



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111183045 A

(43)申请公布日 2020.05.19

(21)申请号 201880065138.6

(74)专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理

(22)申请日 2018.10.08

有限公司 11205

(30)优先权数据

代理人 杨贝贝 臧建明

62/570,147 2017.10.10 US

(51)Int.Cl.

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

B60C 7/08(2006.01)

2020.04.07

B60C 7/10(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2018/054839 2018.10.08

(87)PCT国际申请的公布数据

W02019/074834 EN 2019.04.18

(71)申请人 普利司通美国轮胎运营有限责任公司

地址 美国田纳西州

(72)发明人 本杰明·D·克诺斯普

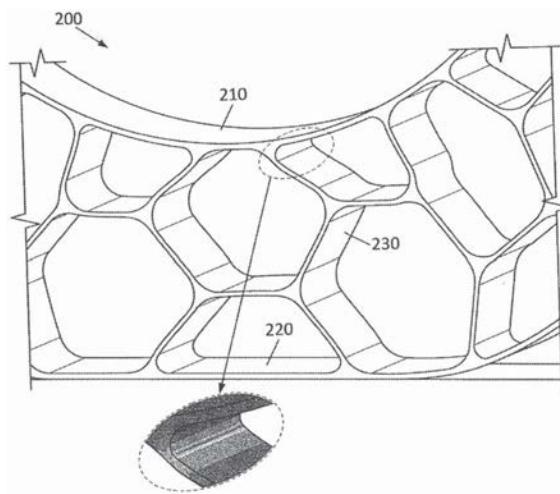
权利要求书2页 说明书9页 附图12页

(54)发明名称

具有厚度可变的腹板的非充气轮胎

(57)摘要

一种非充气轮胎包括附接到车轮的大致环形的内圈、大致环形的外圈以及位于大致环形的内圈和大致环形的外圈之间的互连腹板。该互连腹板限定多个开口，该多个开口围绕轮胎周向地间隔开并且与旋转轴线以不同的距离径向地间隔开，从而通过在拉伸状态下工作来支撑载荷。该互连腹板包括厚度变化的多个腹板元件，该多个腹板元件包括旋转轴线上方的第一多个腹板元件和旋转轴线下方的第二多个腹板元件。变化的厚度被配置为有利于互连腹板的屈曲。当施加载荷时，第一多个腹板元件承受拉力，而第二多个腹板元件屈曲。



1. 一种非充气轮胎,包括:

大致环形的内圈,所述内圈具有旋转轴线;

可变形的大致环形的外圈;以及

柔性互连腹板,所述柔性互连腹板在所述内圈和所述外圈之间延伸,所述互连腹板在所述轮胎的每个径向截面处包括至少两个径向相邻的腹板元件层,所述腹板元件限定多个大致多边形的开口并且包括多个径向腹板元件和多个不同的切向腹板元件,所述多个径向腹板元件相对于径向延伸穿过所述旋转轴线的平面倾斜,所述多个不同的切向腹板元件大致横向于所述径向平面,

其中每个大致多边形的开口由多个顶点限定,

其中所述多个顶点中的每个顶点由过渡元素限定,所述过渡元素沿着所述腹板元件的长度的至少一部分改变相关联的腹板元件的厚度,

其中所述过渡元素选自由半径、椭圆过渡部和样条曲线组成的组,并且

其中当施加载荷时,大量的所述载荷由在拉伸状态下工作的多个所述腹板元件支撑,

其中在所述旋转轴线上方的区中的多个所述径向腹板元件承受拉力,而在所述载荷和接地区之间的区中的至少一些所述径向腹板元件屈曲,并且多个所述切向腹板元件通过所述柔性互连腹板分布所述载荷。

2. 根据权利要求1所述的非充气轮胎,其中所述多个顶点包括由半径限定的第一多个顶点和由样条曲线限定的第二多个顶点。

3. 根据权利要求1所述的非充气轮胎,其中所述多个顶点包括由半径限定的多个顶点。

4. 根据权利要求3所述的非充气轮胎,其中所述半径大于平均元件厚度的125%。

5. 根据权利要求1所述的非充气轮胎,进一步包括胎面承载层,所述胎面承载层固定到所述外圈的径向外表面,所述胎面承载层支撑支撑在拉伸状态下工作的所述腹板元件。

6. 根据权利要求1所述的非充气轮胎,其中所述多个大致多边形的开口包括具有第一形状的第一多个大致多边形的开口和具有不同于所述第一形状的第二形状的第二多个大致多边形的开口。

7. 根据权利要求6所述的非充气轮胎,其中所述第一多个大致多边形的开口包括多个内六边形开口和多个外六边形开口,并且其中所述第二多个大致多边形的开口包括多个内梯形开口和多个外梯形开口。

8. 根据权利要求7所述的非充气轮胎,其中将内六边形开口二等分的径向平面也将外梯形开口二等分,并且将内梯形开口二等分的径向平面也将外梯形开口二等分。

9. 一种设计非充气轮胎的方法,所述方法包括:

提供具有旋转轴线的大致环形的内圈;

提供可变形的大致环形的外圈;以及

通过柔性互连腹板将所述内圈连接到所述外圈,所述互连腹板在所述轮胎的每个径向截面处包括至少两个径向相邻的腹板元件层,使得所述腹板元件限定具有多个顶点的多个大致多边形的开口,并且使得所述腹板元件包括多个径向腹板元件和多个不同的切向腹板元件,所述多个径向腹板元件相对于径向延伸穿过所述旋转轴线的平面倾斜,所述多个不同的切向腹板元件大致横向于所述径向平面,

其中将所述内圈连接到所述外圈的所述步骤包括选择每个腹板元件的厚度,以使得当

施加载荷时,大量的所述载荷由在拉伸状态下工作的多个所述腹板元件支撑,

其中在所述旋转轴线上方的区中的多个所述径向腹板元件承受拉力,而在所述载荷和接地区之间的区中的至少一些所述径向腹板元件屈曲,并且多个所述切向腹板元件通过所述柔性互连腹板分布所述载荷,并且

其中将所述内圈连接到所述外圈的所述步骤包括为所述多个顶点中的每个选择过渡元素,以使相关联的腹板元件的厚度沿着所述腹板元件的长度的至少一部分改变。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中选择过渡元素的所述步骤包括从由半径、椭圆过渡部和样条曲线组成的组中选择过渡元素。

11. 根据权利要求9所述的方法,其中选择过渡元素的所述步骤包括选择由样条曲线限定的多个顶点和由半径限定的多个顶点。

12. 根据权利要求9所述的方法,其中通过机器学习过程来执行选择过渡元素的所述步骤。

13. 根据权利要求9所述的方法,进一步包括为所述内圈、所述外圈和所述柔性互连腹板选择材料。

14. 根据权利要求13所述的方法,其中为所述内圈、所述外圈和所述柔性互连腹板选择材料的所述步骤包括为所述内圈、所述外圈和所述柔性互连腹板选择相同的材料。

15. 根据权利要求13所述的方法,其中选择每个腹板元件的厚度的步骤包括根据所选择的材料的材料特性来选择所述厚度。

## 具有厚度可变的腹板的非充气轮胎

### 技术领域

[0001] 本公开涉及一种轮胎，并且更具体地涉及一种非充气轮胎。

### 背景技术

[0002] 非充气或无气轮胎(NPT)以前是由完全实心的物质制成的。这些实心轮胎使乘客乘坐时不太舒服，并且对车辆的悬架造成更大的损害，这不得不弥补实心轮胎缺乏的“弹性”。

[0003] 最近，NTP采用在内圈和外圈之间延伸的轮辐或织带。举例来说，由Cron等人转让给米其林的美国公开申请2006/0113016公开了一种非充气轮胎，其在商业上被称为Tweel<sup>TM</sup>。在Tweel<sup>TM</sup>中，轮胎与车轮组合。轮胎由最终结合在一起的四个部分组成：车轮、轮辐部分、包围轮辐部分的增强环形带和与地面接触的橡胶胎面部分。

### 发明内容

[0004] 在一个实施方案中，一种非充气轮胎包括具有旋转轴线的大致环形的内圈、可变形的大致环形的外圈以及在内圈和外圈之间延伸的柔性互连腹板。互连腹板在轮胎的每个径向截面处包括至少两个径向相邻的腹板元件层。腹板元件限定多个大致多边形的开口并且包括多个径向腹板元件和多个不同的切向腹板元件，该多个径向腹板元件相对于径向延伸穿过旋转轴线的平面倾斜，该多个不同的切向腹板元件大致横向于径向平面。每个大致多边形的开口由多个顶点限定。多个顶点中的每个顶点由过渡元素限定，该过渡元素沿着腹板元件的长度的至少一部分改变相关联的腹板元件的厚度。过渡元素选自由半径、椭圆过渡部和样条曲线组成的组。当施加载荷时，大量的载荷由在拉伸状态下工作的多个腹板元件支撑。在旋转轴线上方的区中的多个径向腹板元件承受拉力，而在载荷和接地区之间的区中的至少一些径向腹板元件屈曲，并且多个切向腹板元件通过柔性互连腹板分布载荷。

[0005] 在另一个实施方案中，一种设计非充气轮胎的方法包括以下步骤：提供具有旋转轴线的大致环形的内圈的步骤；提供可变形的大致环形的外圈的步骤；以及通过柔性互连腹板将内圈连接到外圈的步骤，该互连腹板在轮胎的每个径向截面处具有至少两个径向相邻的腹板元件层。腹板元件限定具有多个顶点的多个大致多边形的开口，并且腹板元件包括多个径向腹板元件和多个不同的切向腹板元件，该多个径向腹板元件相对于径向延伸穿过旋转轴线的平面倾斜，该多个不同的切向腹板元件大致横向于径向平面。将内圈连接到外圈的步骤包括选择每个腹板元件的厚度，以使得当施加载荷时，大量的载荷由在拉伸状态下工作的多个腹板元件支撑。在旋转轴线上方的区中的多个径向腹板元件承受拉力，而在载荷和接地区之间的区中的至少一些径向腹板元件屈曲，并且多个切向腹板元件通过柔性互连腹板分布载荷。将内圈连接到外圈的步骤包括为多个顶点中的每个选择过渡元素，以使相关联的腹板元件的厚度沿着腹板元件的长度的至少一部分改变。

