤维成束或者桥接的预制坯。例如,叠层可以在单向预浸渍体层的数量高至 16 或者低至 2 的情况下得以制备。

[0025] 在此所使用的术语“预堆叠”意味着组合各种 UD 纤维层以形成多层叠层,之后叠层被切割和/或折叠以形成近似网形 (near-net) 的预制坯。如对于优选叠层 10 所示,叠层的相邻层可以具有相同方向,只要至少两层具有以不同方向取向的 UD 纤维。也应该指出的是,  $0^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$  和  $90^\circ$  的 UD 纤维方向是优选示例性纤维取向。如图 1-3 所示,准各向同性取向是优选的。然而,广泛的多种其它 UD 纤维取向和层结合是可能的。UD 纤维取向和 UD 纤维层的特定组合通过部件设计师取决于用于复合结构的期望纤维取向得以选择,如果必需的话,复合结构在叠层已经开槽之后形成,且折叠以形成三维形状的最终部件。

[0026] 单向 (UD) 带是用于形成本发明的预堆叠的叠层的预浸渍体层的优选类型。单向带是可购得的或者它可以使用已知的预浸渍体形成过程制造。UD 带的尺寸可以取决于形成期望的三维复合结构所需的切下部分的数量和尺寸而在大范围内变化。例如,取决于期望的切下部分的尺寸和数量,UD 带的宽度(垂直于 UD 纤维的尺寸)可以从 0.5 英寸到数英尺的范围或者更多。取决于期望的切下部分的尺寸和数量,带会通常地从 0.004 到 0.012 英寸 (0.01 至 0.03cm) 厚,UD 带的长度(平行于 UD 纤维的尺寸)可以从 0.5 英寸 (1.3cm) 至数英尺 (1 米) 或者更多。

[0027] UD 带或者预浸渍体可以包含从 25 至 45 的重量百分比的未固化树脂基体。优选地,未固化树脂基体的数量会在 30 至 40 重量百分比之间。树脂基体可以是任何环氧树脂、双马来酰亚胺 (bismaleimide) 树脂、聚酰亚胺树脂、聚酯树脂、乙烯基酯 (vinylester) 树脂、氰酸盐酯树脂、酚树脂或者热塑性树脂。示例的热塑性树脂包括聚亚苯基硫化物 (PPS)、聚

砜 (PS)、聚醚醚酮 (PEEK)、聚醚酮酮 (PEKK)、聚醚砜 (PES)、聚醚酰亚胺 (PEI)、聚酰胺 - 酰亚胺 (PAI)。利用热塑性使其坚硬的环氧树脂是优选的树脂基体。通常存在于在航空航天工业中使用的类型的 UD 带中的树脂得以优选。UD 纤维可以是碳、玻璃、芳族聚酸胺或者任何通常在高压环境中使用的复合部件制造中使用的其它纤维材料。该纤维可以包含从数百个丝束到 12,000 或者更多个丝束。优选的 UD 纤维是碳纤维。

[0028] 优选的示例性可购得单向预浸渍体是 HexPly® 8552, 其可以从 Hexcel 公司 (都柏林, 加利福尼亚) 购得。HexPly® 8552 是可在多种单向带配置中得到的, 多种单向带配置包含胺固化坚固的环氧树脂基体, 其数量范围从 34 至 38 重量百分比, 且碳或者玻璃 UD 纤维具有从 3,000 至 12,000 丝束。纤维通常占 UD 带的 60 体积百分比。

[0029] 根据本发明的航空器凸缘支撑结构 40 的形成示出在图 4-6 中。凸缘支撑结构 40 设计为连接两个航空器部件在一起。两个航空器部件 42 和 44 在图 6 中以虚线示出。航空器部件 42 和 44 是航空器的载荷承载主要结构元件。术语“载荷承载”意味着该部件被设计具有足够的强度和刚度以支撑给定压力或者负载而不会失效。通常由这些部件承载的负载为大约 1000 磅或者更多。大约 6000 磅或者更高的载荷在用该材料和过程制作的部件中并不是罕见的。该凸缘支撑结构 40 必须能够支撑与主要航空器部件 42 和 44 相同或者更高的载荷以为了防止连接两个载荷承载部件在一起的凸缘 40 的失效。经由穿过孔 46 或者通过粘结连接, 航空器部件 42 和 44 可以连接至凸缘支撑 40。

