

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102186656 A

(43) 申请公布日 2011. 09. 14

(21) 申请号 200980141479. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 10. 20

B29C 70/50(2006. 01)

(30) 优先权数据

B29C 70/54(2006. 01)

61/106, 905 2008. 10. 20 US

C08J 5/24(2006. 01)

B29C 37/00(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

B29C 70/30(2006. 01)

2011. 04. 20

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/061211 2009. 10. 20

(87) PCT申请的公布数据

W02010/048101 EN 2010. 04. 29

(71) 申请人 塞特克技术公司

地址 美国特拉华州

(72) 发明人 C·L·邦乔瓦尼 J·D·博伊德

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 王磊 过晓东

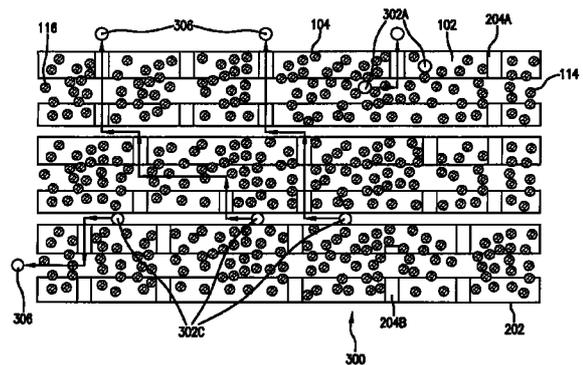
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 6 页

(54) 发明名称

具有改善的加工的预浸料和制备穿孔预浸料的方法

(57) 摘要

本发明公开了制作预浸料 (102、202) 的系统和方法, 所述预浸料具有增强的在固结和固化过程的至少一部分之前和 / 或期间从预浸料和预浸料叠层 (300) 内除去气体 (302A、302B、302C) 以形成复合结构的能力。在某些实施方案中, 具有选定的构造的穿孔 (204A、204B) 可以在叠置之前、在叠置期间和在叠置之后引入所述预浸料。在固结和固化过程期间所述穿孔为被截留在所述穿孔预浸料和预浸料叠层内和之间的气体提供逸出路径, 从而降低得到的复合材料内的残余孔隙度。例如, 按此方式可以获得按复合材料的体积计残余孔隙度小于 10 体积%的复合材料。



1. 穿孔预浸料,其包含:
预浸料,其包含基质树脂和埋在所述基质树脂的至少一部分内的纤维;和
多个穿孔,其分布在所述预浸料的至少一部分内,以使得气体能够移动通过所述预浸料;
其中所述基质树脂在约室温下适于形成尺寸稳定的穿孔并能够在大于室温的选定温度下流动以填充一个或多个所述穿孔。
2. 如权利要求 1 所述的穿孔预浸料,其中所述基质树脂的粘度使得在选定时间内在约室温下所述基质树脂基本上不流入所述穿孔中。
3. 如权利要求 1 所述的穿孔预浸料,其中所述基质树脂的粘度在约室温下大于约 1,000,000cp。
4. 如权利要求 1 所述的穿孔预浸料,其中所述基质树脂的粘度在固结和 / 或固化期间小于约 300,000cp,以促进所述基质树脂流入所述穿孔预浸料内的空隙空间,包括所述穿孔。
5. 如权利要求 1 所述的穿孔预浸料,其中所述一个或多个穿孔包括渗透孔、洞、孔、裂缝、狭缝、缺口及其组合。
6. 如权利要求 1 所述的穿孔预浸料,其中所述一个或多个穿孔通过所述穿孔预浸料的厚度延伸选定的距离。
7. 如权利要求 1 所述的穿孔预浸料,其中所述穿孔在所述穿孔预浸料内以大于约 1 个穿孔 /20 平方厘米的密度存在。
8. 如权利要求 1 所述的穿孔预浸料,其中在约 2 个穿孔 / 平方厘米的密度下,所述穿孔具有约 100 μ m 至约 500 μ m 的直径。
9. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述穿孔预浸料是部分浸渍的或完全浸渍的。
10. 如权利要求 1 所述的穿孔预浸料,其中所述纤维占所述穿孔预浸料的重量分数为小于 20 重量%。
11. 形成纤维增强复合材料的方法,包括:
引入一个或多个穿孔预浸料,所述穿孔预浸料包含基质树脂和埋在所述基质树脂的至少一部分内的纤维;
施加热量、真空或压力中的至少一种以固结和 / 或固化至少一个所述穿孔预浸料,以形成复合材料;
其中所述一个或多个穿孔被设置成使得气体能够从所述一个或多个穿孔预浸料的体内输送到所述穿孔预浸料的外表面。
12. 如权利要求 11 所述的方法,其中所述穿孔预浸料是部分浸渍的或完全浸渍的。
13. 通过权利要求 11 所述的方法制造的复合材料,按所述复合材料的总体积计,所述复合材料的孔隙度小于 10 体积%。
14. 制造穿孔预浸料的方法,包括:
传递能量到预浸料,以在所述预浸料的一部分中形成一个或多个通过所述预浸料的厚度延伸选定距离的穿孔。
15. 如权利要求 14 所述的方法,其中以针压力的形式传递能量,从而通过所述预浸料的厚度从外表面刺入所述预浸料选定的距离。

16. 如权利要求 14 所述的方法,其中以超声压力波的形式传递能量。
17. 如权利要求 14 所述的方法,其中以施加热能的形式传递能量。
18. 如权利要求 14 所述的方法,其中平均每约 1.0cm^2 所述预浸料存在至少 1 个穿孔。
19. 如权利要求 14 所述的制造穿孔预浸料的方法,其中所述预浸料包含占所述预浸料的重量分数小于 20 重量%的纤维。
20. 穿孔预浸料叠层,其包括一个或多个穿孔预浸料。
21. 如权利要求 20 所述的穿孔预浸料叠层,其中所述穿孔预浸料叠层还包括一个或多个没有穿孔的预浸料。
22. 如权利要求 20 所述的穿孔预浸料叠层,其中有和 / 或没有穿孔的预浸料组装成叠层,然后将穿孔引入所述预浸料叠层的至少一部分内。

具有改善的加工的预浸料和制备穿孔预浸料的方法

技术领域

[0001] 本发明的实施方案涉及预浸渍纤维,具体而言,涉及用于制作穿孔预浸料、穿孔预浸料叠层 (layup) 以及复合结构的方法。

背景技术

[0002] 纤维增强复合材料 (FRC) 是混合结构材料,其含有包围纤维增强体的至少一部分并且配置在一层或多层中的基质成分。由于其相对较高的刚度重量比以及其相对较低的密度,FRC 已经用在其中重量是重要问题的应用中,如飞机部件。

[0003] 可以使用用基质成分预先浸渍的纤维(也被称为预浸料)来制造 FRC 成分。为从预浸料形成复合材料零件,将一层或多层预浸料在模具内组装,并且可以施加热量以使基质树脂流动,从而能够使预浸料层固结。另外,施加的热量还可以使基质成分固化或聚合。

[0004] 然而,很难以这种方式使预浸料固结而形成复合材料。气体在叠置过程中可能被截留在预浸料内部以及预浸料之间,也可能在预浸料的加热和/或固化过程中放出。这些气体难以从叠层除去,因为基质基本上抑制了气体的移动,并且可能在复合材料中产生孔隙。孔隙可能进一步降低复合材料的机械性能。

[0005] 已经研发了用于在复合材料制作过程中增强夹杂气体的除去的技术,但问题仍然存在。例如,可以使用边缘通气装置,向预浸料的边缘施加真空,以从预浸料层的侧面抽出气体。然而,以这种方式从预浸料除去被截留的气体很慢,并且可能不能基本上完全地除去被截留的气体。

发明内容

[0006] 在一个实施方案中,提供了具有增强的从预浸料和预浸料叠层中除去气体(例如空气和其他挥发性种类)的能力的预浸料。在某些实施方案中,在预浸料内存在选定的构造的穿孔。所述穿孔为被截留在穿孔预浸料内的气体提供逸出预浸料的路径。

[0007] 在一个实施方案中,提供穿孔预浸料,其中穿孔在预浸料的至少一部分中分布。穿孔在约室温下也是尺寸上稳定的并且还能够使气体移动经过穿孔预浸料。

[0008] 在另一个实施方案中,提供使用一个或多个穿孔预浸料制造的复合材料。按复合材料总体积计,复合材料的孔隙度小于 10 体积%。

[0009] 在另一个实施方案中,提供制造穿孔预浸料的方法。该方法包括向预浸料施加机械操作或能量,以在所述预浸料的至少一部分中形成一个或多个穿孔。

[0010] 在可选的实施方案中,提供形成纤维增强复合材料的方法。该方法包括将一个或多个穿孔引入含有基质树脂和包埋在所述基质的至少一部分中的纤维的预浸料,以形成穿孔预浸料。所述一个或多个穿孔设置为使得气体能够从所述穿孔预浸料的主体中移动到所述穿孔预浸料的外表面。

[0011] 在另一个实施方案中,提供穿孔预浸料叠层。穿孔预浸料叠层可以包括一个或多个上面讨论的穿孔预浸料。穿孔预浸料叠层还可以包括穿孔预浸料和不含穿孔的预浸料的

组合。在另一个实施方案中,提供穿孔预浸料,其中所述穿孔预浸料中的纤维增强体的重量分数小于 20 重量%,例如对于黏附膜或表面膜,并且可以为零,例如对于树脂膜。

附图说明

[0012] 图 1A-1C 是完全浸渍的 (1A) 和部分浸渍的 (1B 和 1C) 预浸料的实施方案的示图;

[0013] 图 2A-2B 分别是具有穿孔的完全浸渍和部分浸渍的预浸料的实施方案的示图;