[0006] 在又一个实施方案中，一种非充气轮胎包括附接到车轮的大致环形的内圈、大致

环形的外圈以及位于大致环形的内圈和大致环形的外圈之间的互连腹板。互连腹板限定多个开口,该多个开口围绕轮胎周向地间隔开并且与旋转轴线以不同的距离径向地间隔开,从而通过在拉伸状态下工作来支撑载荷。互连腹板包括厚度变化的多个腹板元件,该多个腹板元件包括旋转轴线上方的第一多个腹板元件和旋转轴线下方的第二多个腹板元件。变化的厚度被配置为有利于互连腹板的屈曲。当施加载荷时,第一多个腹板元件承受拉力,而第二多个腹板元件屈曲。

## 附图说明

[0007] 在附图中,示出了结构,该结构与下文提供的详细描述一起描述了受权利要求书保护的本发明的示例性实施方案。类似的元件用相同的附图标号标示。应当理解,被示出为单个部件的元件可以用多个部件替换,并且被示出为多个部件的元件可以用单个部件替换。附图未按比例绘制,并且出于说明性目的,可能放大了某些元件的比例。

- [0008] 图1是未变形的非充气轮胎的前视图。
- [0009] 图2是图1的非充气轮胎在承受载荷时变形的前视图。
- [0010] 图3是沿图1中的线3-3截取的未变形的非充气轮胎的截面透视图。
- [0011] 图4是未变形的非充气轮胎的另一实施方案的前视图。
- [0012] 图5是未变形的非充气轮胎的又一实施方案的前视图。
- [0013] 图6是未变形的非充气轮胎的又一实施方案的前视图。
- [0014] 图7是未变形的非充气轮胎的又一实施方案的前视图。
- [0015] 图8是未变形的非充气轮胎的又一实施方案的前视图。
- [0016] 图9是未变形的非充气轮胎的又一实施方案的前视图。
- [0017] 图10A是未变形的非充气轮胎的又一实施方案的前视图。
- [0018] 图10B是图10A的未变形的非充气轮胎的腹板的详细视图。
- [0019] 图10C是图10A的腹板的下部在承受载荷时变形的透视图。
- [0020] 图11A是未变形的非充气轮胎的另一实施方案的腹板的详细视图,腹板具有由每个顶点处的半径限定的可变厚度。
- [0021] 图11B是图11A的腹板的下部在承受载荷时变形的透视图。
- [0022] 图12是非充气轮胎的另一实施方案的腹板部分的透视图,其中腹板具有由每个顶点处的较大半径限定的可变厚度。
- [0023] 图13A是未变形的非充气轮胎的又一实施方案的腹板的详细视图,其中腹板具有由每个顶点处的椭圆过渡部限定的可变厚度。
- [0024] 图13B是图13A的腹板的下部在承受载荷时变形的透视图。
- [0025] 图14A是未变形的非充气轮胎的又一实施方案的腹板的详细视图,其中腹板具有由在每个顶点处的可变过渡部限定的可变厚度。
- [0026] 图14B是图14A的轮胎的下部在承受载荷时变形的透视图。
- [0027] 图14C是图14A的区域C的详细视图。
- [0028] 图14D是图14A的区域D的详细视图。
- [0029] 图14E是图14A的区域E的详细视图。
- [0030] 图14F是图14A的区域F的详细视图。

## 具体实施方式

[0031] 图1、图2和图3示出了非充气轮胎10的一个实施方案。在所示的实施方案中，非充气轮胎10包括大致环形的内圈20，该内圈接合安装有轮胎10的车轮60。车轮60具有旋转轴线12，轮胎10绕该旋转轴线旋转。大致环形的内圈20包括内表面23和外表面24，并且可以由交联或未交联的聚合物制成。在一个实施方案中，大致环形的内圈20可以由热塑性材料制成，诸如热塑性弹性体、热塑性聚氨酯或热塑性硫化橡胶。在另一个实施方案中，大致环形的内圈20可以由橡胶、聚氨酯或其他合适的材料制成。在本申请中，术语“聚合物”是指交联或未交联的聚合物。

[0032] 对于施加的较小载荷，大致环形的内圈20可以与车轮60粘合地接合，或者可以经历一些化学结构变化以使其结合到车轮60。对于施加的较大载荷，大致环形的内圈20可以经由某种形式的机械连接（诸如配合装配）接合到车轮60，但是机械连接也可用于支撑较小的载荷。机械接合可以为车轮60和大致环形的内圈20二者提供额外的强度以支撑施加的较大载荷。此外，机械连接还具有易于互换的额外优点。例如，如果需要更换非充气轮胎10，则通常可以将环形内圈20从车轮60上拆卸并且更换。然后可以将车轮60重新安装到车辆的车轴上，从而允许车轮60可重复使用。在另一个实施方案中，内圈20可以通过机械连接和粘合连接的组合而连接到车轮60。

[0033] 继续参照图1、图2和图3，非充气轮胎10进一步包括包围互连腹板40（下文讨论）的大致环形的外圈30。外圈30可以被配置为在围绕并且包括接地区32（见图2）的区域变形，这减小了振动并且增加乘坐舒适性。然而，由于在一些实施方案中非充气轮胎10不具有侧壁，所以大致环形的外圈30与互连腹板40结合也可以增加轮胎10的横向刚度，使得轮胎10在远离接地区32的部分中不会发生不可接受的变形。

[0034] 在一个实施方案中，大致环形的内圈20和大体环形的外圈30由与互连腹板40相同的材料制成。例如，在一个实施方案中，内圈、外圈和互连腹板均包括聚氨酯材料。大致环形的内圈20和大致环形的外圈30以及互连腹板40可以通过注射成型或压缩成型、可浇铸的聚合物或本领域中公知的任何其他方法制成，并且可以同时形成，以便通过包括内圈20、外圈30和互连腹板40的材料的冷却和凝固来形成它们的附接。

[0035] 如图1所示，大致环形的外圈30可以具有径向外表面34，胎面承载层70附接到该径向外表面。可以通过粘合或使用本领域中通常可用的其他方法完成附接。

[0036] 如图1、图2和图3所示，非充气轮胎10的互连腹板40将大致环形的内圈20连接到大致环形的外圈30。在所示的实施方案中，互连腹板40至少包括腹板元件42的两个径向相邻的层56、58，这些层限定多个大致多边形的开口50。换句话说，通过至少两个相邻的层56、58，穿过非充气轮胎10的任何径向部分的从旋转轴线12延伸到大致环形的外圈30的切片穿过或横越至少两个大致多边形的开口50。多边形开口50可以形成各种形状。在许多实施方案中，大多数大致多边形的开口50可以是具有六个侧面的大致六边形的形状。但是，多个大致多边形的开口50中的每一个可以具有至少三个侧面。在一个实施方案中，多个大致多边形的开口50是大致六边形的形状，或者是通过被大致梯形形状的开口在周向上隔开的六边形的形状，如图1可以看到，从而使互连腹板40具有可以类似于蜂窝的形状。

[0037] 在任何两个互连腹板元件之间的优选角度范围（从轮胎的胎面部分向车轮径向移动）可以在80度到180度之间（例如，参见图1的腹板元件）。其他范围也是可能的。

[0038] 继续参照图1、图2和图3所示的实施方案,可以将互连腹板40布置为使得一个腹板元件42在沿着大致环形的内圈20的任何给定点或线处连接到大体环形的内圈20,使得沿着大致环形的内圈20具有第一组连接41。类似地,一个腹板元件42可以在沿着大致环形的外圈30的内表面33的任何给定点或线处连接到大致环形的外圈30,使得沿着大致环形的外圈30具有第二组连接43。然而,在任何给定点或线处,多于一个腹板元件42可以连接至大致环形的内圈20或大致环形的外圈30。

[0039] 如图4至图9所示,互连腹板40可以进一步包括腹板元件42之间的交点44,以便在整个互连腹板40上分布施加的载荷。在这些所示的实施方案中,每个交点44至少接合三个腹板元件42。然而,在其他实施方案中,交点44可以接合三个以上的腹板元件42,这可以帮助进一步分布腹板元件42所经受的应力和应变。

[0040] 继续参照图4至图9,腹板元件42可以相对于包含旋转轴线12的径向平面16倾斜,该径向平面也穿过腹板元件42。通过使腹板元件42倾斜,大致垂直于旋转轴线12施加的施加载荷可以偏心地施加到腹板元件42。这可以产生每个腹板元件42上施加的载荷的旋转或弯曲分量,这有利于承受压缩载荷的那些腹板元件42屈曲。相似地放置的腹板元件42可以全部相对于径向平面16在相同的方向上倾斜大约相同的量。但是,优选地,多个大致多边形的开口50的层中的周向连续的腹板元件42(不包括切向腹板元件45)关于径向平面倾斜大约相同的幅度(但是在相反的方向上测量),使得腹板元件42围绕径向平面16大致是彼此的镜像。

[0041] 除了相对于穿过旋转轴线12的径向平面16大致倾斜的腹板元件42之外,互连腹板40还可以包括切向腹板元件45,如图1至图9所示。切向腹板元件45可以定向为使得它们与以旋转轴线12为中心的圆柱体或圆的切线大致对齐。切向腹板元件45是优选的,因为它们有助于分布施加的载荷。例如,当施加所施加的载荷时,在旋转轴线12上方的区中的腹板元件42受到拉力。在没有切向腹板元件45的情况下,互连腹板40可通过使其他腹板元件42变直而将其他腹板元件自身定向在大致径向方向上而试图变形,从而导致应力集中在局部区域中。然而,通过沿大致切向方向定向,切向腹板元件45将施加的载荷分布在互连腹板40的所有其余部分中,从而使应力集中最小化。

[0042] 继续参照图1至图9,示出了多个大致多边形的开口50,其中多个大致多边形的开口50中的每个径向地定向。如上所述,大致多边形的开口50可以被定向为使得它们关于穿过旋转轴线12的径向对称平面14而对称。这种布置可以通过允许轮胎10即使向后安装也仍然能够正常工作而有利于安装,因为无论其安装定向如何,都应以相同的方式表现行为。