[0030] 凸缘支撑结构 40 如图 4 所示使用六个切下部分 (A-F) 制成。该切下部分从优选的对称准各向同性叠层 10 切下。直线槽如 48 处示出形成在“A”切下部分中。切下部分 A 沿着折叠线 50、52 和 54 折叠, 如虚线所示。槽 48 位于折叠线 50 和 54 的交叉处和折叠线 52 和 54 的交叉处。槽 48 自切下部分 A 的内部在折叠线交叉处延伸至切下部分的边缘。槽 48 与折叠线 50 和 52 在同一直线上。

[0031] 切下部分 B 在虚线 56 和 58 处折叠。由于该两折叠线不交叉, 所以不需要槽。切下部分 C 和 D 是彼此的镜像, 折叠线以虚线示出。以与切下部分 A 相同的方式, 槽位于切下部分 C 和 D 中的折叠线的交叉处。切下部分 E 和 F 是彼此的镜像, 折叠线以虚线示出。以与切下部分 A 相同的方式, 槽位于切下部分 E 和 F 中的折叠线的交叉处。槽作用为释放切口, 其允许所切下的部分折叠到位, 而不会使纤维的取向变形, 且在需要的情况下提供切下部分的桥接或者树脂基体的流动。

[0032] 切下部分 A-F 被折叠并组合以形成如图 5 中所示的预制坯 60。如果需要的话, 折叠线可以是略微加热以减少树脂基体的粘度且使得它更易于折叠切下部分。然而, 加热应该保持在最小以防止切下部分的不利的预成熟固化。通常, 折叠线应当仅被加热至足够以减少树脂基体的粘度而不用开始整个切下部分的固化。取决于所使用的树脂基体的类型, 温度会不同。折叠线应当仅被加热足够时间以允许叠层弯曲成期望的形状。折叠线应当被加热尽可能短的时间且优选不超过大约几分钟以避免局部固化切下部分。

[0033] 本发明的一个优点在于预制坯 60 可以被成型为接近最终部件的形状。预制坯优选为“近似网形”。近似网形意味着预制坯的尺寸在固化的纤维加强的复合结构的模制尺寸的至少 3mm 内。在固化的纤维加强的复合结构的模制尺寸的减小超过 3mm 的预制坯是可能的。例如, 预制坯可以取决于最终固化部件的大小、几何形状和期望的结构性能而设计为以固化部件的模制尺寸的 25mm 或者更多来减小尺寸。预制坯 60 可以部分固化从而提高树脂

基体的粘度以确保预制坯保持期望的近似网形。树脂基体可以通过任何已知的局部固化过程而部分地固化（提前），假设树脂粘度被调整以使得保持预制坯 60 的形状。通常已知为“B 阶段”的过程是用于在压缩模制或者其它固化过程之前促进树脂基体的优选过程。

[0034] 预制坯 60 的固化可以通过通常在航空航天工业中使用的任何常用的固化或者模制方案得以实现。压缩模制是用于转化预制坯 60 成最终航空器凸缘支撑 40 的优选过程。该过程涉及通过在按压中闭合的模具向预制坯 60 施加压力。固化压力、温度和时间取决于包括树脂基体的类型和预制坯的大小的变量而变化。对于包括环氧树脂、双马来酰亚胺 (bismaleimide) 树脂、聚酰亚胺树脂、聚酯树脂、乙烯基酯树脂、氰酸盐酯树脂、酚树脂的不同类型的树脂系统，这些固化变量对于那些本领域技术人员是已知的。该近似网形预制坯被形成且经过 B 阶段，如果必需的话，以控制树脂和纤维流，并且形成网形三维部件。

[0035] 根据本发明的航空器夹具结构 70 的形成示出在图 7-9 中。夹具结构 70 被设计以连接两个主要的结构航空器部件在一起。该两个主要的结构航空器部件 72 和 74 以虚线的方式示出在图 9 中。