[0014] 图 3A-3B 分别是可能的机理的示图,气体可能通过所述机理从图 2A-2B 的完全穿孔和部分穿孔的预浸料和预浸料叠层基本上除去;

[0015] 图 4 图示说明在预浸料系统中引入穿孔的方法;

[0016] 图 5A-5B 是具有分布的穿孔的预浸料的实施方案的俯视图;(A) 随机穿孔分布;和 (B) 基本上均匀的穿孔分布;和

[0017] 图 6 图示说明用于穿孔预浸料的固结和固化以形成复合结构的系统的一个实施方案。

具体实施方式

[0018] 本文中所述的术语“大约”、“约”和“基本上”表示接近于所述量的仍然发挥期望的功能或实现期望的结果的量。例如,术语“大约”、“约”和“基本上”可以指在小于所述量的 10%内、小于所述量的 5%内、小于所述量的 1%内、小于所述量的 0.1%内和小于所述量的 0.01%内的量。

[0019] 具有圆形截面的基本上均匀的穿孔可以表现出在小于平均直径的 10%内、在小于平均直径的 5%内、在小于平均直径的 1%内、在小于平均直径的 0.1%内和在小于平均直径的 0.01%内的直径。在另一个实例中,基本上垂直于纤维的选定平面延伸的穿孔可以表现出在小于与纤维平面的法线角的 10%内、在小于与纤维平面的法线角的 5%内、在小于与纤维平面的法线角的 1%内、在小于与纤维平面的法线角的 0.1%内和在小于与纤维平面的法线角的 0.01%内的取向。

[0020] 本文中所述的术语“至少一部分”代表一定量的整体,其包括所述整体的可以包括所述整体的量。例如,术语“一部分”可以指大于整体的 0.01%、大于整体的 0.1%、大于整体的 1%、大于整体的 10%、大于整体的 20%、大于整体的 30%、大于整体的 40%、大于整体的 50%、大于整体的 60%、大于整体的 70%、大于整体的 80%、大于整体的 90%、大于整体的 95%、大于整体的 99%和整体的 100%的量。

[0021] 本文中所述的术语“室温”具有本领域技术人员已知的一般含义,并且可以包括约 15°C~43°C 范围内的温度。

[0022] 本文中所述的术语“纤维”具有本领域技术人员已知的一般含义,并且可以包括适于复合材料增强的一种或多种纤维材料。纤维可以采取颗粒、薄片、晶须、短纤维、长纤维、片、层片及其组合中的任何形式。长纤维还可以采用单向、多维(例如二维或三维)、无纺、纺织、针织、缝合、缠绕和编织纤维中的任何形式,以及卷曲纤维薄毡 (swirl mat)、毛毡 (felt mat) 和短纤维毡 (chopped mat) 结构。纺织纤维可以包括具有小于约 1000 根细丝、小于约 3000 根细丝、小于约 6000 根细丝、小于约 12000 根细丝、小于约 24000 根细丝、小于约 48000 根细丝、小于约 56000 根细丝、小于约 125000 根细丝和大于约 125000 根细丝的多

个纺织丝束。纺织丝束可以通过交叉丝束缝合、纬插入下针或少量树脂如胶料而保持在适当的位置。

[0023] 纤维的组成可以根据需要变化。纤维包括但不限于玻璃、碳、芳族聚酰胺、石英、聚乙烯、聚酯、聚对亚苯基-苯并二噁唑 (PBO)、硼、碳化硅、聚酰胺、Nylon®、氮化硅、Astroquartz®、Tyranno®、Nextel®、Nicalon®和石墨及其组合。

[0024] 本文中所述的术语“基质”、“树脂”和“基质树脂”具有本领域技术人员已知的一般含义，并且可以包括一种或多种化合物，所述化合物包括热固性和/或热塑性材料。实例可以包括但不限于环氧树脂、环氧树脂固化剂、酚醛塑料、酚类、氰酸酯类、酰亚胺类（例如，聚酰亚胺、双马来酰亚胺 (BMI)、聚醚酰亚胺）、聚酯类、苯并噁嗪类、聚苯并咪唑类、聚苯并噻唑类、聚酰胺类、聚酰胺酰亚胺类、聚砜类、聚醚砜类、聚碳酸酯类、聚对苯二甲酸乙二醇酯类和聚醚酮类（例如，聚醚酮 (PEK)、聚醚醚酮 (PEEK)、聚醚酮酮 (PEKK) 等）、其组合、和其前体。

[0025] 本文所讨论的基质还可以含有可溶性、不溶性或部分可溶性的添加剂。可以提供这些添加剂以影响基质的机械性质、流变性质、电性质、光学性质、化学性质和/或热性质中的一种或多种。这种添加剂可以进一步包括与基质化学反应、与基质相互作用或与基质不起反应的物质。这些添加剂的尺寸分布以及几何形状也可以根据需要变化。例如，添加剂的尺寸可以在纳米尺度（大约 1nm-100nm）、微米尺度（大约 100nm-100 μm）和大于约 100 μm 的宏观尺度之间变化。在其他实例中，添加剂可以构造成各种几何形状，包括但不限于颗粒、薄片、棒等。在其他实例中，添加剂可以在基质的选定区域内分布（例如邻近基质表面）或者在基质内均匀分布或溶解。添加剂的实例可以包括但不限于有机和无机物质，如阻燃剂、紫外线 (UV) 保护剂、增稠剂（例如，Cabosil®）和增强损伤容限、韧性、耐磨性中的一种或多种的补强剂（例如，橡胶、陶瓷和/或玻璃）。

[0026] 特别有利的添加剂是橡胶颗粒、热塑性颗粒或本领域中公知的改善损伤容限的组合。

[0027] 本文中所述的术语“浸渍”具有本领域技术人员已知的一般含义，并且可以包括将基质膜、粉末、液体和/或溶液引入纤维的至少一部分中。可以通过应用热量、压力和溶剂中的一种或多种来促进浸渍。本文所讨论的“完全浸渍”可以包括其一般含义，并且还可以包括在如预浸料中的基质中包埋基本上所有纤维的浸渍。本文所讨论的“部分浸渍”包括其一般含义，并且可以包括小于基本上完全浸渍且含有干纤维区域（其中一部分纤维未包埋在基质内）的浸渍。

[0028] 本文中所述的术语“预浸料”具有本领域技术人员已知的一般含义，因此包括在其体积的至少一部分中已用基质树脂浸渍的纤维薄片或纤维薄层。基质可以部分固化或未固化的状态存在。

[0029] 本文中所述的术语“叠层”具有本领域技术人员已知的一般含义，并且可以包括彼此相邻放置的一个或多个预浸料。在某些实施方案中，叠层内的预浸料相对于彼此可以位于选定方向上。在另一个实施方案中，预浸料可以任选地用线材料缝合一起，从而抑制它们从选定方向的相对移动。在另外的实施方案中，“叠层”可以包括本文所讨论的完全浸渍的预浸料、部分浸渍的预浸料和穿孔预浸料的任何组合。叠层可以通过以下技术制造，所述技术可以包括但不限于手动叠置、自动带叠置 (automated tape layup, ATL)、高级纤维放置

(advanced fiber placement, AFP) 和纤维缠绕 (filament winding)。

[0030] 本文中所述的术语“尺寸稳定性”具有本领域技术人员已知的一般含义,因此包括在选定的时间内结构在选定的范围内保持尺寸的能力。在某些实施方案中,选定的范围可以通过结构发挥预期功能的能力来确定,例如在选定的压力下允许气体以选定的速度通过。

[0031] 本文中所述的术语“固结”具有本领域技术人员已知的一般含义,因此包括其中树脂或基质树脂流动从而取代空隙空间的过程。例如,“固结”可以包括但不限于基质流入纤维和预浸料、穿孔等之间和之内的空隙空间。“固结”还可以在加热、真空和施加的压力中的一种或多种的作用下发生。

[0032] 本文中所述的术语“固化”具有本领域技术人员已知的一般含义,并且可以包括聚合和/或交联过程。固化可以通过以下方法进行,所述方法包括但不限于加热、暴露于紫外光和暴露于辐射。在某些实施方案中,固化可以在基质内进行。在固化前,基质还可以含有在约室温下为液体、半固体、结晶固体及其组合的一种或多种化合物。在进一步的实施方案中,预浸料内的基质可以被配制或部分固化,从而表现出选定的黏性或黏着性 (tack)。在某些实施方案中,固结和固化可以在一个过程中进行。

[0033] 本发明的实施方案提供穿孔预浸料、穿孔预浸料叠层和制造方法。穿孔预浸料具有增强的除去被截留在穿孔预浸料和穿孔预浸料叠层之内或之间的气体的能力。被截留的气体可以仅在所述的固结以形成复合结构过程的至少一部分之前和/或期间,或者当被引入穿孔预浸料叠层时,以及在各固结以形成复合结构过程的至少一部分期间被从穿孔预浸料除去。在某些实施方案中,具有选定的构造的穿孔在叠置前引入预浸料中。在可选的实施方案中,具有选定的构造的穿孔在叠置期间或在叠置后引入预浸料中。在预浸料固结的至少一部分之前和/或期间,穿孔为被截留在穿孔预浸料或穿孔预浸料叠层之内或之间的气体提供逸出路径,从而减少产生的复合材料内部的残余孔隙度,并可以提高其机械性能。例如,以这种方式可以获得按复合材料的总体积计残余孔隙度小于 10 体积%、小于 4 体积%和小于 1 体积%的复合材料。