[0043] 多个大致多边形的管状开口50内的每个开口可以形状相似但不是必须形状相似。例如,图7示出了形状与第二多个大致多边形开口51不同的第一多个大致多边形开口50。在该实施方案中,第一多个大致多边形开口50中的至少一个开口可以小于第二多个大致多边形的开口51中的至少一个开口。图7还示出了第一多个大致多边形的开口50中的每个大致多边形的开口具有内边界57,该内边界与旋转轴线12间隔开径向距离R<sub>1</sub>,并且第二多个大致多边形的开口51中的每个大致多边形的开口具有第二内边界59,该第二内边界与旋转轴线12间隔开可以大于R<sub>1</sub>的径向距离R<sub>2</sub>。

[0044] 互连腹板40内的开口50的数量可以变化。例如,互连腹板40可以具有五个不同尺寸的开口,这些开口被图案化16次而总共80个单元,诸如图1中。在又一些实施方案中,可以

使用16之外的其他数量的开口50。例如,在优选的实施方案中,互连腹板40可以包括12至64个图案之间的单元。超出此范围的其他数量也是可能的。

[0045] 如图7和图8所示,径向内层56中的开口可与径向外层58中的开口形状相似,但其尺寸可以与那些开口不同,从而大致多边形的开口50在沿径向向外方向在开口之间移动时尺寸增大。但是,径向外层中的第二多个大致多边形的开口也可以小于径向内层中的第一多个大致多边形的开口。另外,第二多个大致多边形的开口可以通过第三多个大致多边形的开口53在周向上彼此分开,或者可以在数量上大于第一多个大致多边形的开口50,或者可以是两者。

[0046] 如上所述,图1至图9示出了大致六边形形状的多个大致多边形的开口50的若干变型。这些开口可以在一个方向或两个方向上对称。在替代实施方案中,它们不对称。例如,在图1中,径向对称平面14将多个大致多边形的开口50中的若干个二等分。这些开口关于径向对称平面14大致对称。然而,轮胎10的互连腹板40整体上也可以关于径向对称平面大致对称。相比之下,第二多个大致多边形的开口14可以关于相似的径向对称平面14大致对称。此外,如图7和图8所示,第二多个大致多边形的开口可以关于与通常以旋转轴线12为中心的圆柱体相切的线大致对称,提供第二对称度。

[0047] 在实施方案之间或在同一实施方案内,腹板元件42可以具有变化的长度。例如,图7中的互连腹板40包括腹板元件42,该腹板元件总体比图6所示的互连腹板的腹板元件短。结果,互连腹板42在图7中显得更致密,在轮胎10的给定弧中具有更多的腹板元件42和更多的大致多边形开口50。图9示出了互连腹板40,其腹板元件42的长度在同一互连腹板内明显变化。径向向内的腹板元件42总体短于相对径向向外定位的腹板元件42。

[0048] 返回参照图2,互连腹板40的几何形状与在互连腹板40中选择的材料的组合可以使得施加的载荷能够分布在整个腹板元件42中。因为腹板元件42优选地相对薄并且可以由在压缩方面相对弱的材料制成,所以经受压缩力的那些元件42可能具有屈曲的趋势。这些元件总体在大致穿过旋转轴线12的施加载荷和接地区32之间,并且在图2中表示为屈曲部分48。

[0049] 在一个实施方案中,一些或全部腹板元件42可以设置有弱化(例如,先前弯曲的)或变薄的部分,使得腹板元件42优先地弯曲或被偏压以沿特定方向弯曲。例如,在一个实施方案中,腹板元件被偏压成使得它们总体在向外方向上弯曲。以这种方式,腹板元件在屈曲时不会彼此接触或摩擦。另外,弱化或变薄的部分的位置可以用于控制弯曲或屈曲的位置以避免这种接触。

[0050] 当发生屈曲时,其余的腹板元件42可以经受拉力。这些腹板元件42支撑施加的载荷。尽管相对薄,但是由于腹板元件42可以具有高的拉伸模量,因此它们的变形趋势较小,但可以帮助维持胎面承载层70的形状。以这种方式,当施加的载荷经由拉伸通过腹板元件42传递时,胎面承载层70可以将施加的载荷支撑在轮胎10上。胎面承载层70继而充当拱并且提供支撑。因此,胎面承载层70足够刚硬以支撑处于拉伸状态并且支撑载荷的腹板元件42。在拉伸状态下工作的多个腹板元件可以支撑相当大的施加载荷。例如,在一个实施方案中,在拉伸状态下支撑至少75%的载荷,在另一实施方案中,在拉伸状态下支撑至少85%的载荷,并且在另一实施方案中,在拉伸状态下支撑至少95%的载荷。在其他实施方案中,可以在拉伸状态下支撑少于75%的载荷。

[0051] 尽管大致环形的内圈20、大致环形的外圈30和互连腹板40可以由相同的材料构造,但是它们可以具有不同的厚度。即,大致环形的内圈可以具有第一厚度 $t_i$ ,大致环形的外圈可以具有第二厚度 $t_o$ ,并且互连腹板可以具有第三厚度 $t_e$ 。在图1所示的实施方案中,第一厚度 $t_i$ 可以小于第二厚度 $t_o$ 。但是,第三厚度 $t_e$ 可以小于第一厚度 $t_i$ 或第二厚度 $t_o$ 。较薄的腹板元件42在受到压缩力时更容易屈曲,而相对较厚的大致环形的内圈20和大致环形的外圈30可以通过更好地抵抗变形而有利地帮助在非屈曲区中维持非充气轮胎10的横向刚度。

[0052] 腹板元件42的厚度 $t_e$ 可以根据预定载荷容量要求而变化。例如,随着施加的载荷增加,腹板元件42的厚度 $t_e$ 可以增加,以提供增加的拉伸强度,从而减小多个大致多边形的开口50中的开口的尺寸。然而,厚度 $t_e$ 不应增加太多而防止抑制承受压缩载荷的那些腹板元件42屈曲。与选择材料一样,厚度 $t_e$ 会随着施加的载荷的增加而显著增加。例如,在某些非限制性实施方案中,互连腹板40的每个腹板元件42可以具有的厚度 $t_e$ ,对于约0-1000磅的轮胎载荷在约0.04英寸厚至0.1英寸厚之间,对于约500-5000磅的载荷在约0.1英寸厚至0.25英寸厚之间,以及对于约为2000磅或更大的载荷在0.25英寸厚至0.5英寸厚之间。本领域技术人员将认识到,在修改的实施方案中,这些厚度可以减小或增大。

[0053] 尽管图1至图9中所示的实施方案包括各自具有基本恒定的厚度 $t_e$ 的腹板元件42,但是在替代实施方案中,一个或多个腹板元件的厚度可以变化。这种变化的示例性影响如图10至图14中所示。

[0054] 图10A至图10C示出了参考轮胎100,该参考轮胎具有大致环形的内圈110、大致环形的外圈120以及限定多边形开口的多个腹板元件130。图10A提供了处于未变形状态的轮胎100的前部,并且图10B是轮胎100的腹板的一部分的详细视图。在该特定实施方案中,腹板元件130形成多个六边形和大致梯形形状,包括外系列的交替的六边形和梯形开口以及内系列的交替的六边形和梯形开口。内开口和外开口被对准,使得将内六边形开口二等分的径向平面也将外梯形开口二等分,并且将内梯形开口二等分的径向平面也将外梯形开口二等分。在该实施方案中,将内开口二等分的径向平面将仅穿过两个开口-内开口和相应的外开口。然而,应当理解,该布置仅是示例性的,并且被用于说明性目的。在替代实施方案中,可以采用形成任何形状的腹板元件。

[0055] 在所示的实施方案中,每个腹板元件130沿其长度具有基本相同的厚度。如图10B中可见,每个多边形开口的每个顶点由小半径 $R_1$ 限定。小半径 $R_1$ 远小于内圈110和外圈120之间的径向距离,并且远小于任何给定腹板元件130的长度。因此,每个腹板元件130在接近顶点时仅具有可忽略的变宽。

[0056] 在一个示例性实施方案中,内圈110的直径为12.690英寸(32.232cm),而外圈120的直径为21.917英寸(55.669cm)。因此,内圈110和外圈120之间的径向距离是4.614英寸(11.720cm)。在该实施方案中,腹板元件130的长度在1.508英寸(3.830cm)和1.798英寸(4.567cm)之间,并且厚度为0.080英寸(0.203cm)。每个顶点由0.1英寸(0.254cm)的小半径 $R_1$ 限定。然而,应当理解,轮胎100可以具有任何尺寸,以使得每个腹板元件130的顶点处的半径小于或等于平均元件厚度的125%。

[0057] 图10C是腹板的下部在受到载荷时变形的透视图。图10C进一步包括选定区的详细视图,以示出腹板元件上的示例性应力。在该实施方案中,当轮胎100在承受载荷的同时旋转时,腹板元件130在每个顶点处承受高应力。此外,高应力集中在窄带B中。

[0058] 相比之下,图11A至图11B示出了第一厚度可变轮胎200,即非充气轮胎,其腹板的可变厚度由每个顶点处的较大半径限定。图11A是第一厚度可变轮胎200的腹板的详细视图,包括大致环形的内圈210、大致环形的外圈220以及限定多边形开口的多个腹板元件230。第一厚度可变轮胎200具有与参考轮胎100相同的形状和尺寸,不同之处在于每个多边形开口的每个顶点由中等半径R<sub>2</sub>限定。

[0059] 在一个示例性实施方案中,第一厚度可变轮胎200具有与针对示例性参考轮胎100所描述的尺寸相同的尺寸,不同之处在于中等半径R<sub>2</sub>为0.5英寸(1.27cm)。因此,第一厚度可变轮胎200的尺寸使得每个腹板元件230的顶点处的半径为平均元件厚度的625%。在一个实施方案中,半径被选择为平均元件厚度的400%至800%。在其他实施方案中,半径被选择为大于平均元件厚度的125%。

[0060] 图11B是第一厚度可变轮胎200的腹板的下部在承受载荷时变形的透视图。图11B进一步包括选定区的详细视图,以示出腹板元件上的示例性应力。在该实施方案中,当与参考轮胎100相比时,当轮胎200在承受载荷的同时旋转时,腹板元件230在每个顶点处承受相对较低的应力。另外,小半径过渡有效地去除了窄的应力带。但是,高应力集中的位置发生变化,并且导致更高的应力值,并且应力仍比可能期望的高度集中。