[0036] 使用如在图 7 中以 78 示出的一个或者多个切下部分制作夹具结构 70。切下部分从优选的对称准各向同性叠层 10 切下。直线槽形成在如所示的 80 处的切下部分中。切下部分 78 沿着如虚线中所示的折叠线 82 和 84 折叠。槽 80 位于折叠线 82 和 84 的交叉处。槽 80 从位于折叠线交叉处的切下部分的内部延伸至切下部分的边缘。槽 80 与折叠线 82 在同一直线上。

[0037] 切下部分 78 折叠以形成如图 8 中所示的夹具预制坯 90。该夹具预制坯 90 是近似网形以使得它接近于最终夹具 70 的形状。在预制坯 90 中的纤维的取向以简单的形式示出如线 92，以说明当切下部分 78 折叠以形成预制坯 90 时，纤维的取向改变。设计师必须考虑发生在折叠步骤期间的 UD 纤维的重新定向，从而在预制坯 90 和最终的夹具 70 中提供期望的纤维取向。

[0038] 采用与凸缘支撑预制坯 60 相同的方式，夹具预制坯 90 可以部分固化以为了增加树脂基体的粘度来确保预制坯合适地形成期望部件形状的最终固化尺寸。“B 阶段”是在压缩模制或者其它固化过程之前，促进夹具预制坯 90 的树脂基体的优选过程。

[0039] 夹具预制坯 90 可以使用任何常用的固化或者模制方案，以与上述的用于固化凸缘支撑预制坯 60 的相同的方式得以固化。压缩模制是用于转化预制坯 90 成为最终航空器夹具 70 的优选工艺。

[0040] 因此，已经说明了本发明的示例性实施例，应该指出的是对于本领域技术人员，本公开范围内的仅为示例，各种其它替代，适应和更改可以在本发明的范围内进行。因此，本发明不限于上述实施例，而是仅由附随的权利要求限制。