[0034] 在某些实施方案中,穿孔预浸料配置成使得穿孔具有尺寸稳定性。因此,穿孔一经引入就可以在选定的时期内保持尺寸稳定性。在某些实施方案中,穿孔在穿孔预浸料的保存期间可以保持尺寸稳定性。在其他实施方案中,穿孔在固结过程的至少一部分中可以保持尺寸稳定性。有利的是,穿孔预浸料的这种设计使得可以除去被截留在穿孔预浸料内和穿孔预浸料叠层内的穿孔预浸料各层之间的气体。

[0035] 在某些实施方案中,可以通过调节基质的粘度提供尺寸稳定性。例如,在约室温下大于约 1,000,000 厘泊 (cp) 的相对较高的基质粘度可以为穿孔提供尺寸稳定性。优选地,基质树脂适于在约室温下形成尺寸稳定的穿孔,并且能够在大于室温的选定温度下流动而填充一个或多个穿孔。

[0036] 在进一步的实施方案中,穿孔可以引入完全或部分浸渍的预浸料中。如下文详细讨论的,可以制作其中一部分预浸料纤维未用基质树脂浸渍的穿孔预浸料,即部分浸渍的预浸料。通过在这种部分浸渍的预浸料内引入穿孔,气体可以通过穿孔预浸料的未浸渍部分、穿孔部分、预浸料叠层中的预浸料之间的层间区和其组合,从而增强气体逸出部分浸渍的穿孔预浸料和叠层的能力。有利的是,在完全浸渍或部分浸渍的预浸料中引入穿孔的能

力使得可以将本文讨论的方法用于宽范围的预浸料和应用中。

[0037] 在另外的实施方案中,穿孔的配置可以进一步变化,从而进一步增强在固结的至少一部分之前和 / 或期间气体从预浸料逸出的能力。在一个实例中,穿孔可以部分或完全地延伸通过预浸料的厚度。在另一个实例中,穿孔可以受控的方式分布整个预浸料,从而允许从整个预浸料除去气体,促进形成均匀的复合材料。在另一个实例中,穿孔的参数,包括但不限于大小、形状、分布和穿孔密度(单位面积的穿孔数量)可以根据需要变化。

[0038] 图 1A-1B 显示完全浸渍和部分浸渍的预浸料 100、108 的实施方案。在一个实施方案中,预浸料 100、108 包括纤维 104 和已经浸入纤维 104 的至少一部分中的基质 102。

[0039] 基质 102 可以以固体、半固体膜、粉末和液体的形式在施加或未施加热量和 / 或压力的情况下完全地或部分地浸入纤维 104 中。在一个实例中,完全浸渍的预浸料 100 可以具有基本上埋在基质 102 内的纤维。在另一个实例中,部分浸渍的预浸料 108 可以含有基本上没有基质 102 的选定的区域,如含有基本上未埋在基质 102 内的干纤维 116 的无基质区 114,如图 1C 所示。在另一个实例中,部分浸渍的预浸料 108 可以含有部分没有基质 102 的选定的区域,如含有大部分干纤维 116 的无基质区 114,无基质区 114 中的一些纤维埋在基质 102 内,如图 1B 所示。在一个实施方案中,可以通过从两侧浸渍纤维 104,在预浸料 108 的内部留下基本上没有基质 102 的无基质区 114,从而形成部分浸渍的预浸料 108。在另一个实例中,可以通过从一侧浸渍纤维 104 而形成部分浸渍的预浸料 108。如下面所讨论的,无基质区 114 可以与引入的穿孔协作,使得能够在固结和 / 或固化过程期间从部分浸渍的预浸料 108 除去气体。

[0040] 可以使用多种技术形成预浸料 100、108,所述技术包括但不限于溶液方法例如溶液浸 (solution dip) 和溶液喷洒,以及熔融和加工方法例如直接熔融和膜压延。这些方法被设计成使纤维 104 的至少一部分与可流动或可锻造状态的基质 102 接触并用基质 102 浸渍纤维 104。为促进叠置过程,可以在基质浸渍期间和 / 或之后相应地调节基质 102 的黏着性。

[0041] 在溶液浸方法中,纤维 104 可以经过在溶剂内溶解的基质固体的浴。随着纤维 104 经过浴,它们“拾取”一定量的基质固体,其随各种因素例如纤维 104 经过浴的速度和基质固体在浴内的含量而变化。在溶液喷洒方法中,将选定量的基质固体喷洒在纤维 104 上。在每一种溶液方法的情况下,浸渍的纤维 104 在暴露于浴之后或喷洒之后被加热,从而基本上除去溶剂,并且还可以使基质开始固化过程。

[0042] 在直接熔融方法中,基质 102 以大约无溶剂涂层的形式直接在纤维 104 上提供。在施用温度下,基质 102 充分地可流动,从而使得浸渍纤维 104 的至少一部分,以形成预浸料 100、108。可选择地,在膜压延中,基质 102 从熔体或溶液浇注成膜。然后,将纤维 104 夹在一个或多个基质膜之间,或者从一侧涂布一层膜,并延伸,从而将基质膜加工为纤维 104。

[0043] 添加剂也可以在浸渍之前或之后加到基质 102 中。在一个实施方案中,添加剂可以包括微粒,其通过喷洒在基质 102 上或内部而加入。这些添加剂对于除去叠层之间的气体也可能是有利的,因为气体可以通过置于叠层之间的添加剂产生的通道更自由地移动。这种微粒添加剂可以包括但不限于颗粒,例如平均直径小于约 200 μm 的热塑性颗粒、热固性颗粒、硅质颗粒、玻璃颗粒、橡胶和无机颗粒的任何组合。

[0044] 预浸料 100、108 的纤维含量也可以根据应用的要求而变化。在一个实施方案中,

按预浸料 100、108 的总重量计,纤维 104 的重量分数可以为约 20 ~ 80 重量%。在另一个实施方案中,穿孔预浸料中的纤维 104 重量分数小于 20 重量%,例如对于黏附膜或表面膜,并且可以为零,例如对于树脂膜。这种实施方案的穿孔预浸料可以有利地用作黏附膜或表面膜,其中穿孔为从表面、从粘附物之间或从芯除去气体提供通道。这种粘合剂包括对于复合材料、金属和夹层结构应用的可共固化粘结应用。穿孔预浸料中的纤维 104 的重量分数小于 20 重量%或根本没有纤维 104 的有利的实施方案包括粘合剂,例如其中粘合剂中的纤维是轻质聚酯或尼龙粗孔织品 (scrim)。

[0045] 由基质 102 占据的预浸料 100、108 的分数在需要时也可以变化。在某些实施方案中,按预浸料 100、108 的总重计,基质 102 可以占据预浸料 100、108 的约 20 ~ 80 重量%。

[0046] 图 2A-2B 示出具有穿孔 204A 和部分穿孔 204B 的完全浸渍和部分浸渍的预浸料 200、202 的实施方案。在某些实施方案中,穿孔 204A 可以基本上延伸通过预浸料 200、202 的宽度,而部分穿孔 204B 可以延伸通过预浸料 200、202 的宽度的选定部分。

[0047] 穿孔 204A、204B 可以包括引入预浸料 100、108 中的通道,并且可以包括但不限于渗透孔、洞、孔、狭缝、缺口、裂缝及其组合。穿孔 204A、204B 沿其长度可以是基本上均匀的、沿其长度基本上不均匀的及其组合。穿孔 204A、204B 还可以相对于纤维 104 的长轴以选定的角度取向。例如,穿孔 204A、204B 可以大致垂直于纤维 104 的长轴延伸。

[0048] 不束缚于具体的理论,穿孔预浸料 200、202 可能有助于在固结的至少一部分之前和 / 或期间从单独的穿孔预浸料 200、202 和引入穿孔预浸料 200、202 的预浸料叠层 300、310 (图 3A-3B) 除去气体,因此与未使用穿孔预浸料 200、202 形成的复合材料相比,减少了由此形成的复合材料内的孔隙体积。例如,穿孔 204A、204B 为气体提供从穿孔预浸料 200、202 逸出的路径,并且与未穿孔预浸料相比,使得能够更容易和更大体积地从穿孔预浸料 200、202 除去气体。气体可以包括源于部分和 / 或完全浸渍的预浸料 200、202 的基质 102 或无基质区 114 内的层内气体 302A 以及源于基质 102 内和预浸料叠层中的预浸料层之间的层间区的层间气体 302B、302C。特别地,穿孔预浸料 200、202 被认为适于除去可能在固结期间放出的气体。

[0049] 图 3A 和 3B 图示说明可以从中除去气体的部分浸渍的穿孔预浸料叠层 300 和完全浸渍的穿孔预浸料叠层 310 的实施方案。可以理解的是,本发明的实施方案可以包括含有完全浸渍的预浸料 100、部分浸渍的预浸料 102、完全浸渍的穿孔预浸料 200 和部分浸渍的穿孔预浸料 202 的任何组合的叠层。

[0050] 如图 3A-3B 所示,穿孔预浸料 200、202 内的气体 302A、302B、302C 可以移动经过基质 102、无基质区 114 和穿孔 204A、204B 的任何组合,以移出穿孔预浸料 200、202。例如,在可能因基质流动、施加的压力和 / 或真空而产生的力的影响下,气体 302A、302B、302C 可能从邻近的穿孔 204 之间和 / 或之内驱出。一旦在穿孔 204 内,气体 302A、302B、302C 可以容易地移出穿孔预浸料 200、202,而不会受到来自基质 102 的大的阻力。

[0051] 如图 3A 的部分浸渍的穿孔预浸料叠层 300 进一步所示,无基质区 114 可以使得在两个或更多个穿孔 204A 和 204B 的任何组合之间的气体 302A、302C 可以连通。例如,一旦气体 302A、302C 进入穿孔 204A,气体 302A、302C 可以经由无基质区 114 移动到穿孔 204C,然后移出穿孔预浸料 202,而不是沿着穿孔 204A 移出穿孔预浸料 202。在另一个实例中,气体 302A、302C 可以经由一个或多个穿孔 204A、204B 移动到无基质区 114,气体 302A、302C 可以