[0061] 图12是第二厚度可变轮胎300的腹板的下部的透视图。在此,腹板具有可变的厚度,该厚度由每个顶点处的较大半径限定。图12进一步包括选定区的详细视图,以示出腹板元件上的示例性应力。第二厚度可变轮胎300具有大致环形的内圈310、大致环形的外圈320以及限定多边形开口的多个腹板元件330。第二厚度可变轮胎300具有与参考轮胎100相同的形状和尺寸,不同之处在于每个多边形开口的每个顶点由大半径R<sub>3</sub>限定。

[0062] 在一个示例性实施方案中,第二厚度可变轮胎300具有与针对示例性参考轮胎100描述的尺寸相同的尺寸,不同之处在于大半径R<sub>3</sub>为0.7英寸(1.78cm)。因此,第二厚度可变轮胎300的尺寸使得每个腹板元件330的顶点处的半径为平均元件厚度的875%。在一个实施方案中,半径被选择为平均元件厚度的800%至1000%。

[0063] 在该实施方案中,当与参考轮胎100相比时,当轮胎300在承受载荷的同时旋转时,腹板元件330在每个顶点处承受较高的应力。大半径R<sub>3</sub>导致接合部处的材料过多,从而降低了每个腹板元件330的柔性部分的有效长度。应力集中在稍宽的带B中,该带已移至另一个位置。

[0064] 图13A至图13B示出了第三厚度可变轮胎400,即非充气轮胎,其腹板具有可变厚度,该厚度由每个顶点处的椭圆过渡部限定。图13A是第三厚度可变轮胎400的腹板的详细视图,包括大致环形的内圈410、大致环形的外圈420以及限定多边形开口的多个腹板元件430。第三厚度可变轮胎400具有与参考轮胎100相同的形状和尺寸,不同之处在于每个多边形开口的每个顶点由椭圆过渡部限定。

[0065] 在一个示例性实施方案中,第三厚度可变轮胎400具有与针对示例性参考轮胎100描述的尺寸相同的尺寸,不同之处在于其中顶点包括椭圆形部分。椭圆形允许过渡部的二维定义。椭圆形的使用还允许减少由于使用简单半径而导致的每个顶点处的材料减少。简单半径产生的额外材料导致在测试期间观察到的不柔性行为。

[0066] 图13B是第三厚度可变轮胎400的腹板的下部在承受载荷时变形的透视图。图13B进一步包括选定区的详细视图,以说明腹板元件430上的示例性应力。在该实施方案中,当

轮胎400在承受载荷的同时旋转时,腹板元件430在每个顶点处承受明显较低的应力。应力分布在外圈420附近的较宽带中,但仍集中在内圈410附近的窄带B中。最终,该实施方案在过渡部处仍然包括太多材料。

[0067] 图14A至图14F示出了第四厚度可变轮胎500,即非充气轮胎,其腹板具有可变的厚度,该厚度由每个顶点处的可变过渡部限定。图14A是第四厚度可变轮胎500的腹板的详细视图,包括大致环形的内圈510、大致环形的外圈520和限定多边形开口的多个腹板元件530。第四厚度可变轮胎500具有与参考轮胎100相同的形状和尺寸,不同之处在于每个多边形开口的每个顶点由选定的径向或样条曲线过渡部限定。

[0068] 图14B是第四厚度可变轮胎500的腹板的下部在承受载荷时变形的透视图。图14B进一步包括选定区的详细视图,以说明腹板元件530上的示例性应力。在该实施方案中,当轮胎500在承受载荷的同时旋转时,腹板元件530在每个顶点处承受明显较低的应力。应力分布在整个腹板的宽带中。在一个实施方案中,使用完全可变过渡部导致在正常操作下峰值应力降低大约30%。

[0069] 可变过渡部的示例在图14C至图14F的详细视图中进一步显示。

[0070] 图14C是图14A的区域C的详细视图。在该区域中,示出了内腹板元件530a和内圈510之间的两个顶点。从该视图看,在内腹板元件530a和内圈510之间形成钝角左侧角和锐角右侧角。钝角左侧角通过手动成形的样条曲线进行平滑处理,该样条曲线将更多材料添加到内腹板元件530a的中心线的左侧。锐角右侧角通过较小的简单半径进行平滑处理。

[0071] 图14D是图14A的区域D的详细视图。在该区域中,显示了三个顶点,包括内腹板元件530a和中间腹板元件530b之间的左顶点、内腹板元件530a和内径向腹板元件530c之间的右上顶点以及中间腹板元件530b和内径向腹板元件530c之间的右下顶点。在此区域中,所有三个顶点由手动成形的样条曲线限定。

[0072] 图14E是图14A的区域E的详细视图。在该区域中,显示了三个顶点,包括中间腹板元件530b和外径向腹板元件530d之间的左上顶点、中间腹板元件530b和外腹板元件530e之间的右顶点以及外径向腹板元件530d和外腹板元件530e之间的左下顶点。在此区域中,所有三个顶点由手动成形的样条曲线限定。

[0073] 图14F是图14A的区域F的详细视图。在该区域中,示出了外腹板元件530e和外圈520之间的两个顶点。从该视图看,在外腹板元件530e和外圈520之间形成锐角左侧角和钝角右侧角。钝角右侧角通过手动成形的样条曲线进行平滑处理,该样条曲线将更多的材料添加到外腹板元件530e的中心线的左侧。锐角左侧角通过较小的简单半径进行平滑处理。

[0074] 尽管上面已经描述了图14A至图14F的特定过渡部,但是应该理解,每个过渡部应根据非充气轮胎及其相关腹板的特定几何形状来确定。在一个实施方案中,可以在过渡部的选择中采用机器学习或其他人工智能。

[0075] 就在说明书或权利要求书中使用术语“包括”或“具有”而言,其旨在以类似于术语“包含”在权利要求书中用作过渡词时所理解的方式来具有包容性。此外,就采用术语“或”(例如,A或B)而言,该术语旨在表示“A或B或两者”。当申请人旨在指示“仅A或B但不是两者”时,则将采用术语“仅A或B但不是两者”。因此,本文中术语“或”的使用具有包容性,不具有排他性用途。参见Bryan A.Garner,《现代法律用语词典》第624页(第二版,1995年)(Bryan A.Garner,A Dictionary of Modern Legal Usage 624 (2d.Ed.1995))。此外,就在说明书和

权利要求书中使用术语“在...中”或“到...中”而言，该术语旨在另外表示“在...上”或“到...上”。此外，就在说明书或权利要求书中使用术语“连接”而言，该术语旨在不仅表示“直接连接到”，而且也表示“间接连接到”，诸如通过另外的一个或多个部件进行连接。

[0076] 虽然本发明已通过对其实施方案的描述进行说明，并且虽然已相当详细地对实施方案进行描述，但是申请人并非意图将所附权利要求书的范围约束为此类细节或以任何方式来限制为此类细节。附加的优点和修改对于本领域的技术人员而言将是显而易见的。因此，在其更广泛的方面，本公开并不限于所示和所述的特定细节、代表性系统和方法，以及例示性的示例。因此，可以在不脱离申请人的总体发明构思的实质或范围的情况下偏离此类细节。