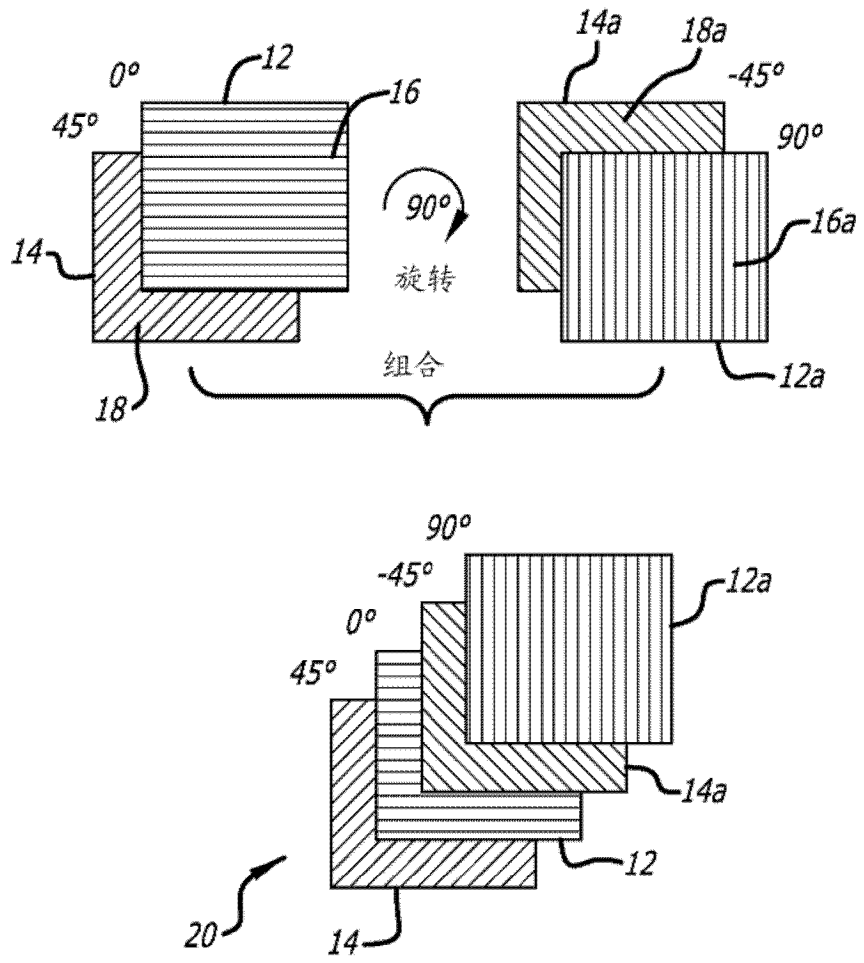


图 1

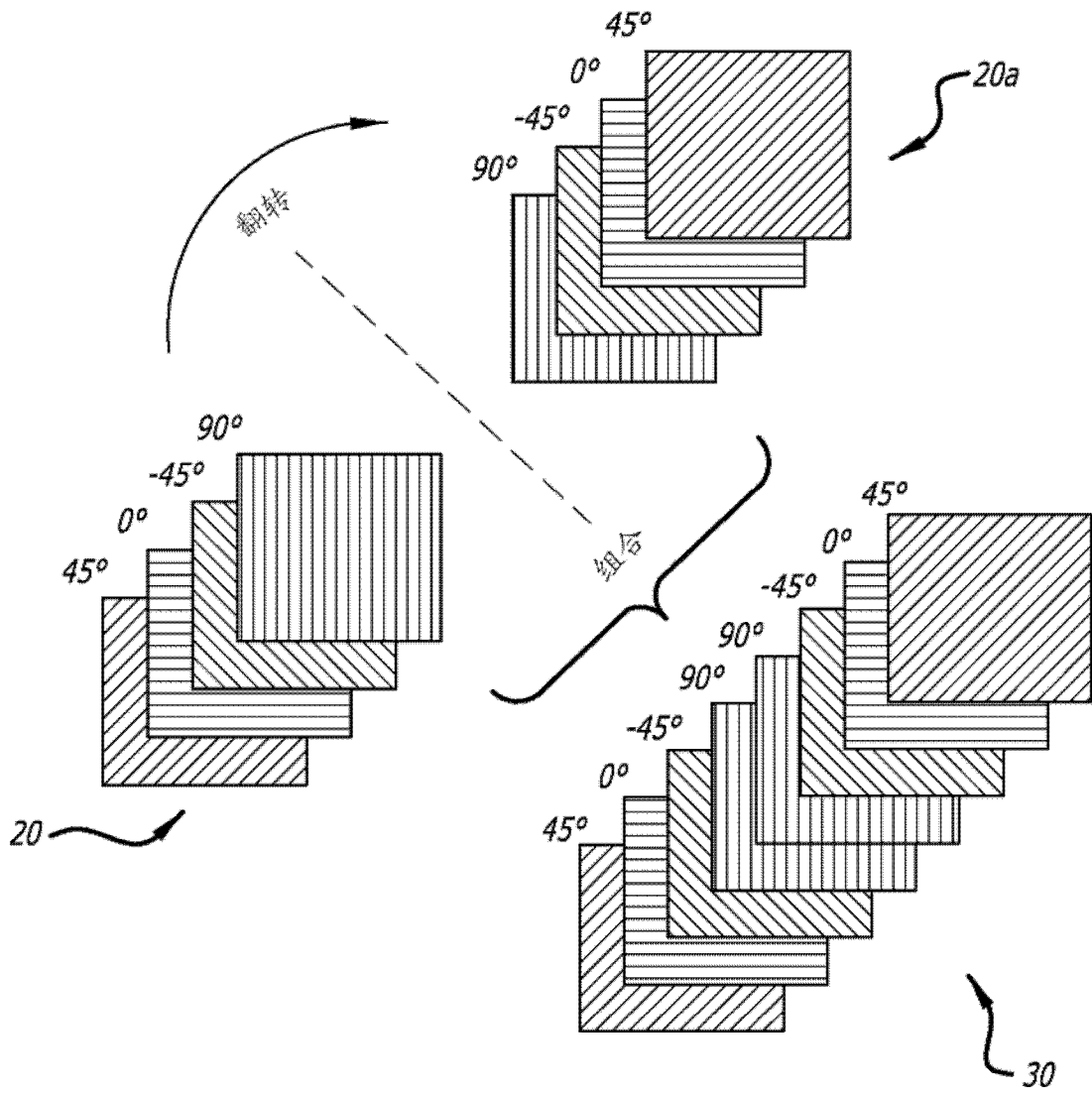