经过无基质区 114 移动,从而逸出部分浸渍的穿孔预浸料叠层 300。有利的是,气体 302A、302C 在穿孔 204A、204B 之间移动的能力可以允许气体 302A、302C 以不同路径逸出穿孔预浸料 202。在其中一个或多个穿孔 204A、204B 被阻断或以其他方式不能通过的情况下,这种可选路径可能是有利的,因为气体 302A、302C 仍然可以经过穿孔 204A、204B 和无基质区 114 的其他组合移出穿孔预浸料 200、202。

[0052] 在某些实施方案中,可以通过施加能量在基质浸渍后将穿孔 204A、204B 引入的预浸料 100、108,如图 4 所示。所述能量还可以包括机械能和热能中的至少一个。尽管下面在引入穿孔 204A、204B 的情况下讨论了完全浸渍和部分浸渍的预浸料 100、108,但是可以理解的是,穿孔也可以引入完全浸渍的穿孔预浸料 200 和部分浸渍的穿孔预浸料 202 中。此外,穿孔 204A、204B 可以引入具有完全浸渍的预浸料 100、部分浸渍的预浸料 102、完全浸渍的穿孔预浸料 200 和部分浸渍的穿孔预浸料 202 的任何组合的叠层中。

[0053] 在某些实施方案中,穿孔过程可能破坏预浸料中的多个纤维。在某些实施方案中,引入穿孔 204A、204B,使得与由没有穿孔的可比较的预浸料制作的复合材料相比,由穿孔预浸料 200、202 形成的复合材料的机械性能例如拉伸强度、拉伸模量和压缩强度降低小于 10%、小于 5%和 / 或小于 1%。

[0054] 在一个实施方案中,可以通过使用具有一个或多个突起 402 的钻孔工具 400 例如针辊施加机械能。在一个实施方案中,钻孔工具 400 可以是包含多根针的针辊,每根针约 100 μm 高至约 5cm 高或更多,更优选约 1mm 至约 25mm,如刺入预浸料期望的深度所需的那样。每根针可以是任何不同的形状,如圆锥形、梯形、斜面等,当刺入预浸料中时在预浸料表面的平均直径为约 1 μm 至约 10mm,更优选约 500 μm 至 1500 μm 。多根针可以具有相同的或不同的高度和直径。这些针优选末端为尖锐的尖端,但末端也可以是钝的、圆斜面或其他所需形状的尖端。钻孔工具 400 的突起 402 可以刺穿预浸料 100、108 的至少一部分厚度,从而引入穿孔 204A、204B。突起 402 可以在穿孔 204A、204B 期望的大小、密度和 / 或图案方面进一步配置。在可选的实施方案中,可以使用多个穿孔工具 400,从而获得穿孔 204A、204B 的期望的配置。

[0055] 在另一个实施方案中,机械能可以通过使用能够发射超声波 410 的超声装置 406 施加至预浸料 100、108。超声波 410 包括具有在超声波范围内的频率的压力波。一旦进入预浸料 100、108,压力波可能会导致基质 102 破裂,产生穿孔 204A、204B。也可以通过冷却预浸料 100、108 而促进由超声波 410 形成穿孔 204A、204B,以减小使基质 102 破裂所需的能量。在另一个实施方案中,将机械操作施用至冷却的预浸料,以形成孔或穿孔。

[0056] 在另一个实例中,可以通过使用激光 404 施加热能。激光 404 的光束 412 配置成通过预浸料 100、108 烧出选定深度的穿孔 204A、204B。光束 412 的截面积可以约等于期望的穿孔 204 的截面积。

[0057] 形成的穿孔可以是足以使气体从穿孔预浸料或穿孔预浸料叠层逸出的任何大小直径。例如,取决于穿孔的密度和其他因素,每个穿孔的平均直径可以为约 1 μm 或以下至约 5000 μm 或以上,优选约 50 μm 至约 500 μm ,使得多个穿孔允许气体充分逸出。在进一步的实施方案中,可以选择穿孔 204 的分布,使得气体 302A、302B、302C 能够逸出穿孔预浸料 200、202,如图 5A-5B 的俯视图中所示。例如,穿孔 204 可以在穿孔预浸料 200、202 的约整个体积内分布。分布可以是随机的,如图 5A 所示,或大致均匀的,如图 5B 所示。在一个实

实施方案中,取决于穿孔直径,穿孔 204 可以大于约 1 个穿孔 /20 平方厘米的平均密度至多至所需的平均密度存在,从而允许气体的充分逸出。在另一个实例中,穿孔 204 可以选定的图案分布。此外,穿孔 204 可以间隔选定的距离(例如边缘到边缘距离、中心到中心距离等),如约 0.01 ~ 100mm。有利的是,通过在穿孔预浸料 200、202 的整个体积内分布穿孔 204,气体 302A、302B、302C 可以从穿孔预浸料 200、202 的整个体积逸出,从而抑制不均匀孔隙度区域的产生。然而,可以理解的是,在可选的实施方案中,穿孔 204A、204B 可以被引入预浸料 100、108 的选定部分,而不是预浸料 100、108 的基本上整个体积。

[0058] 在进一步的实施方案中,基质 102 的粘度可以配置成使得穿孔 204 能够保持尺寸稳定。有利的是,穿孔 204 的尺寸稳定性可以允许在制造、储存和使用期间处理穿孔预浸料 200、202,而无需过多的预防措施。形成的穿孔完全没有或基本上没有碳纤维和基质树脂。

[0059] 在另一个实施方案中,基质 102 的粘度可以配置成在固结期间流入和填充穿孔预浸料 200、202 内部和之间的空隙空间。例如,在一个实施方案中,基质 102 的粘度可以配置成通过施加热量而流入和填充空隙空间,无需外部压力。在其他实施方案中,基质 102 的粘度可以配置成通过施加热量和外部压力和 / 或真空流入和填充空隙空间。有利的是,通过允许穿孔 204A、204B 和其他空隙空间在固结期间被填充,穿孔 204A、204B 和其他空隙空间可以被配置成对由此得到的复合材料的孔隙度没有贡献。

[0060] 在进一步的实施方案中,穿孔预浸料 200、202 可被配置成表现出不同水平的黏着性。有利地,表现出相对较高水平黏着性的穿孔预浸料 200、202 可能适于制造复杂的复合材料零件,因为其可被置于相对紧凑的半径中。

[0061] 图 6 图解说明用于穿孔预浸料 200、202 的固结和固化的系统 600 的一个实施方案。在某些实施方案中,穿孔预浸料 200、202 被配置成薄层,其被设计成在选定方向叠置在一起或叠层 602,固结和固化以形成复合材料零件。例如,在具有单向取向的纤维 104 的穿孔预浸料 200、202 中,纤维 104 可以相对于预浸料 100、108 的最大尺寸以 0° 、 90° 或选定的角度 θ 取向。具有任何取向的组的穿孔预浸料 200、202 可以组合以形成叠层 602。相似地,可以生成用于具有其他纤维架构的穿孔预浸料 200、202 叠层 602。

[0062] 叠层 602 还可以含有置于叠层 602 内的一个或多个穿孔预浸料层之间的材料。在一个实施方案中,可以如此放置含有木材、泡沫、蜂窝或其他结构材料的中央芯。可选择地或另外地,在穿孔预浸料层之间可以放置双层,从而产生延长的加强区。此外,未浸渍的或部分浸渍的轻重量的织品,如玻璃纤维、碳、热塑性塑料或者纺织或无纺的其他材料(例如美国专利公开第 2005/0255766 中所记载的)可以在选定区域引入叠层 602 内,从而促进除去气体 302A、302B、302C 或者提高机械性能如损伤容限。

[0063] 在进一步的实施方案中,粘度比基质树脂低的连续或不连续的树脂膜可以加到预浸料 200/202 和 / 或叠层 602 中,以改善黏着性。将这种树脂膜加到叠层 602 中可以促进预浸料 200/202 叠层 602 的制备,特别是在其中预浸料 200、202 的基质含有添加剂如颗粒或粗孔织品的情况下。树脂膜可以被穿孔,并且优选地被穿孔。

[0064] 在加入芯结构的叠层 602 的实施方案中,还可以使用粘合剂材料,从而在预浸料的固化期间将芯与预浸料材料粘结。由于开放的中央芯结构如蜂窝结构可能含有大量的气体,因此粘合剂层也可以被穿孔或者使其成网状,从而促进除去气体。在另外的实施方案中,穿孔 204A、204B 可以引入整个预浸料 100、102A、粘合剂层和芯层,从而为待除去的气体

302A、302B、302C 提供基本上通畅的途径。

[0065] 叠层 602 可以与工具 604 接触放置,所述工具在固结和固化期间为穿孔预浸料 200、202 提供采用的模板形状。例如,工具 604 可以包括相对平坦的表面、曲面及其组合。在一个实施方案中,第二工具可以位于工具 604 的对面,从而使叠层 602 的邻近第二工具的表面成型。在加压固化系统中可以将力施加到工具 604 和第二工具以固结穿孔预浸料 200、202 并加热以固化穿孔预浸料 200、202。真空套 610 对于所述加压固化系统而言是任选的。为了抑制基质 102 流出叠层 602 或者为了改善气流,还可以将一个或多个屏障 606 邻近叠层 602 的边缘放置。