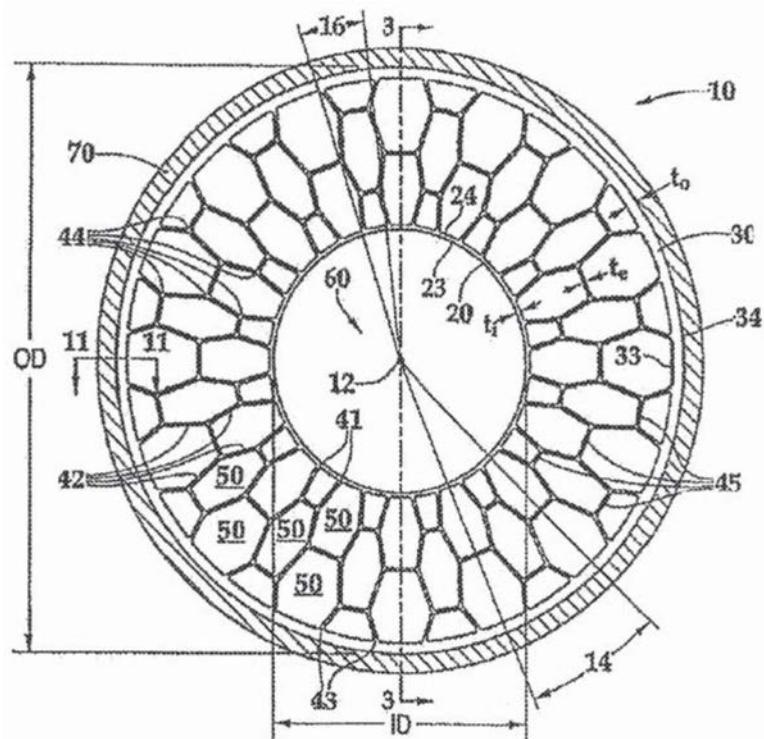


图1

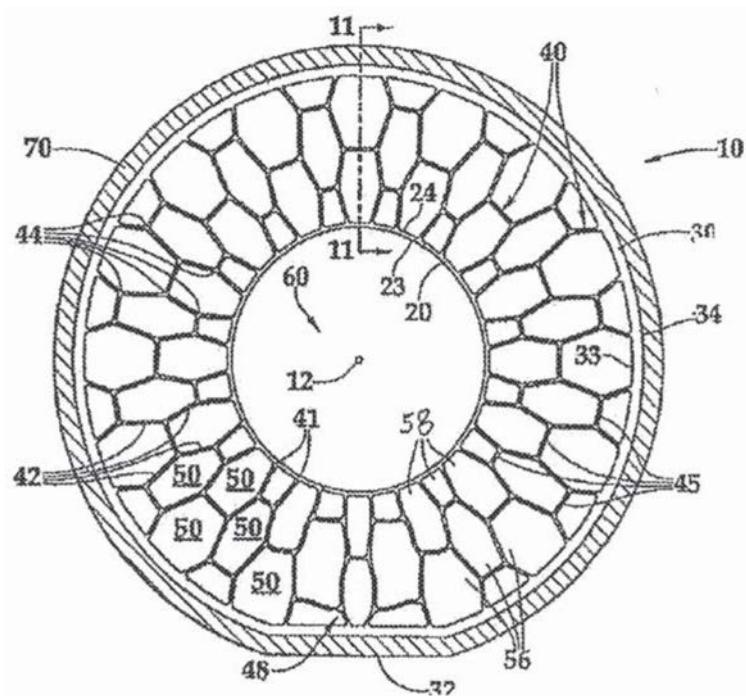


图2

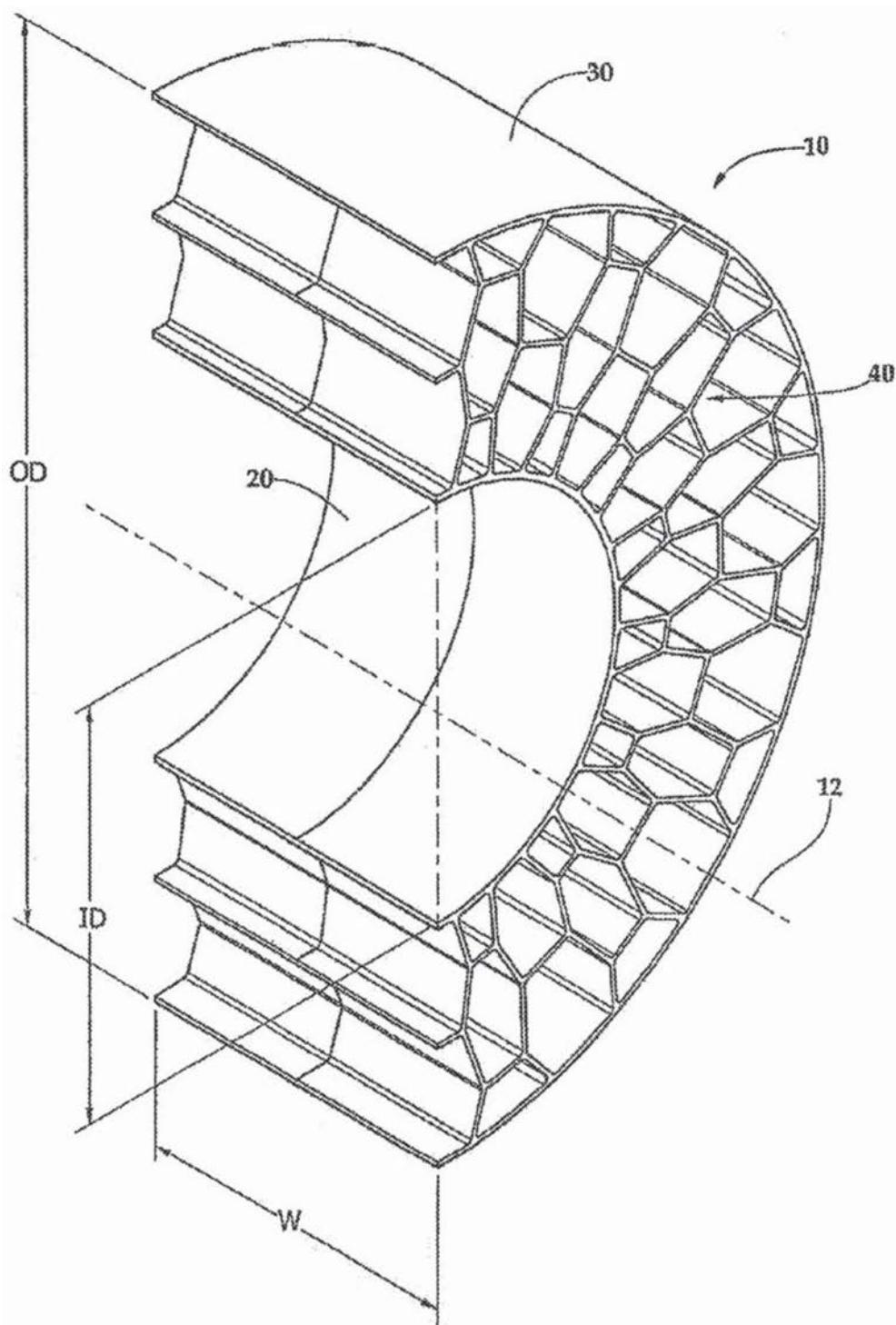


图3

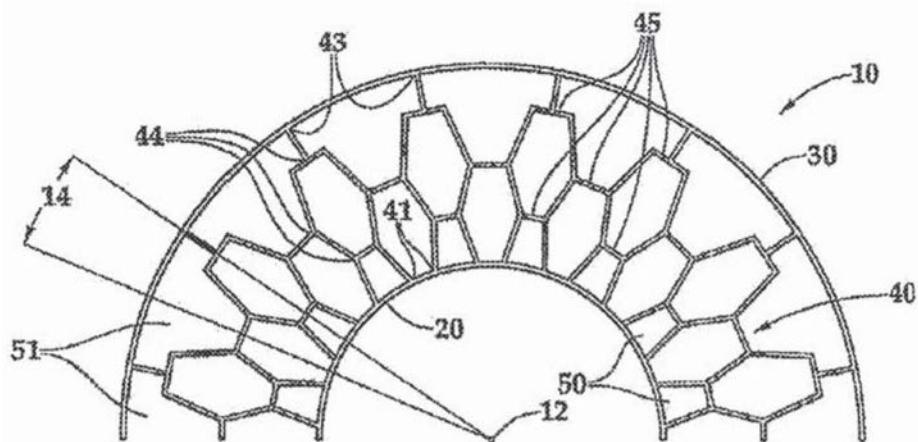


图4

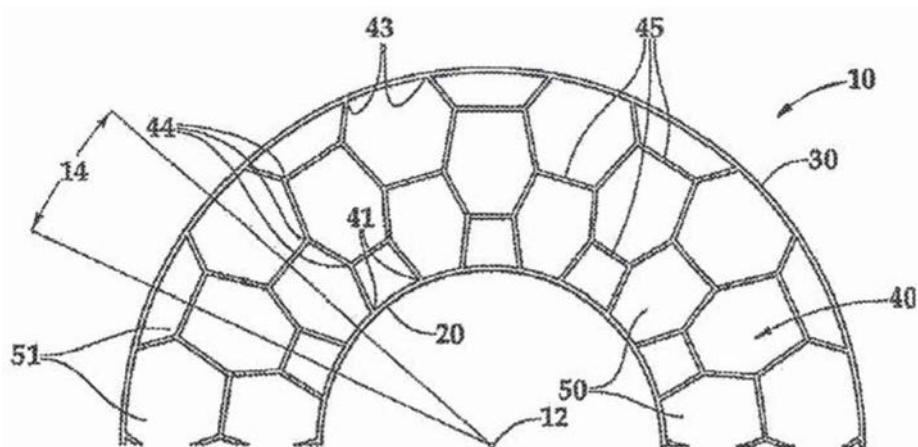


图5

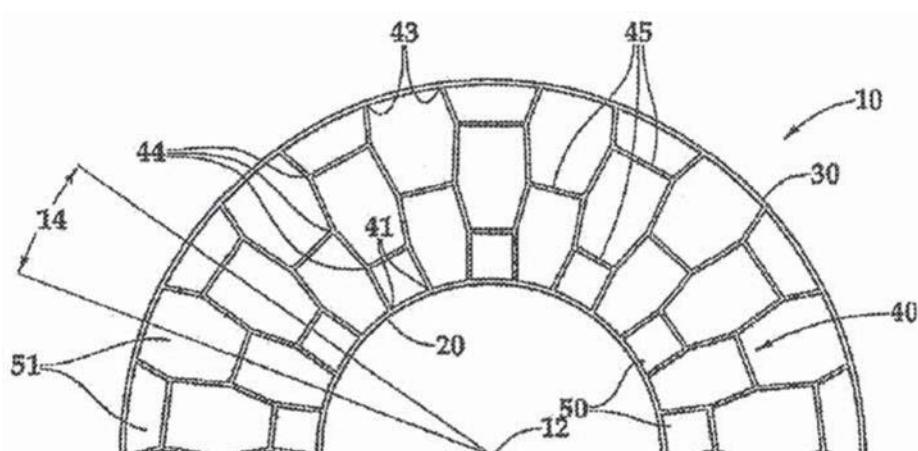


