

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B60B 9/26 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480020449.9

[45] 授权公告日 2009 年 5 月 13 日

[11] 授权公告号 CN 100486822C

[22] 申请日 2004. 7. 13

[21] 申请号 200480020449.9

[30] 优先权

[32] 2003. 7. 14 [33] US [31] 10/618,924

[86] 国际申请 PCT/US2004/022412 2004. 7. 13

[87] 国际公布 WO2005/007422 英 2005. 1. 27

[85] 进入国家阶段日期 2006. 1. 16

[73] 专利权人 米其林技术公司

地址 法国克莱蒙 - 费朗

共同专利权人 米其林研究和技术股份有限公司

[72] 发明人 T·B·赖恩 S·M·克龙

J-P·蓬皮耶里

[56] 参考文献

WO03018332A1 2003. 3. 6

US6170544B1 2001. 1. 9

CN2074255U 1991. 4. 3

审查员 李 梅

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 程 伟

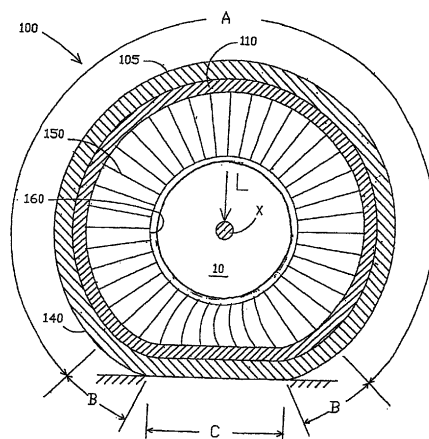
权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图 7 页

[54] 发明名称

柔性轮

[57] 摘要

一种柔性轮(100)包括柔性带(110)和多个腹板轮辐(150)，所述腹板轮辐(150)横跨所述加强的柔性带(110)并从所述加强的柔性带向内横向延伸以便连接到轮毂(10)。柔性带(110)弯曲以便柔性接触表面(C)并包住障碍。腹板轮辐(150)通过未连接到轮(100)接地部分的腹板轮辐内的张力来在柔性带(110)和轮毂(10)之间传递负荷力。柔性带的外表面可以形成为包括胎面(105)，或者可以连接分开的胎面带。



- 1、一种柔性轮，包括：
轮毂；
柔性带，所述柔性带布置成从所述轮毂径向向外；
多个张力传递元件，所述张力传递元件在所述轮毂和柔性带之间延伸并且连接到它们，其中，所述张力传递元件传递轮毂和柔性带之间的张力，并且在压缩状态下不传递力，其中柔性带的额定半径与柔性带的峰到峰径向位移的比例大于或等于 1500。
- 2、如权利要求 1 所述的柔性轮，还包括嵌在带内的加强叠层。
- 3、如权利要求 2 所述的柔性轮，其中所述加强叠层至少包括一层嵌在弹性敷层内且不能伸展的绳索加强件，其中所述弹性敷层具有的剪切弹性模量至少等于柔性带的剪切弹性模量。
- 4、如权利要求 2 所述的柔性轮，其中所述加强叠层位于柔性带的中性轴上。
- 5、如权利要求 2 所述的柔性轮，其中所述加强叠层位于从柔性带的中性轴径向向内的位置。
- 6、如权利要求 1 所述的柔性轮，还包括形成在柔性带的径向外表面上的胎面。
- 7、如权利要求 1 所述的柔性轮，其中所述柔性带由弹性模量为 9MPa-60Mpa 的弹性材料制成。
- 8、如权利要求 1 所述的柔性轮，其中所述张力传递元件包括横跨所述柔性带延伸的腹板轮辐。
- 9、如权利要求 8 所述的柔性轮，其中所述腹板轮辐平行于轴向定