[0066] 叠层 602 和工具 604 还可以利用具有通气装置 612 例如未浸渍的玻璃纤维的真空套 610 进一步封装。在一个实施方案中,通气装置 612 可以放置于邻近叠层 602 的至少一个水平表面以进行表面通气。在另一个实施方案中,通气装置 612 可以邻近叠层 602 的一个或多个边缘放置以进行边缘通气。在进一步的实施方案中,通气装置 612 可以放置用于同时进行表面通气和边缘通气。根据需要,还可以使用密封胶带,以在工具 604 和真空套 610 之间产生约为真空的紧密密封。

[0067] 在进一步的实施方案中,可以在预浸料 200、202 和通气装置 612 之间在一个或多个表面上引入隔膜 614,从而促进从系统 600 取出制作的复合材料。在某些实施方案中,隔膜 614 可以是透气的。在可选的实施方案中,隔膜 614 可以是穿孔的。在另外的实施方案中,隔膜 614 可以是基本上不透气的,但可以允许气体 302A、302B、302C 移动到叠层 602 的边缘而除去。

[0068] 真空可以经由通气装置 612 施加到真空套 610,以促进从叠层 602 除去气体 302A、302B、302C。叠层 602 还可以在压力下加热,如在高压釜内,或者在无压力下加热,如在烘箱内,从而降低基质 102 的粘度并产生使基质 102 能够流动的压差。基质流可以填充抽空区并从叠层 602 置换气体 302A、302B、302C。当基质 102 的粘度足够低时,基质 102 还可以流动并进入穿孔 204 和叠层内的其他抽空或开放的体积以促进固结。

[0069] 一旦完成叠层 602 的固结和固化,叠层 602 形成复合材料零件,按复合材料的总体积计,其可能具有小于约 10 体积%的孔隙度。

[0070] 实施例

[0071] 提供以下实施例以证实所公开的穿孔预浸料的实施方案的优点。例如,观察到与没有穿孔的预浸料相比,穿孔预浸料 200、202 显著改善了从穿孔预浸料叠层 300、310 除去气体,而没有边缘通气,并且经固结和固化产生低孔隙度的复合材料。此外,实施例显示从叠层内的穿孔预浸料的层内和层之间除去气体 302A、302B、302C 的速率大于没有穿孔的可比较的预浸料。对这些实施例的讨论仅出于说明目的,而不应被解释为限制所公开实施方案的范围。实施例 1- 在烘箱中使用仅真空包 (vacuum bag only, VBO) 条件由部分浸渍的预浸料制作的碳纤维 / 环氧树脂复合材料

[0072] 由封装在真空包内的部分浸渍的预浸料制作三种碳纤维 / 环氧树脂复合材料,试验 1、2 和 3,并仅施加真空压力 (无高压釜压力)。这种加工方式也被称作仅真空包 (VBO) 加工。改变边缘通气或密封的使用以及穿孔的有无,以检验各自对复合材料孔隙度的影响。观察到,由具有密封的边缘 (无边缘通气) 的穿孔预浸料制作的复合材料与在基本上相同的条件下由没有穿孔的预浸料制作的复合材料相比表现出显著更低的孔隙度。此外,由边

缘密封的穿孔预浸料制作的复合材料的孔隙度水平表现出与由边缘通气的非穿孔预浸料制作的可比较的复合材料大致相同的孔隙度水平。

[0073] 试验 1- 边缘通气的非穿孔预浸料

[0074] 由含有面纤维重量为约 145g/m² 的聚丙烯腈 (PAN) 基纤维 Thorne1[®] T40/800 (Cytec Industries, West Paterson, NJ) 的单向预浸料制作试验 1 的碳纤维 / 环氧树脂复合材料。将含有 CYCOM[®] 5215 环氧树脂 (Cytec Industries, West Paterson, NJ) 的基质部分浸渍, 使得预浸料的基质重量分数为约 35 重量%。将预浸料切成大约 30.5cm×30.5cm 的薄片, 将大约 30 片这种薄片叠置成 (0)₃₀ 叠层。沿边缘用具有通气装置串的硅酮屏障包住叠层以促进边缘通气, 将叠层置于真空套内, 在大约 20mm Hg 绝对压力下经历约 4 小时。然后, 通过加热到约 82°C 的温度持续约 4 小时将叠层固化。对这样形成的复合材料层状体进行切割和抛光, 观察到具有小于约 0.1 体积%的孔隙度。

[0075] 试验 2- 边缘密封的非穿孔预浸料

[0076] 按与试验 1 相似的方式制作试验 2 的碳纤维 / 环氧树脂复合材料, 不同之处在于包住叠层, 所有边缘使用密封胶带密封, 其基本上抑制了边缘通气。对这样形成的复合材料层状体进行切割和抛光, 观察到具有约 5.5 体积%的孔隙度。

[0077] 试验 3- 边缘密封的穿孔预浸料

[0078] 按与试验 2 相似的方式制作试验 3 的碳纤维 / 环氧树脂复合材料, 不同之处在于用约 18" 长和 4" 直径的木质圆柱形针辊将预浸料机械穿孔, 所述针辊在基部具有 6mm 高和 1mm 直径的锥形硬合金针, 其尖锐尖端均匀地间隔大约 6mm。针辊的针穿过预浸料的厚度刺入预浸料选定的距离而形成穿孔。刺入的距离越大, 生成的穿孔尺寸越大。穿孔的大小可以根据需要从直径为约 100 μm 至约 1mm 变化, 取决于刺入的密度。针辊多次跨越预浸料将增大期望得到的穿孔的密度, 同时保持相对一致的各穿孔大小, 提供大约 2 个穿孔 / cm² 的穿孔密度。穿孔延伸基本上通过各预浸料层的厚度, 使得穿孔的直径为约 300 μm, 并在叠置之前引入预浸料。对这样形成的复合材料层状体进行切割和抛光, 观察到具有小于约 0.1 体积%的孔隙度。

[0079] 实施例 1- 总结

[0080] 表 1- 实施例 1 的总结

[0081]

试验	基质	纤维	部分浸渍	基质分数 (重量%)	穿孔	边缘通气	孔隙度 (体积%)
1	Cycom 5215	T40/800	是	35	否	是	小于0.1
2	Cycom 5215	T40/800	是	35	否	否	5.5
3	Cycom 5215	T40/800	是	35	是	否	小于0.1

[0082] 表 1 的数据表明, 当仅使用真空压力制作非穿孔预浸料叠层时使用边缘通气使得能够显著降低复合材料的孔隙度, 从约 5.5 体积% 降到小于约 0.1 体积%。还观察到通过使用穿孔预浸料可以实现复合材料孔隙度的相似的降低, 而不需要边缘通气。

[0083] 实施例 2- 使用高压釜压力和真空由部分浸渍的预浸料制作的碳纤维 / 环氧树脂复合材料

[0084] 使用真空和高压釜压力由部分浸渍的预浸料制作三种碳纤维 / 环氧树脂复合材

料, 试验 4、5 和 6。改变边缘通气以及穿孔的有无, 以检验各自对复合材料孔隙度的影响。观察到, 使用高压釜压力由无边缘通气的部分浸渍的穿孔预浸料制作的复合材料与在基本上相同的条件下由没有穿孔的部分浸渍的预浸料制作的复合材料相比表现出显著更低的孔隙度。使用高压釜压力由无边缘通气的穿孔预浸料制备的复合材料的孔隙度水平表现出与由边缘通气的非穿孔预浸料制作的可比较的复合材料大致相同的孔隙度水平, 并且基本上小于无边缘通气的非穿孔预浸料。

[0085] 试验 4- 边缘通气的非穿孔预浸料

[0086] 由含有面纤维重量为约 $190\text{g}/\text{m}^2$ 的聚丙烯腈 (PAN) 基纤维 HTS (Toho Tenax) 的单向预浸料制作试验 4 的碳纤维 / 环氧树脂复合材料。将含有 CYCOM[®]977-2 环氧树脂 (Cytec Industries, West Paterson, NJ) 的基质部分浸渍, 使得预浸料的基质重量分数为约 34 重量%。在面板的大致中央处形成约 $50.8\text{cm} \times 50.8$ 的具有多个层堆 (ply build-up) 的叠层, 所述层堆尺寸为约 $7.6\text{cm} \times 7.6\text{cm}$ 至 $10.2\text{cm} \times 10.2\text{cm}$ 之间。以交替的 $0^\circ / 90^\circ$ 取向的约 20 层预浸料构成叠层, 在较大的层堆内穿插大约另外 20 层的层堆。叠层进一步设置成使得大量空气 (总共大约 200cm^3) 被截留在接近层堆的预浸料层之间。沿边缘用具有通气装置串的硅酮边缘屏障包住叠层, 以使得边缘与通气装置连接。将叠层置于真空套内, 在大约 20mm Hg 绝对压力下经历约 4 小时。然后, 通过加热到约 177°C 的温度并施加约 100psi 的压力持续约 2 小时使叠层固化。对这样形成的复合材料层状体进行切割和抛光, 观察到在整个层状体和层堆区内和层堆区周围具有小于约 0.1 体积% 的孔隙度。

[0087] 试验 5- 边缘密封的非穿孔预浸料

[0088] 按与试验 4 相似方式制作试验 5 的碳纤维 / 环氧树脂复合材料, 不同之处在于包住叠层, 使用真空密封胶带将所有四个边缘密封, 基本上抑制了边缘通气。测定这样形成的复合材料层状体在层堆区内和层堆区周围的孔隙度为大于约 5 体积%。

[0089] 试验 6- 边缘密封的穿孔预浸料

[0090] 按与试验 5 相似方式制作试验 6 的碳纤维 / 环氧树脂复合材料, 使用真空密封胶带将所有四个边缘密封, 不同之处在于用实施例 1 中所述的针辊, 使用针辊将预浸料机械穿孔, 以提供大约 2 个穿孔 / cm^2 的穿孔密度。在叠置之前穿孔延伸基本上通过各预浸料层的厚度。对这样形成的复合材料层状体进行切割和抛光, 并观察到在整个层状体和层堆区内和层堆区周围的孔隙度小于约 0.1 体积%。