图6

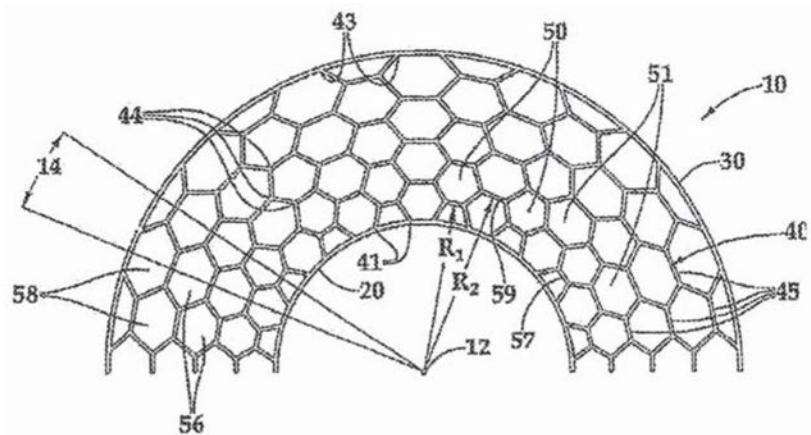


图7

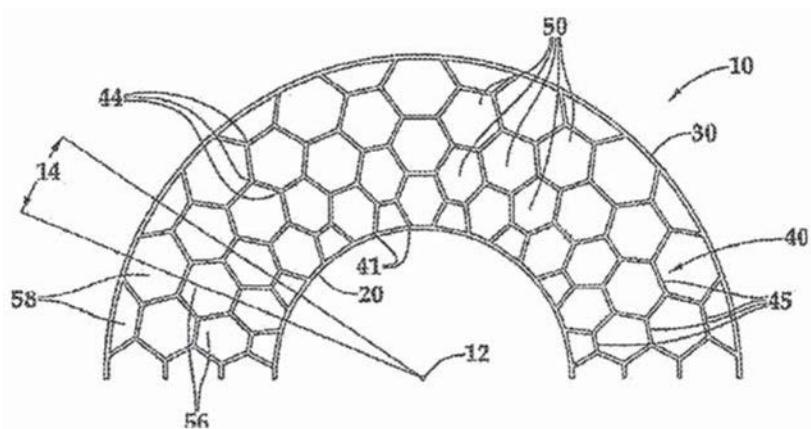


图8

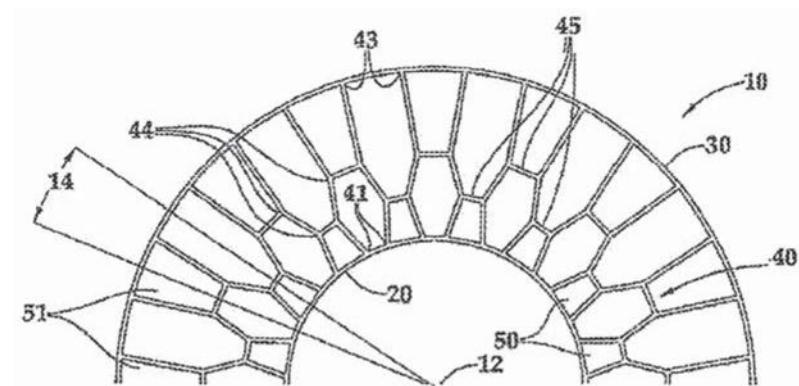


图9

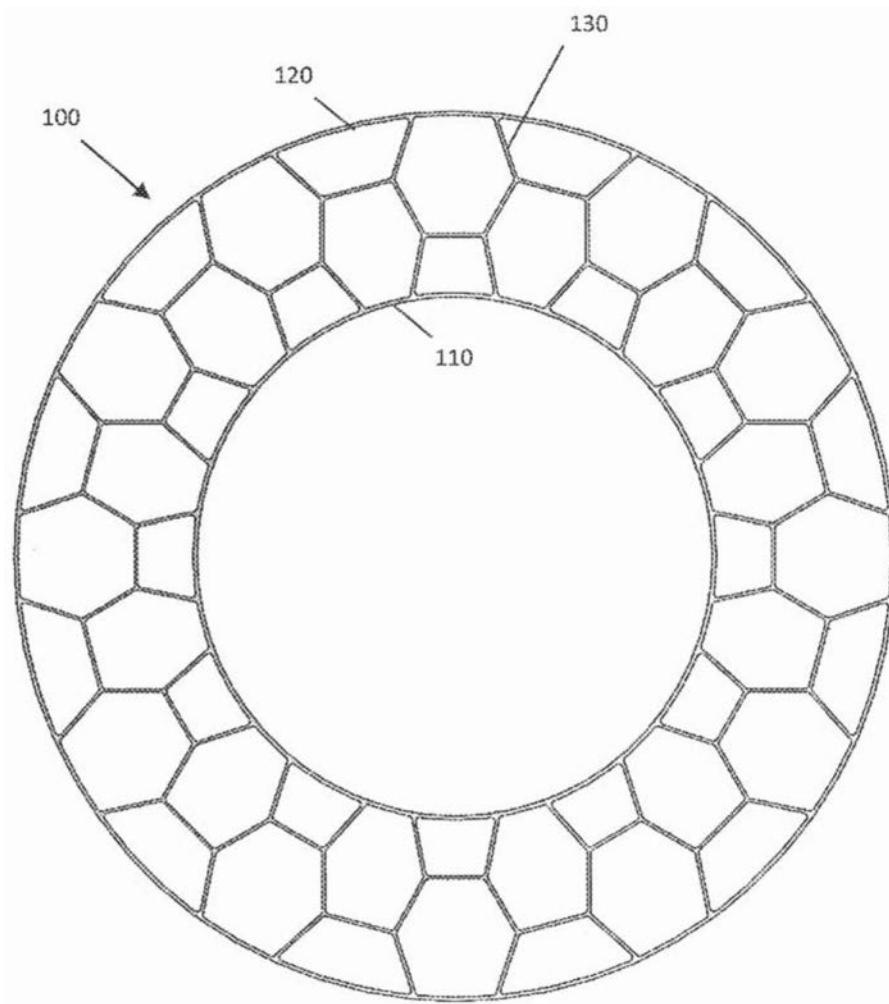


图10A

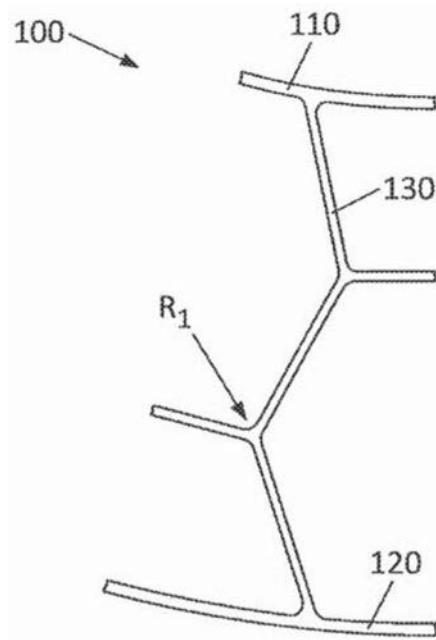


图10B

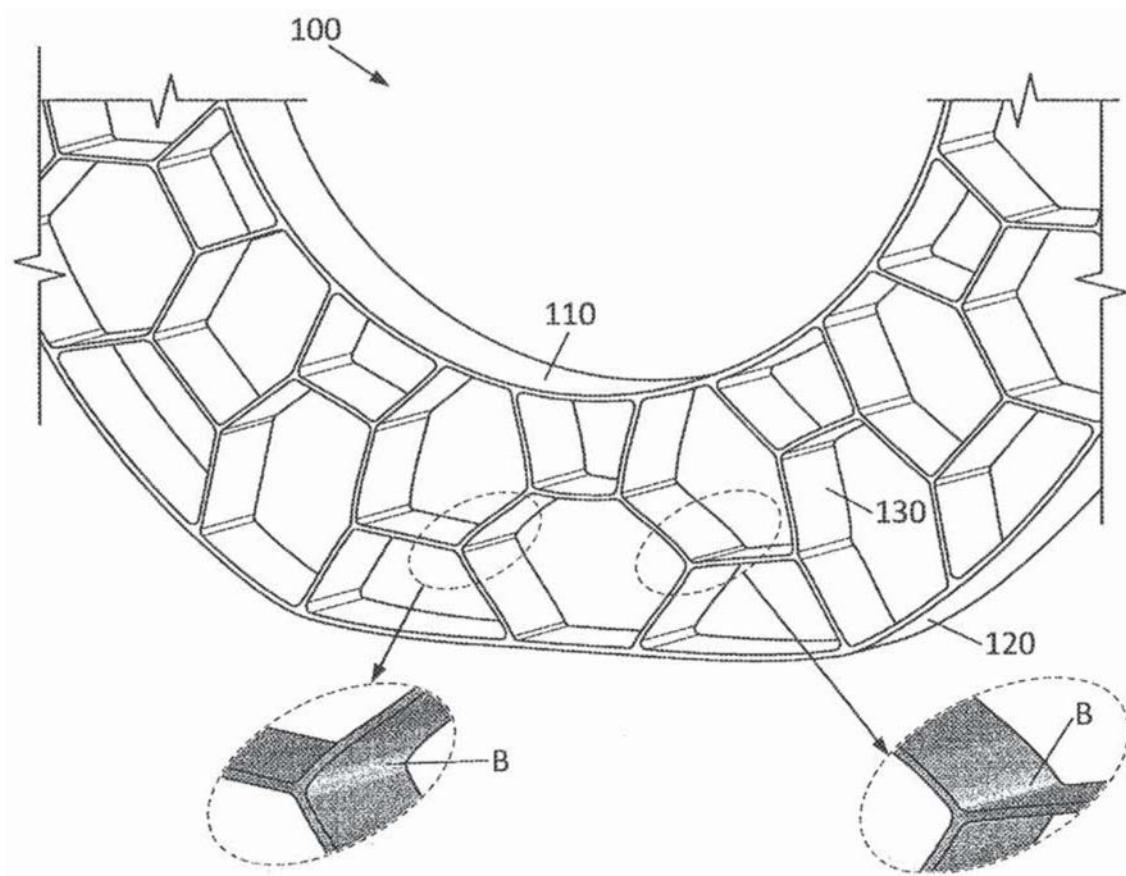