图 2

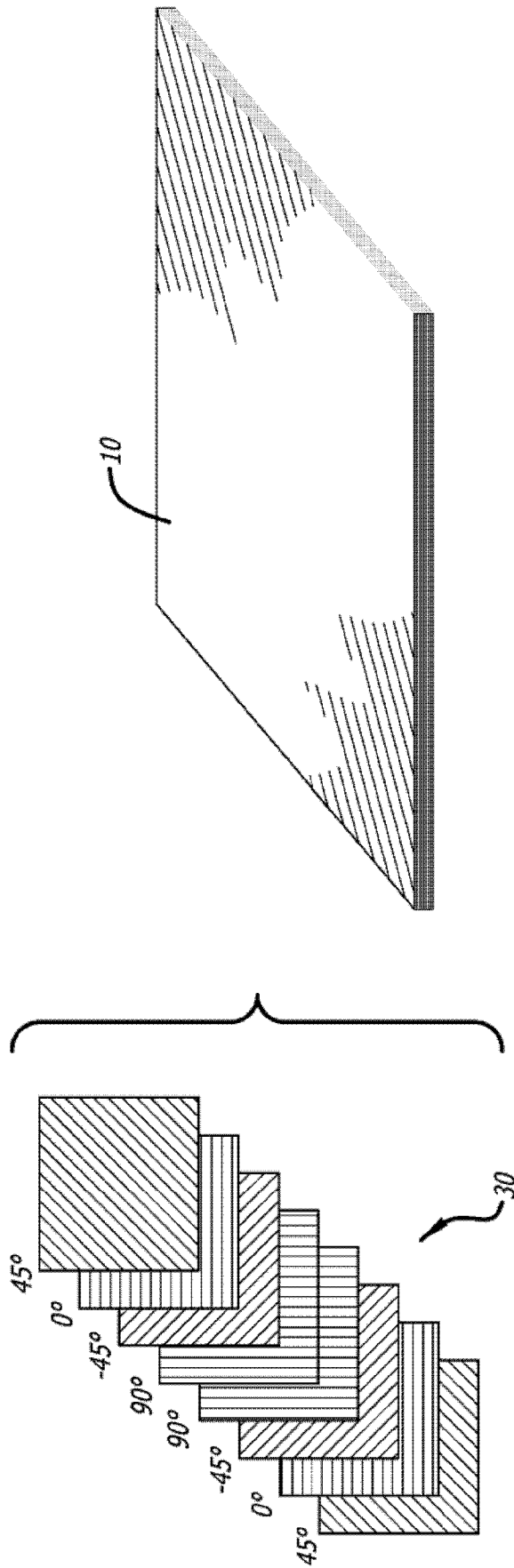


图 3

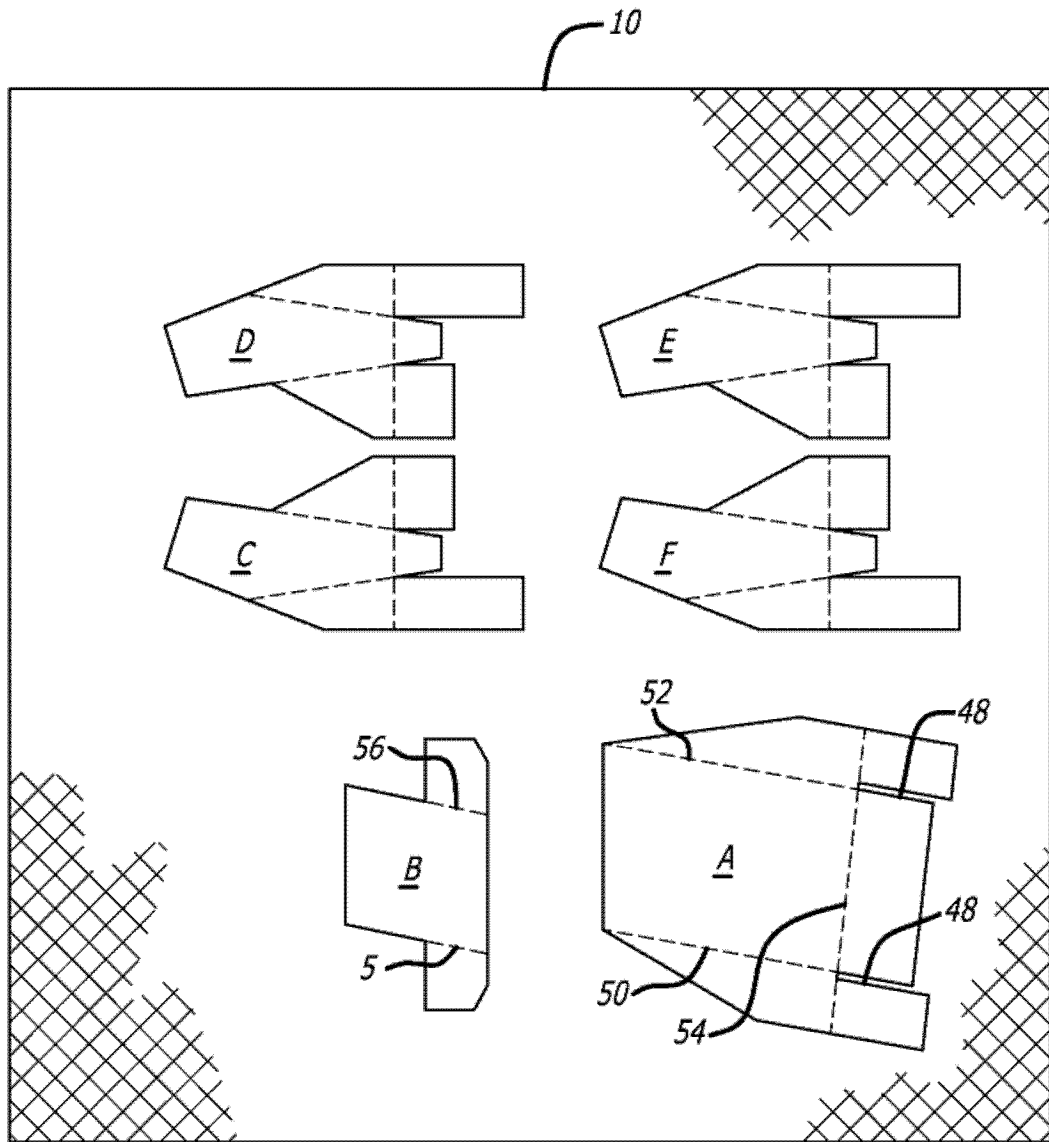