[0091] 实施例 2- 总结

[0092] 表 2- 实施例 2 的总结

[0093]

试验	基质	纤维	部分浸渍	基质分数 (体积%)	穿孔	密封边缘	孔隙度 (体积%)
4	Cycom 977-2	HTS	是	34	否	否	小于0.1
5	Cycom 977-2	HTS	是	34	否	是	大于5
6	Cycom 977-2	HTS	是	34	是	是	小于0.1

[0094] 总结表 2 中的数据表明, 当使用真空和高压釜压力制作非穿孔预浸料叠层时使用边缘通气装置使得能够显著降低复合材料的孔隙度, 从约 5 体积% 降到小于约 0.1 体积%。

数据还表明,通过使用穿孔预浸料可以实现复合材料孔隙度的相似降低,而不需要边缘通气。

[0095] 实施例 3- 在烘箱中使用仅真空包 (VBO) 条件由完全浸渍的预浸料制作的碳纤维 / 环氧树脂复合材料

[0096] 由基本上完全浸渍的预浸料制作二种碳纤维 / 环氧树脂复合材料, 试验 7 和 8。观察到仅使用真空压力由完全浸渍的穿孔预浸料制作的复合材料与在基本上相同条件下由没有穿孔的预浸料制作的复合材料相比表现出较低的孔隙度。

[0097] 试验 7- 没有边缘通气的非穿孔的完全浸渍的预浸料

[0098] 由含有面纤维重量为约 145g/m² 的 Thornel® T40/800 的单向预浸料制作试验 7 的碳纤维 / 环氧树脂复合材料。将含有 CYCOM® 5215 环氧树脂的基质基本上完全浸渍, 使得预浸料的基质重量分数为约 35 体积%。预浸料在约 105°C 的温度下以大约 1 米 / 分钟的速度浸渍并使用较慢的线速度, 从而允许树脂基本上完全浸渍预浸料。将预浸料切成大约 30.5cm×30.5cm 的薄片, 将大约 30 片这种薄片叠置成 (0)₃₀ 叠层。包住叠层, 用真空密封胶带将所有四个边缘密封, 将针刺的隔离物铺在边缘密封的叠层上。所铺的隔离物基本上抑制了气体通过边缘通气除去并模拟仅用真空压力处理的极大的狭缝带 (slit tape) 零件。将包住的叠层置于带有通气装置的真空套内, 在大约 20mm Hg 绝对压力下经历约 4 小时。然后, 通过加热到约 82°C 的温度持续约 4 小时, 仅在真空压力下固化叠层。对这样形成的复合材料叠层进行切割和抛光, 并观察到具有约 5 体积% 的孔隙度。

[0099] 试验 8- 没有边缘通气的穿孔的完全浸渍的预浸料

[0100] 按与试验 7 相似的方式制作试验 8 的碳纤维 / 环氧树脂复合材料, 不同之处在于用实施例 1 中所述的针辊, 用针辊将预浸料机械穿孔, 以提供大约 2 个穿孔 / cm² 的穿孔密度。在叠置之前穿孔延伸基本上通过各预浸料层的厚度。对这样形成的复合材料层状体进行抛光并观察到具有约 0.1 体积% 的孔隙度。

[0101] 表 3- 实施例 3 的总结

[0102]

试验	基质	纤维	完全浸渍	基质分数 (体积%)	穿孔	密封边缘	孔隙度 (体积%)
7	Cycom 5215	Thornel T40/800	是	35	否	是	5
8	Cycom 5215	Thornel T40/800	是	35	是	是	0.1

[0103] 总结表 3 中的数据表明, 在复合材料制作期间使完全浸渍的穿孔预浸料叠层处于真空使得与非穿孔预浸料叠层相比能够显著降低复合材料的孔隙度, 从约 5 体积% 降到小于约 0.1 体积%。这些结果表明, 在基本上完全浸渍的预浸料内引入穿孔显著增强了从预浸料除去气体。对边缘进行密封, 以模拟大的零件。

[0104] 虽然上述说明已经显示、描述和指出了本发明教导的基本的新颖的特征, 但是可以理解, 本领域技术人员可以对所述装置的细节及其用途作出各种省略、替代和变化, 而不脱离本发明教导的范围。因此, 本发明教导的范围不应只限于上述讨论, 而是应该由所附权利要求书限定。