图10C

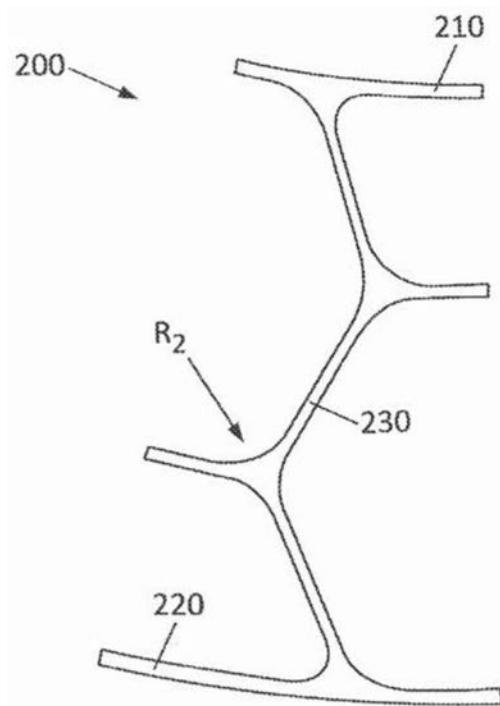


图11A

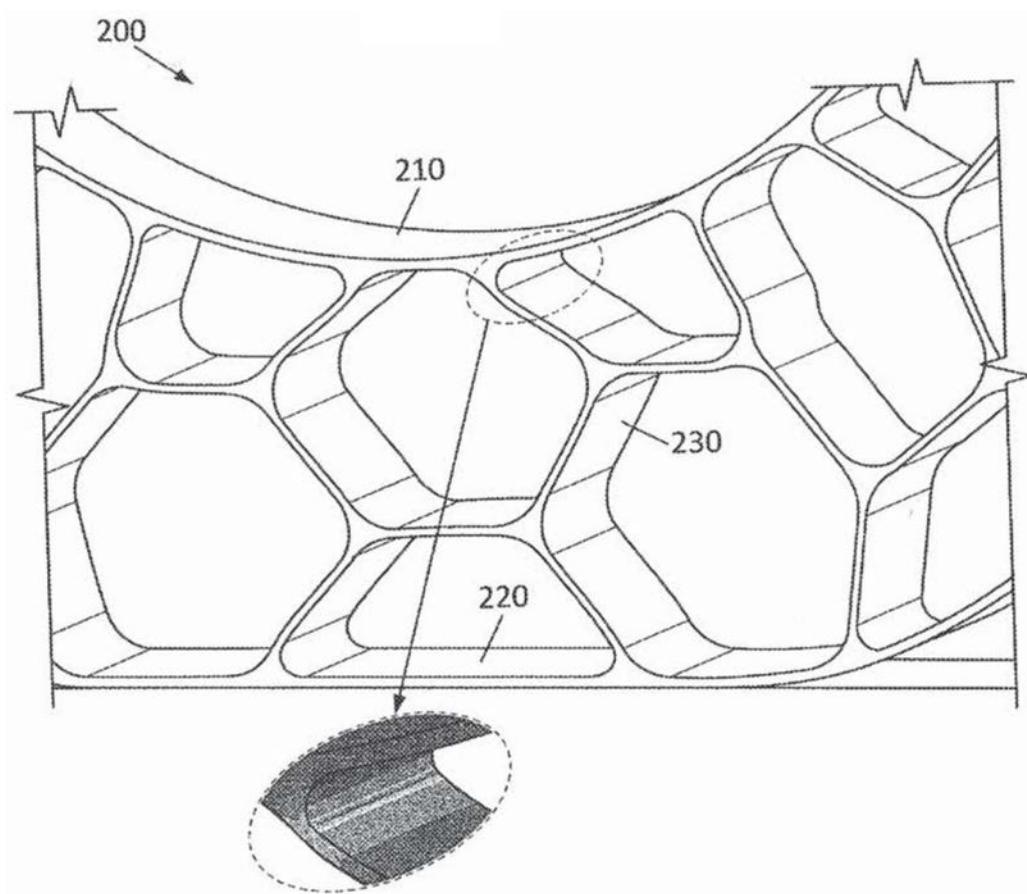


图11B

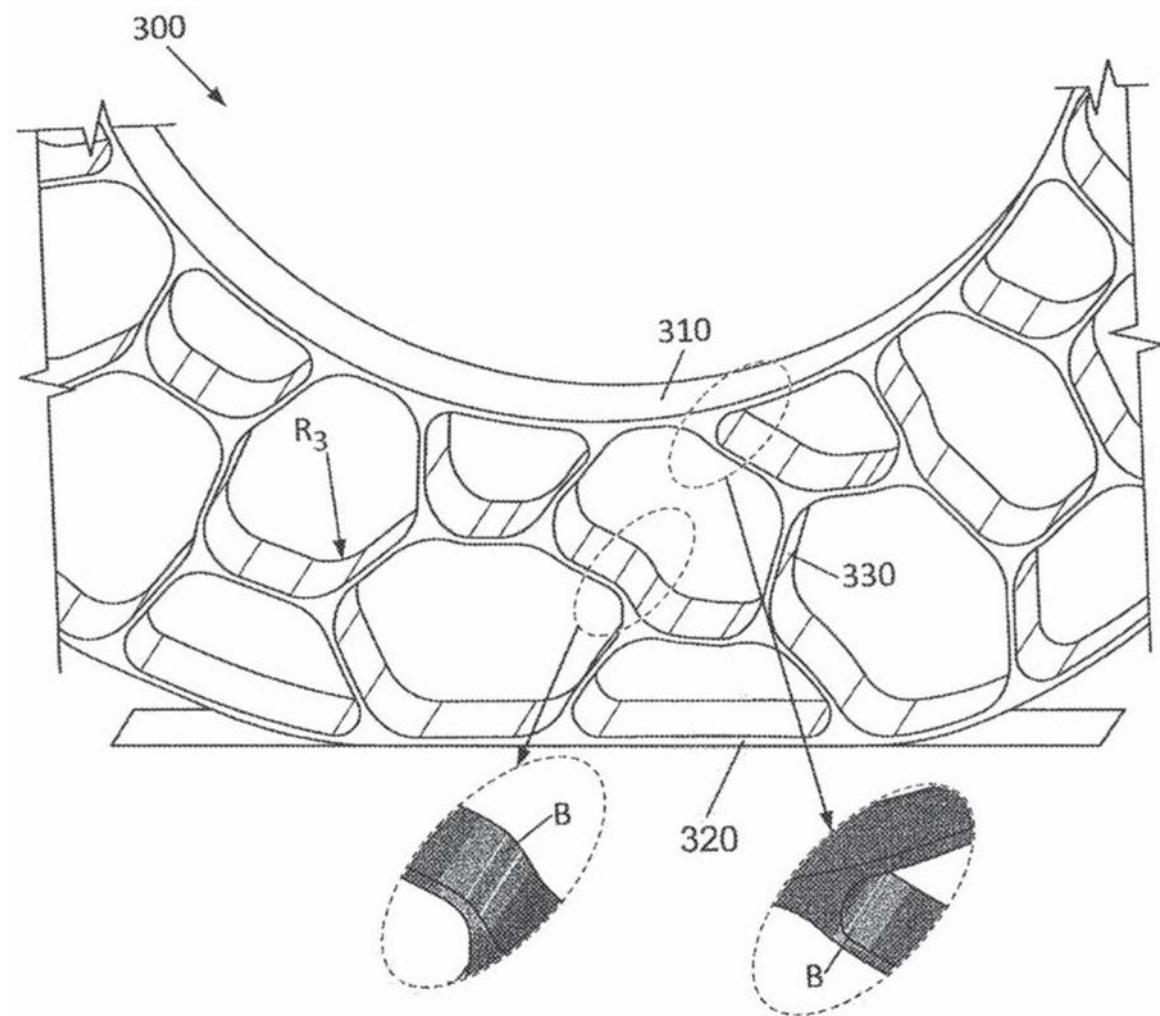


图12

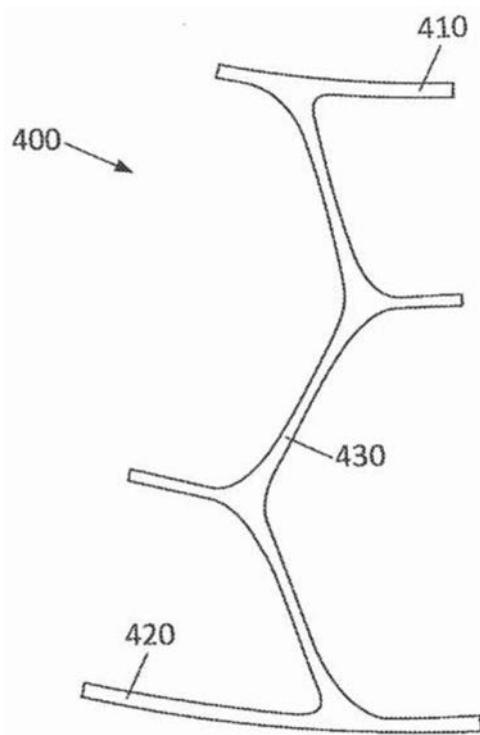


图13A

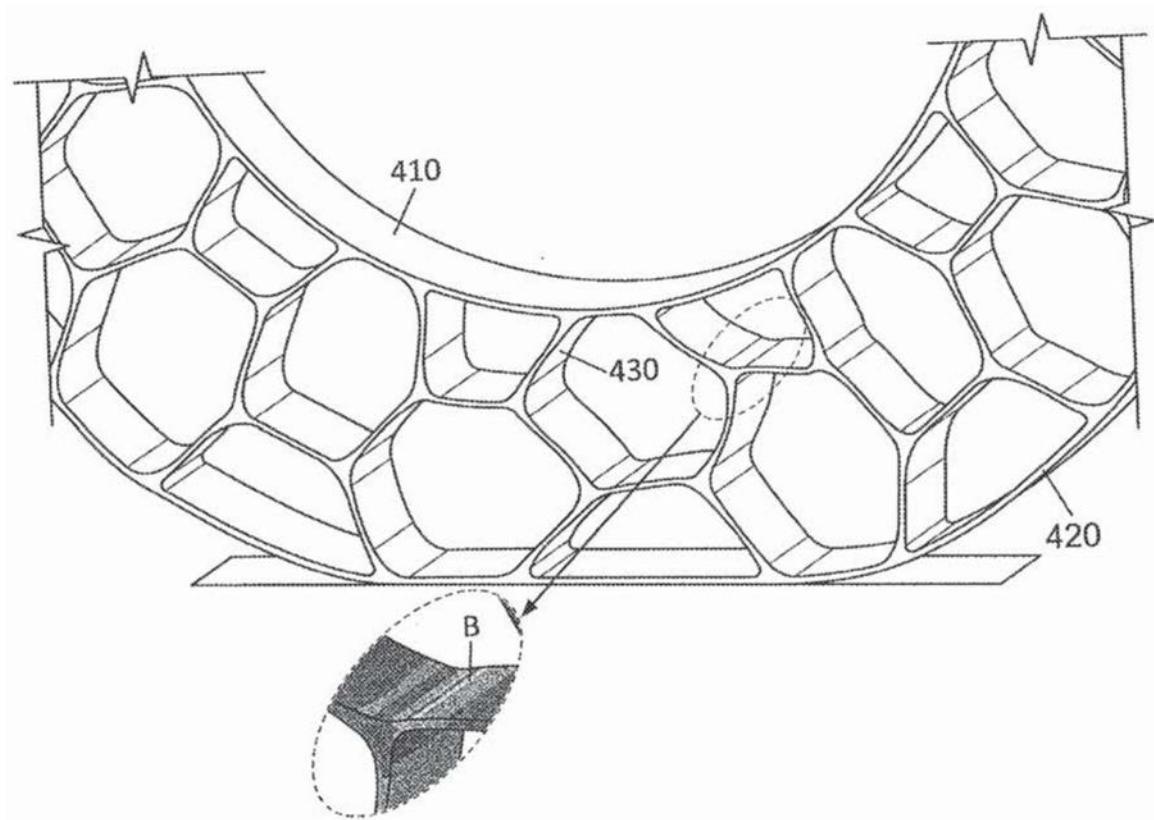


图13B