图 4

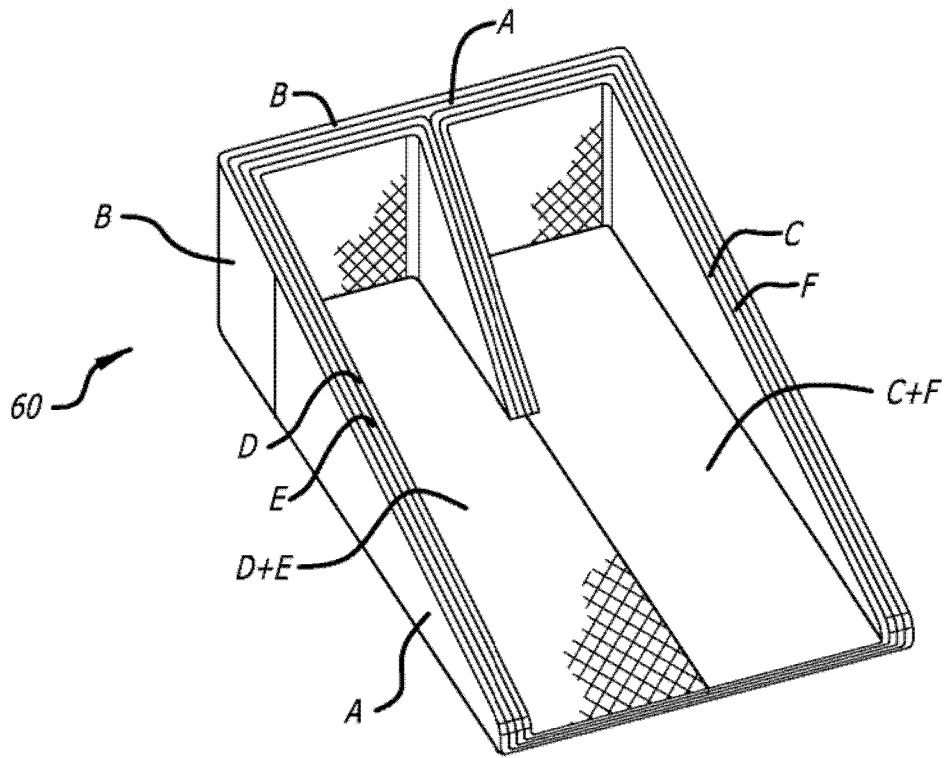


图 5

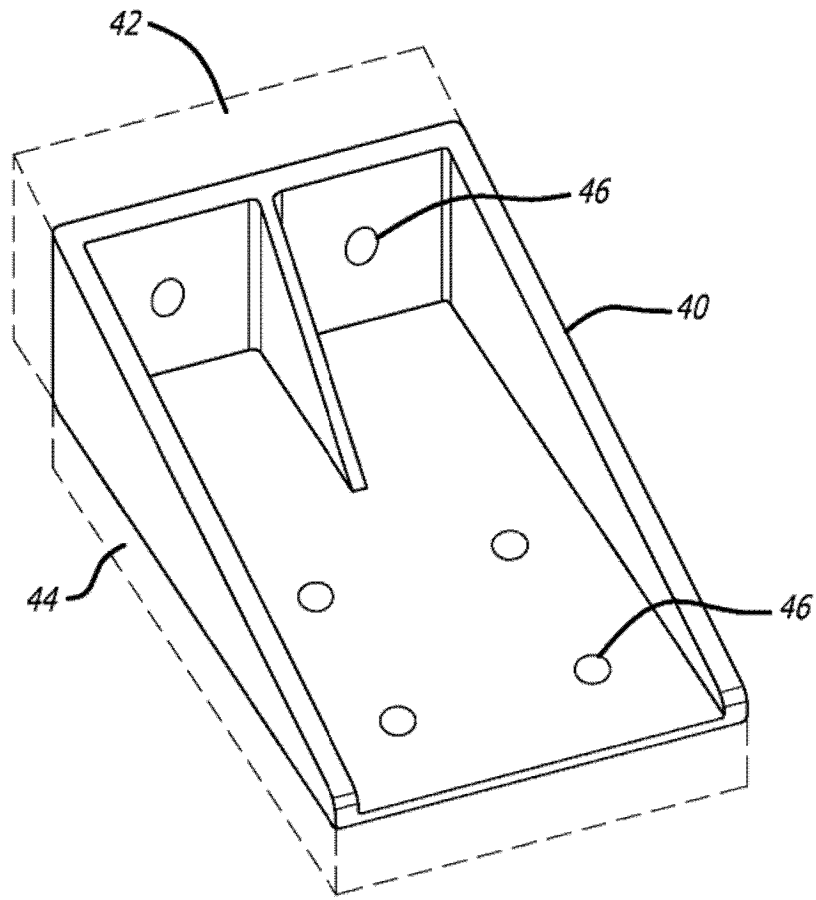