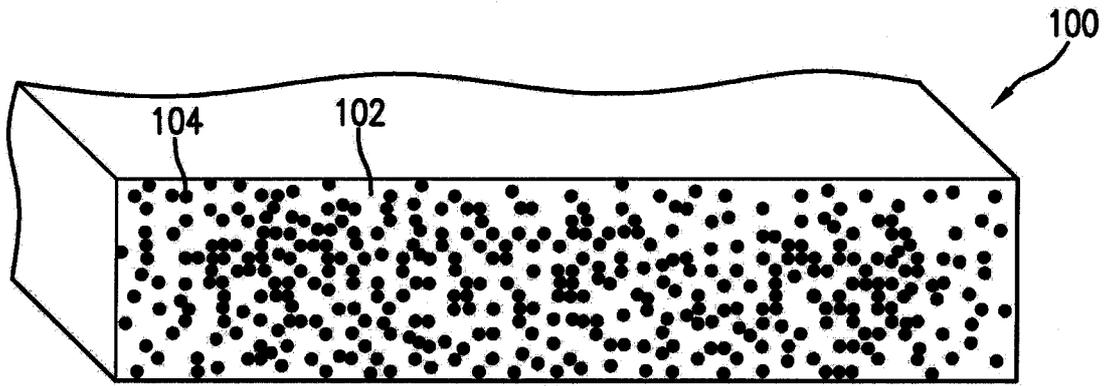


图 1A

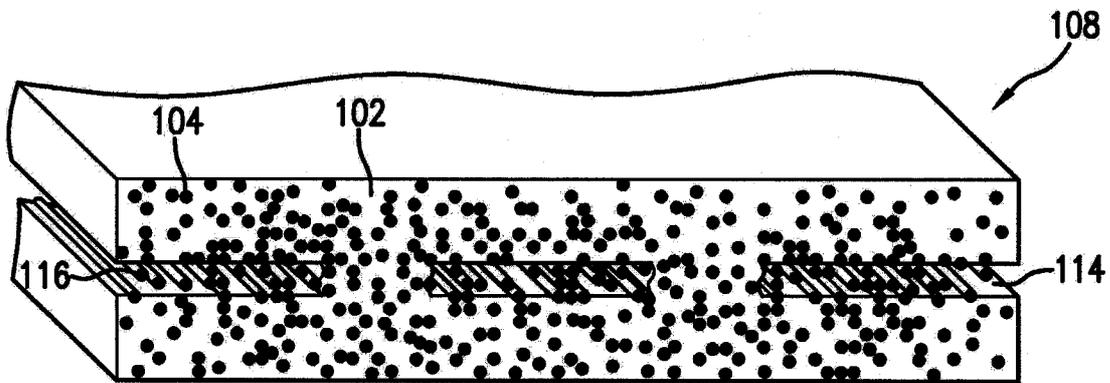


图 1B

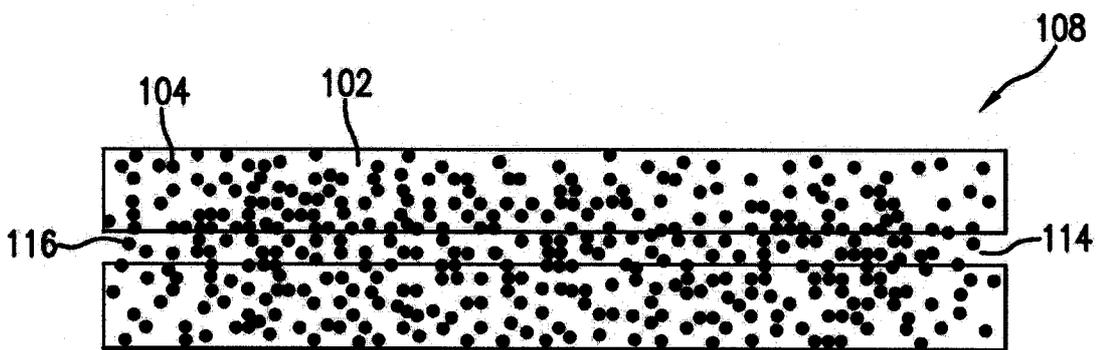


图 1C

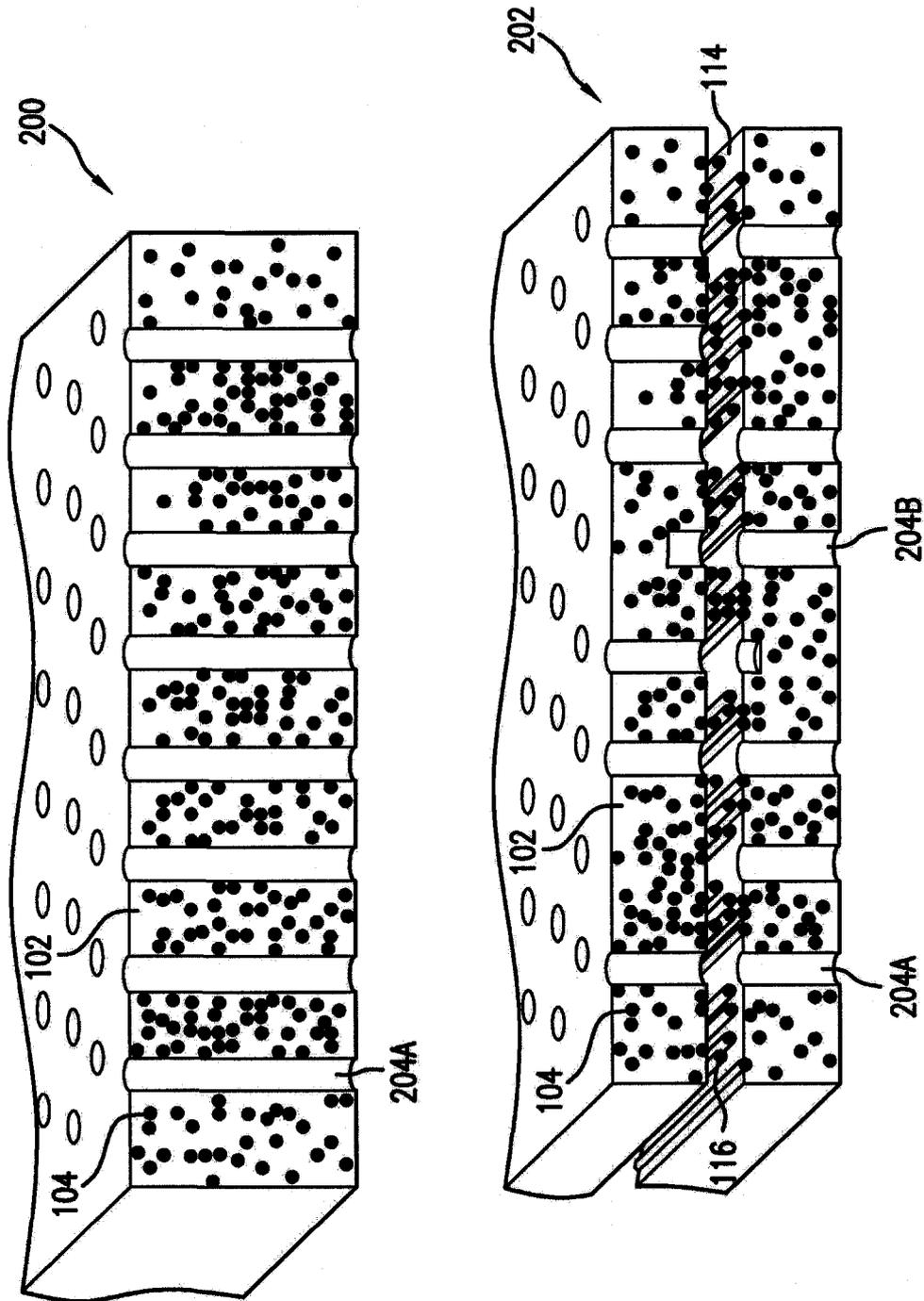


图 2A

图 2B

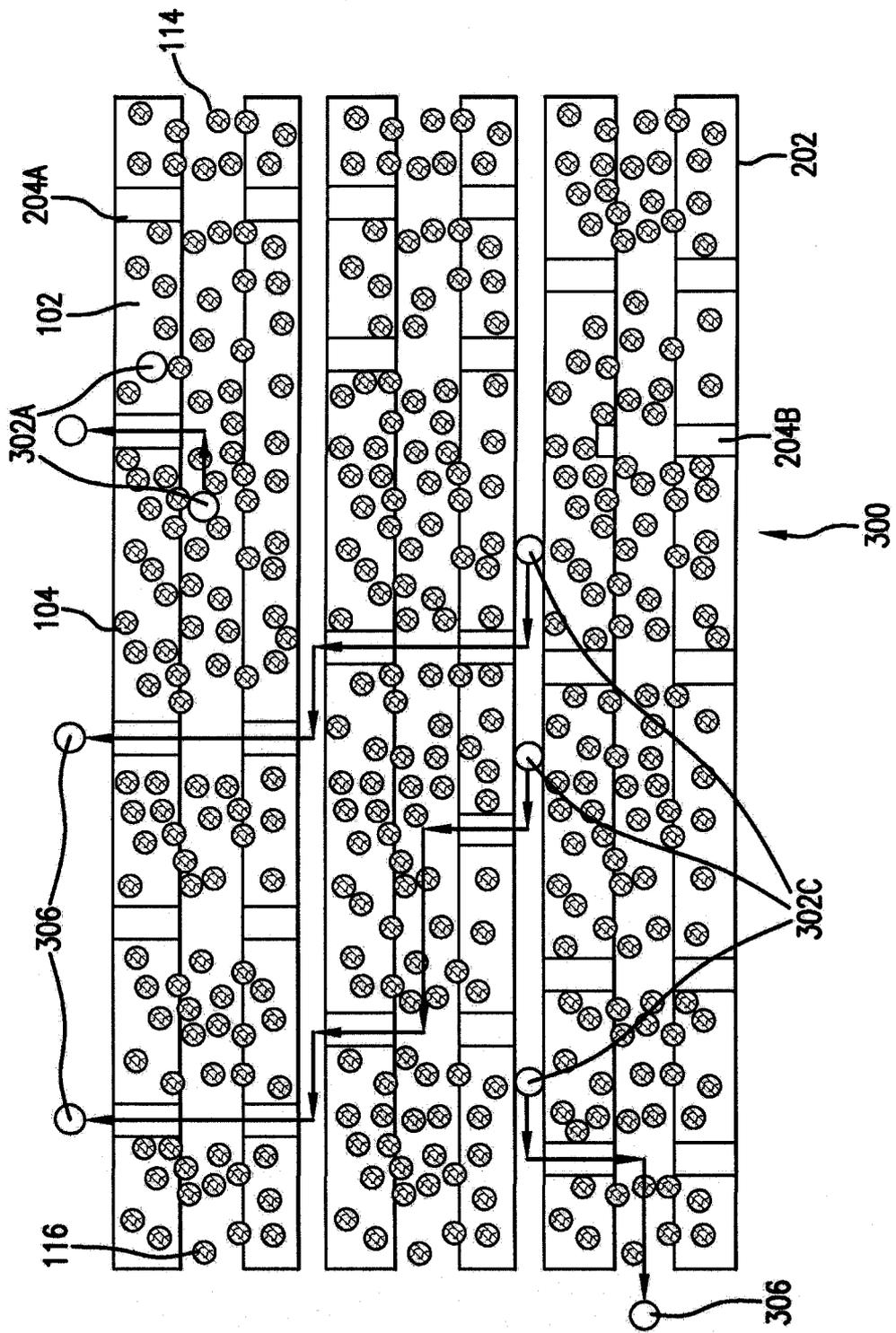