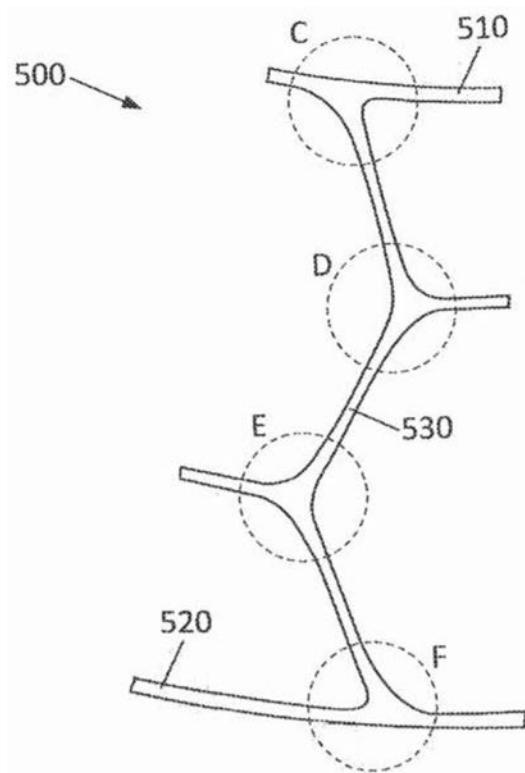


图14A

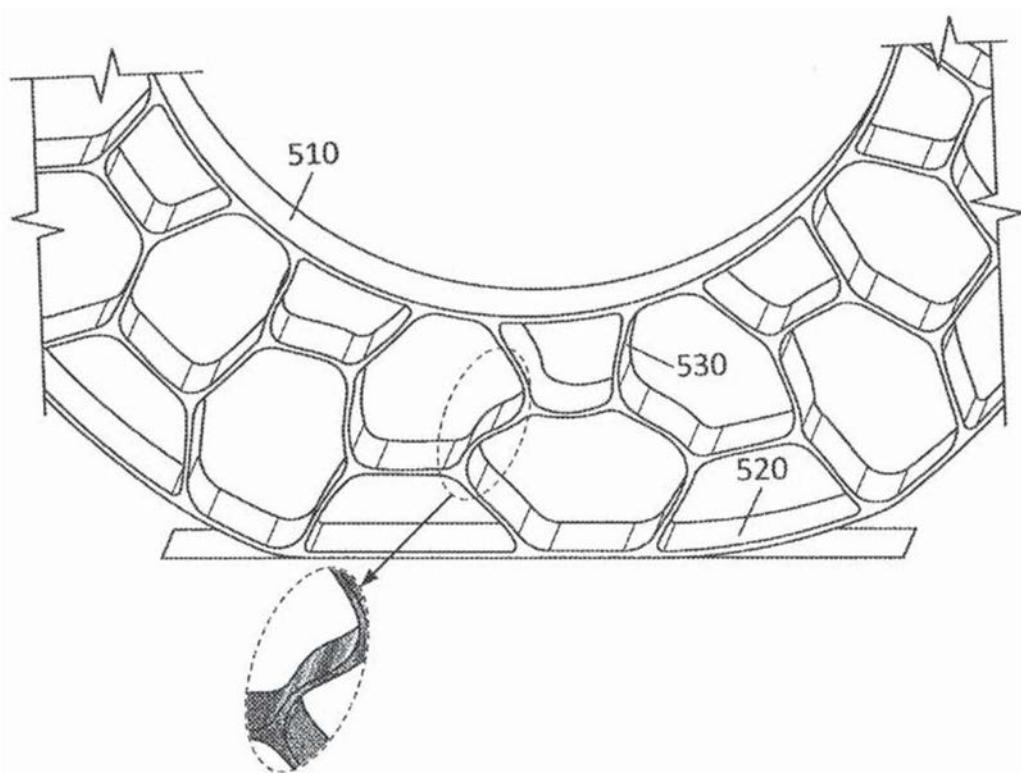


图14B

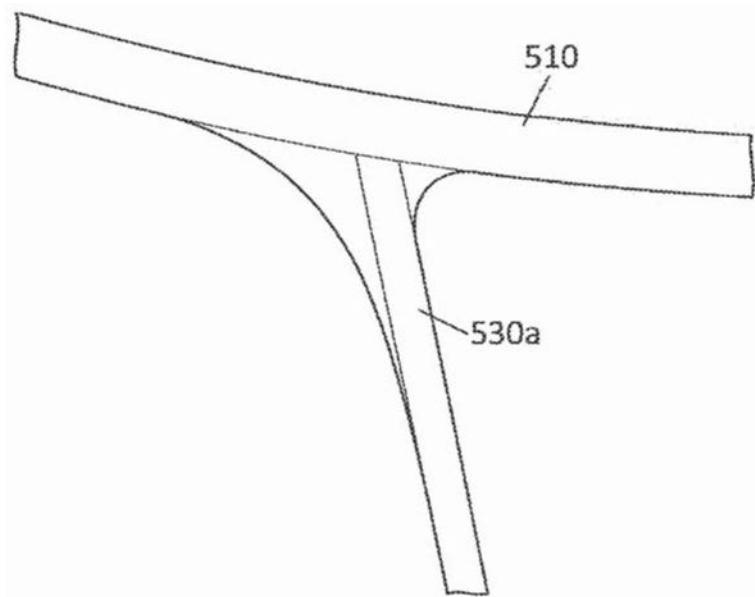


图14C

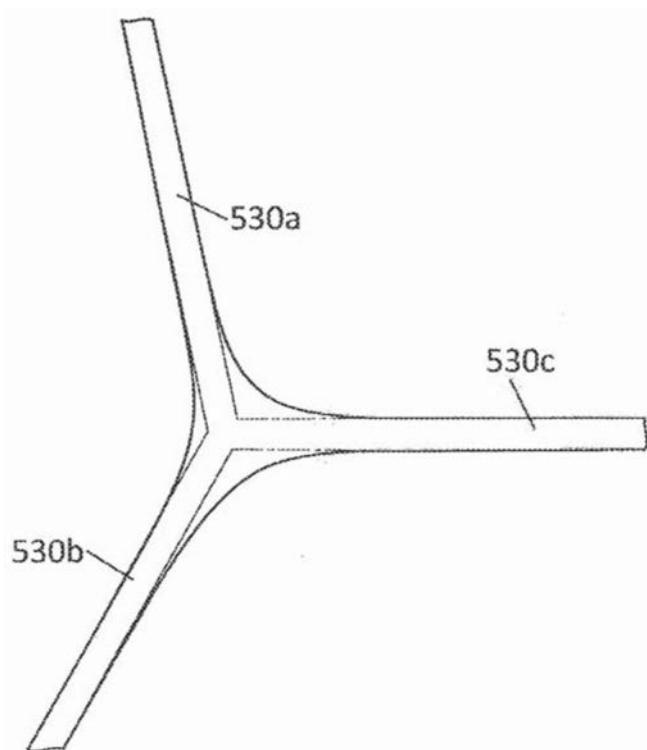


图14D

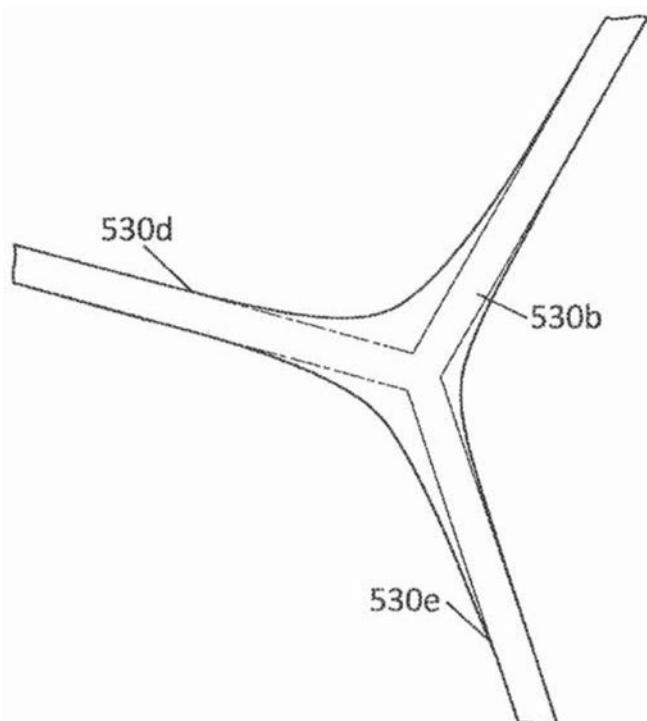


图14E

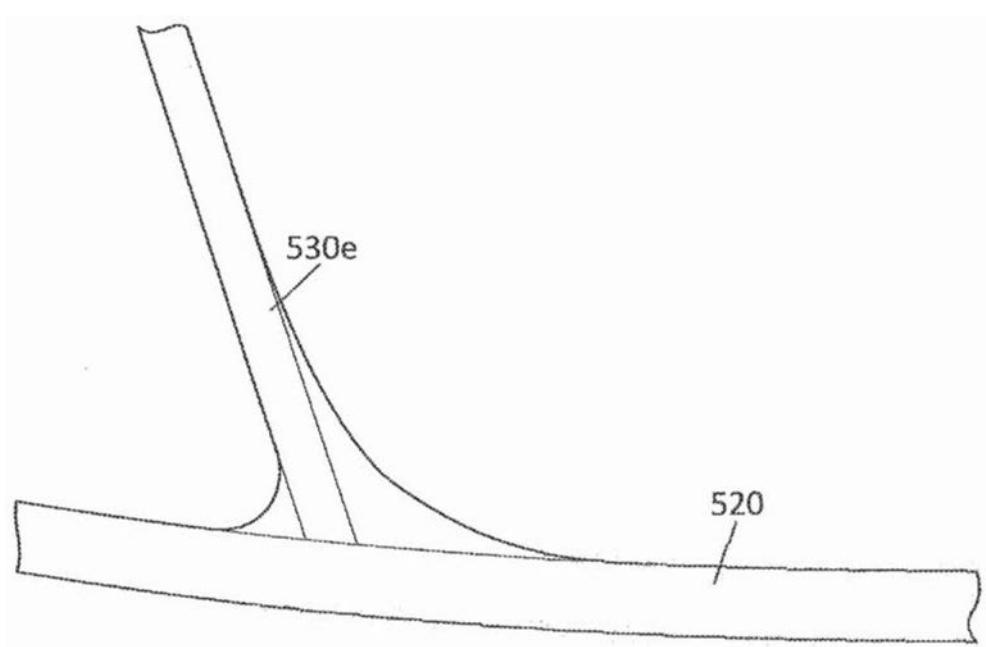


图14F