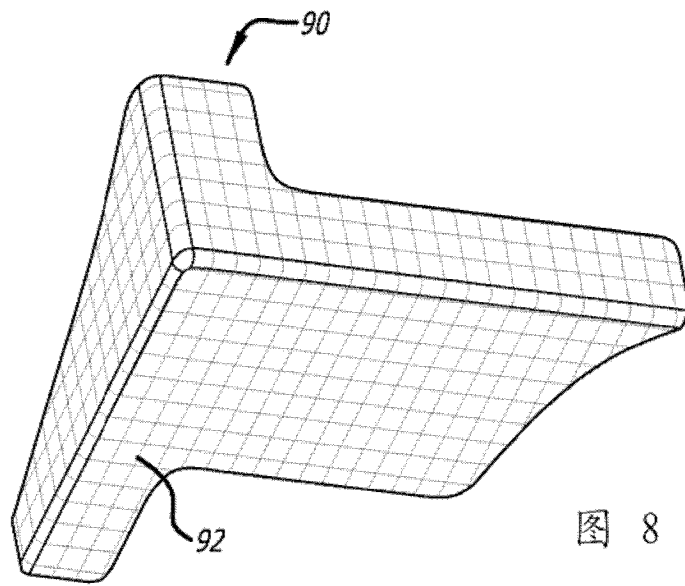
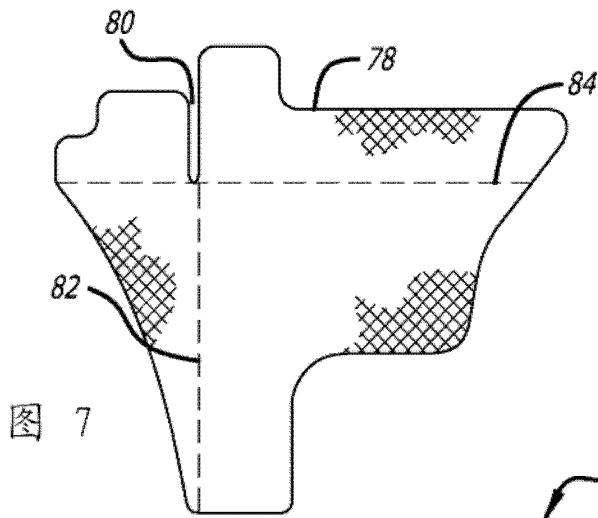