向。

10、如权利要求 8 所述的柔性轮，其中每个腹板轮辐倾斜于轴向定向。

11、如权利要求 10 所述的柔性轮，其中在赤道面内观察相互相邻的腹板轮辐，其以人字形进行定向。

12、如权利要求 8 所述的柔性轮，其中在赤道面内观察相互相邻的腹板轮辐，其形成 Z 字形。

13、如权利要求 8 所述的柔性轮，其中交叉成对地定向的多个腹板轮辐，在赤道面内形成重复 X 图案。

14、如权利要求 8 所述的柔性轮，其中所述腹板轮辐在赤道面内具有曲面，以便在沿径向压缩时促进弯曲。

15、如权利要求 8 所述的柔性轮，其中第一组腹板轮辐平行于轴向定向，而第二组腹板轮辐垂直于轴向定向。

16、如权利要求 8 所述的柔性轮，其中每个腹板轮辐的厚度不大于柔性轮半径的 5%。

17、如权利要求 8 所述的柔性轮，其中所述腹板轮辐由弹性模量为 9Mpa-60Mpa 的弹性材料制成。

18、如权利要求 8 所述的柔性轮，其中所述柔性带和多个腹板轮辐整体地模制成由单一材料制成的单元。

19、一种柔性轮，包括：

轮毂；

弹性材料的柔性带，所述柔性带从所述轮毂径向向外布置；

嵌在所述柔性带内的加强叠层；以及
多个软腹板轮辐，所述软腹板轮辐在所述柔性带和轮毂之间延伸，
其中所述柔性带和多个腹板轮辐整体地模制成由单一材料制成的单元，其中柔性带的额定半径与柔性带的峰到峰径向位移的比例大于或等于 1500。

柔性轮

这是2001年8月24提交且指定美国的PCT/US01/26379的部分延续。

技术领域

本发明涉及非充气式结构支撑的轮胎和轮。更具体地，本发明涉及柔性（compliant）轮，其用它的结构部件来支撑负荷并且具有类似充气轮胎的性能以便用作充气轮胎的替换和改进。

背景技术

对于柔顺性、舒适、质量和滚动阻力而言，充气轮胎是最已知的解决方案；然而，充气轮胎具有的缺点在于复杂性、维护需求和损坏敏感性。例如，改进充气轮胎性能的装置能提供更大的柔顺性、更好的硬度控制、更低的维护要求和损坏的抵抗性。

常规的实心轮胎、弹簧轮胎和软心轮胎尽管没有充气轮胎的维护要求和损坏敏感性，但不幸地没有它的性能优点。具体地，实心 and 软心轮胎典型地包括由弹性材料层环绕的实心轮缘。这些轮胎依靠直接在负荷下弹性层的接地部分的压缩来承重。这些类型的轮胎重而硬，并且没有充气轮胎的减震性能。

弹簧轮胎典型地具有刚性木制、金属或塑料环，其中弹簧或弹簧状元件将它连接到轮毂。尽管轮毂由此被弹簧悬挂，但不可伸缩的环只有很小的接地面积，基本上不能提供柔顺性，并且提供较差的牵引和转向控制。

因此，除了在限定情形下以外，还没有发现广泛使用已知的非充气轮胎作为充气轮胎的替代品。

非充气式柔性轮具有类似于充气轮胎的性能特征，同时改进了它的缺点，将克服本领域的各种缺点，并且将成为受欢迎的改进。

发明内容

依据本发明的柔性轮包括柔性带和多个张力支撑元件，柔性带支撑轮毂上的负荷，张力支撑元件处于拉伸状态时在柔性带和轮毂之间传递负载力。张力支撑元件在压缩时基本上不承重，并且向轮毂提供类似充气轮胎的悬挂。

依据优选实施例，张力支撑元件是腹板轮辐，即由弹性材料制成的片状部件，以便在压缩时提供张力支撑力和柔韧性。也能使用其它张力传递元件，例如绳索或钢索，对腹板轮辐的描述并不是要限定本发明。

依据优选实施例，柔性轮包括柔性带、多个腹板轮辐和用于将腹板轮辐互连到轮毂的装置，腹板轮辐横向跨越柔性带，并且从柔性带到轮轴基本上径向向内延伸。

依据另一实施例，柔性轮包括胎面或磨损部分，其形成或安装到柔性带的径向外表面上。

为了下面的描述，术语“轮毂”指的是用于支撑轮并把它安装到车辆轮轴上的任何装置或结构。

柔性带由在负荷下能变形的材料制成，包括柔性带弯曲，以便包住障碍和符合接触表面，例如道路或地板。具体地，柔性带在负荷下的弯曲变形形成与接触表面的接触面积，这提供类似于充气轮胎的牵引和转向力传递。轮材料的柔度（compliance）的一个方面在于柔性带的弯曲量与轮上的负荷量相关。

柔性带可以由弹性材料制成，例如天然或合成橡胶、聚亚安酯、泡沫橡胶和泡沫聚亚安酯、分段共聚多醚、以及块状尼龙共聚物。优选地，这种材料具有约 9MPa-60MPa 的弹性模量。柔性带可以不加强，或者可以包括加强叠层以便增加柔性带的圆周非延伸性。

腹板轮辐互连轮毂和柔性带，并且在张力状态下起作用以便在轮毂和柔性带之间传递负载力。作为其它功能之一，这提供对车辆质量的支撑。通过未连接到柔性带接地部分的腹板轮辐内张力来产生承重力。负载轮毂可描述成从柔性带上部进行悬挂，这限定支撑负荷的拱。