图 3A

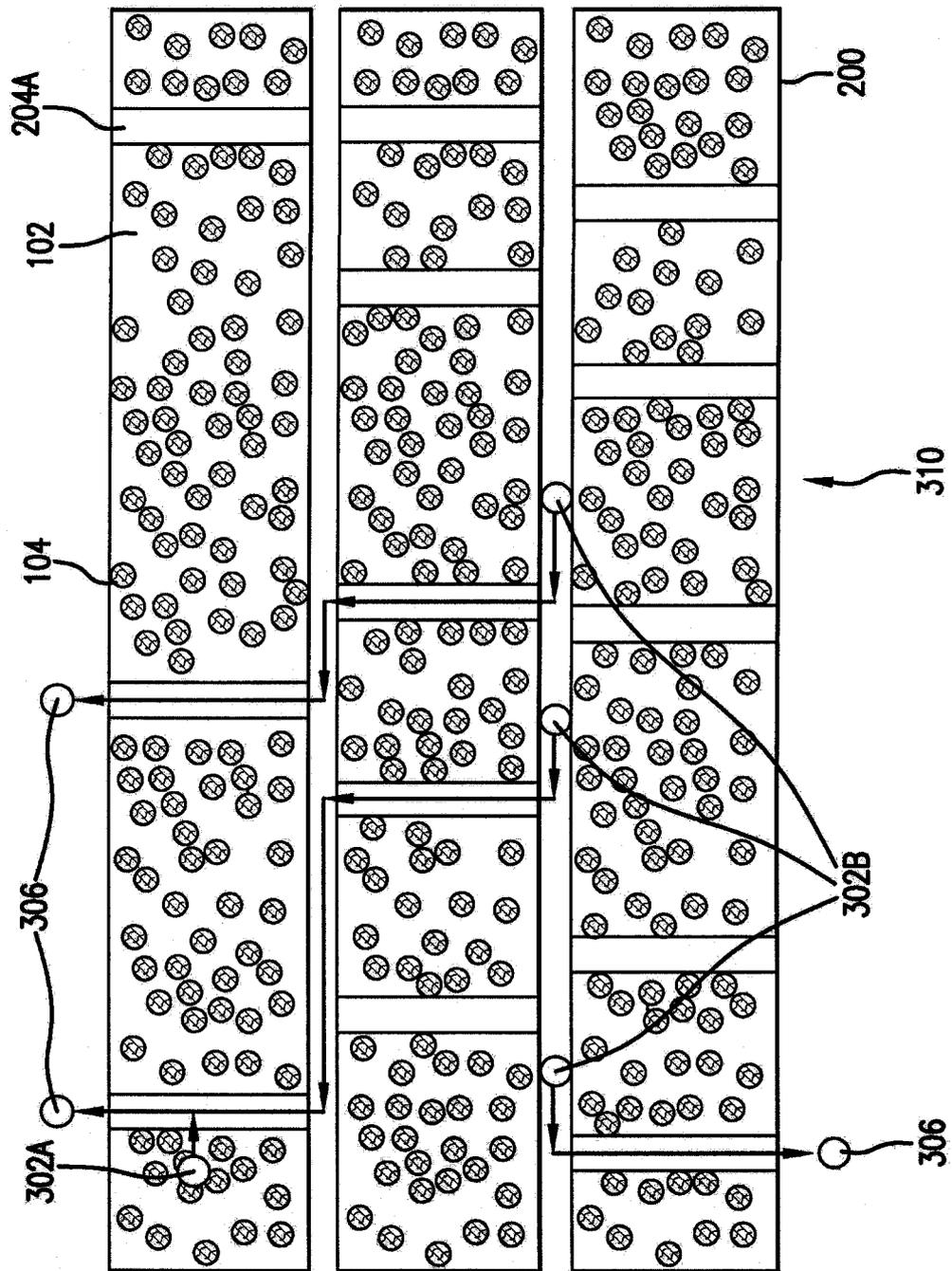


图 3B

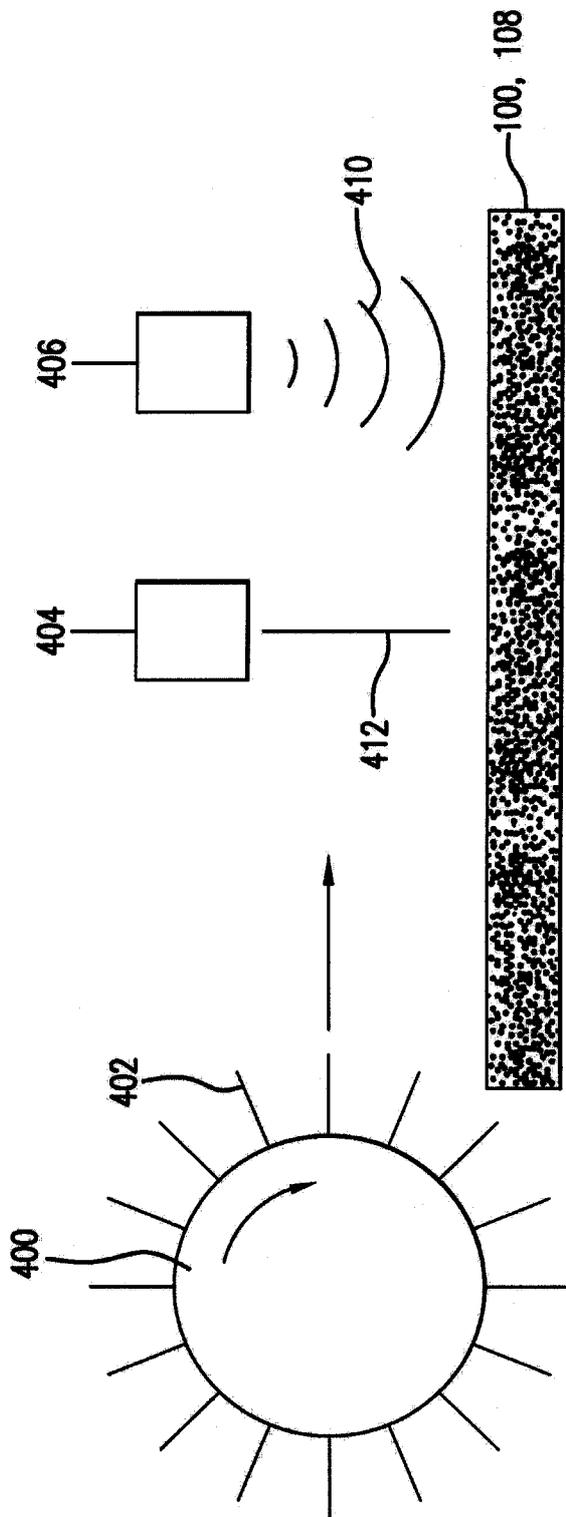


图 4

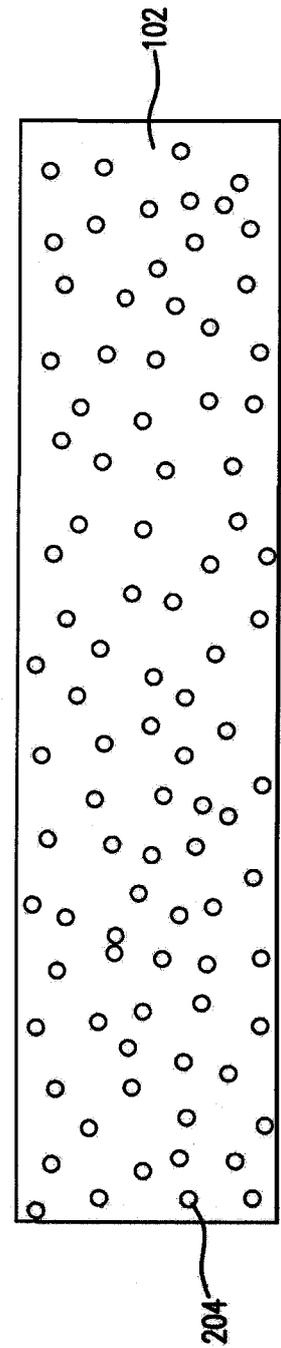


图 5A

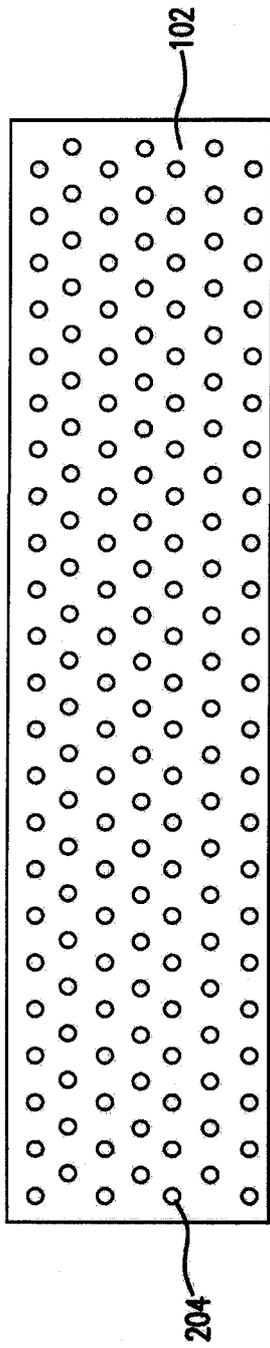


图 5B

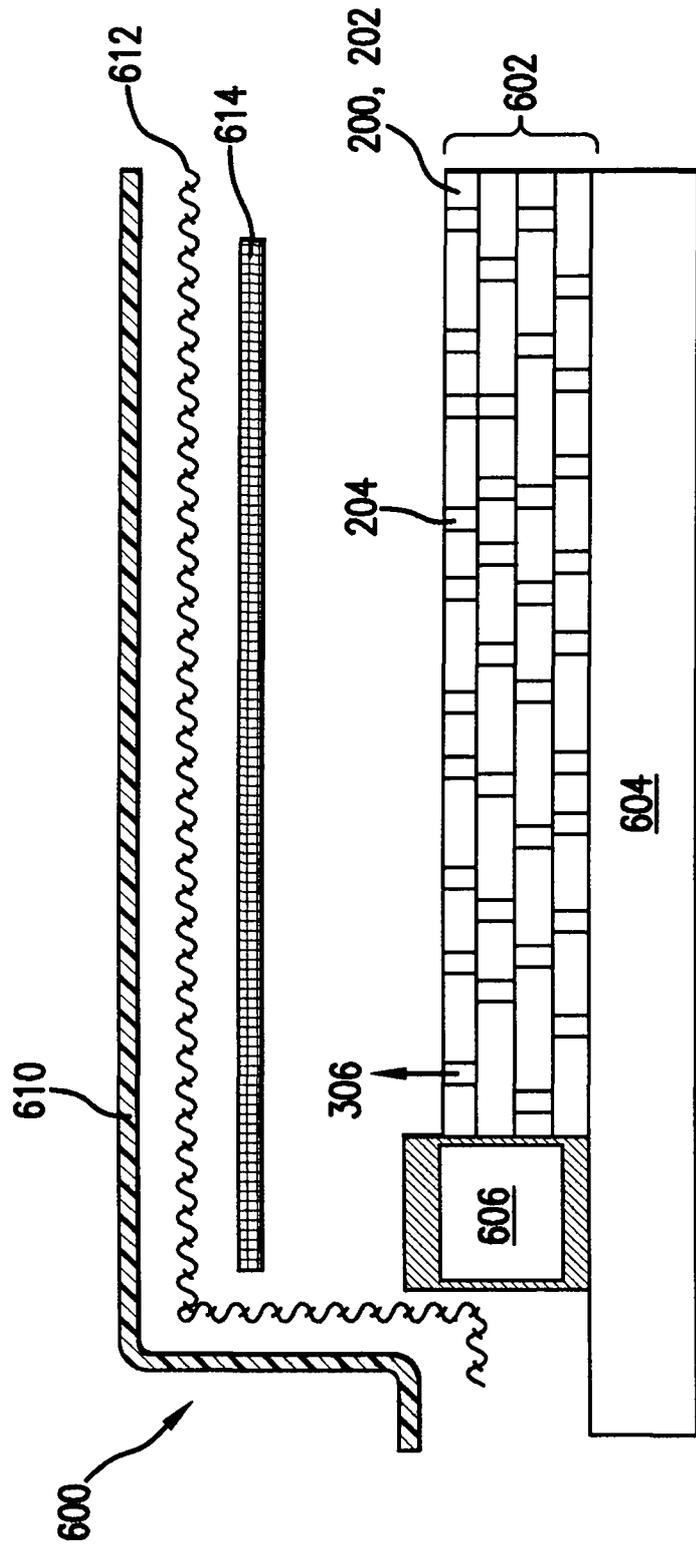


图 6