图 6



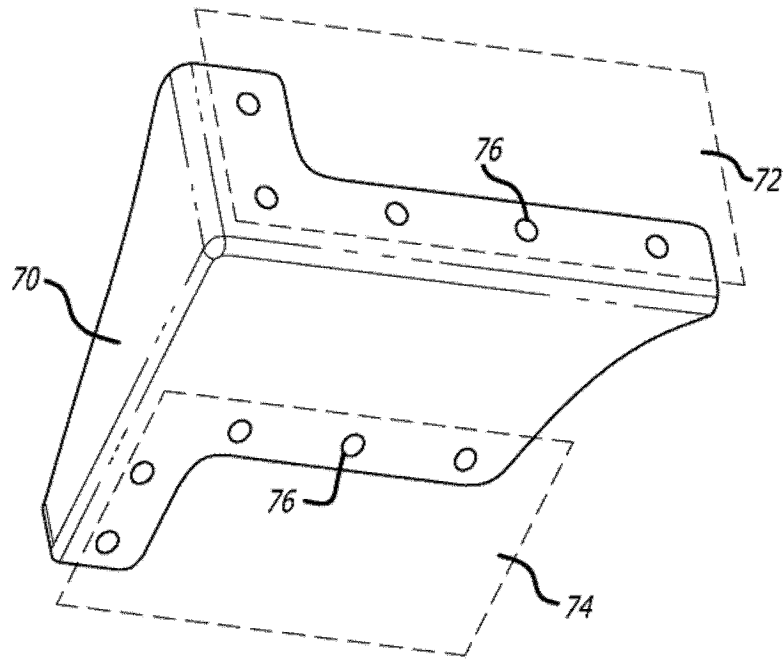


图 9