优选地，腹板轮辐在张力状态下具有高效硬度而在压缩状态下具有低效硬度。压缩状态下的低硬度允许连接到柔性带接地部分的腹板

轮辐适应柔性带接地部分的变形，而不传递很大的垂直负荷。腹板轮辐与它们的长度相比是相对薄的，且典型地，在压缩状态下弯曲。没有接触区域内腹板轮辐的压缩负荷支撑允许柔性带更容易形成接地面积，并且更容易弯曲来吸收障碍。另外，因为从地面到轮毂没有直接连接，即，路面震动必然传递到柔性带周围且穿过张紧的腹板轮辐，与充气轮胎相比，柔性轮具有改进的舒适性和减震性。

腹板轮辐也传递用于加速、停止和转弯所需要的力。能选择腹板轮辐的排列和定向以便获得理想的功能。例如，在期望相对低圆周硬度的应用中，能径向地排列腹板轮辐，并且与柔性轮转轴平行。为了增加沿圆周方向的硬度，能增加垂直于转轴的腹板轮辐，同时与轴向对齐的腹板轮辐进行交替。另一选择是将腹板轮辐倾斜于柔性轮轴排列，以便沿圆周方向和轴向提供硬度。另一选择是将腹板轮辐定向成交替倾斜排列，也就是，当在赤道面内观察时成 Z 字形图案。当然，能使用其它类似的排列来适应轮的圆周硬度。

为了促进胎面接地部分的腹板轮辐弯曲，能弯曲轮辐。可选地，腹板轮辐在模制期间能定形成以具有沿特定方向弯曲的倾向。另一选择是在轮毂和腹板轮辐之间或环和腹板轮辐之间提供连接，这个连接在张力状态下起作用，但在压缩状态下允许腹板轮辐相对移动。

根据本发明的优选实施例，柔性轮包括轮毂、柔性承重带和多个腹板轮辐，柔性承重带布置成径向向外并与轮毂同心，腹板轮辐在轮毂和柔性带之间延伸，其中柔性带包括嵌在柔性带内的加强膜或叠层。优选地，加强叠层包括嵌在弹性层内且沿圆周方向对齐的绳索。根据本实施例，加强叠层在负载力下起作用来抑制柔性带的圆周长度，以便将张力更好地应用到腹板轮辐，这增加了承重能力。

根据本实施例的另一方面，膜或加强叠层的纵向张力模量大于柔性带的弹性模量。

根据本实施例的又一方面，膜或加强叠层大约位于柔性带的中性轴上。更优选地，加强叠层位于从中性轴径向向内。

附图说明

通过参考下面的描述以及附图将能更好地理解本发明，其中：

图 1 是本发明的柔性轮的赤道面内的示意图，其中支撑面在轮的负荷例示的柔度下；

图 2 是依据本发明的柔性轮的子午面内的示意图，图解了承重机构；

图 3 是本发明的柔性轮实施例的子午面内的剖视图；

图 4 是依据本发明的柔性轮可选实施例的赤道面内的示意图；

图 5 是在赤道面内观察柔性轮的剖视图，表示腹板轮辐按 X 图案的排列；

图 6 是在赤道面内观察腹板轮辐按“V”图案的可选排列图；

图 7 是径向地朝向旋转轴观察腹板轮辐按斜交轴图案的排列图；

图 8 表示径向地朝向旋转轴观察腹板轮辐的可选人字纹排列；

图 9 表示径向地朝向旋转轴观察沿圆周交替和沿轴向对齐的腹板轮辐的可选排列；

图 10 以剖视图来例示柔性带片段和支撑腹板轮辐，以便例示柔性带在负荷下的压缩变形；

图 11 示意地例示在柔性轮赤道面内观察的逆偏转硬度。

具体实施方式

对于本说明书，下列术语定义如下：

“赤道面”指的是垂直穿过轮旋转轴并平分轮结构的平面。

“子午面”指的是穿过并包括轮旋转轴的平面。

弹性材料的“模量”指的是由 ASTM 标准测试方法 D412 测量并伸长 10% 时的弹性拉伸模量。

“迟滞”指的是在操作应变、温度和频率下测量的动态损耗正切 ($\tan \delta$)。本领域普通技术人员将能理解，对于具体应用而言操作条件不同，例如，对于高尔夫手推车和运动车而言，负荷和速度要求不同，对于具体应用而言要指定应变、温度和频率。

图中描述的附图标记对于每个变量而言遵循一致的模式。没有按照规定比例来画这些图，为了图解清楚，已经按照需要放大或缩小部件尺寸。

在赤道面内示意性地观察的图 1 中，图示了依据本发明的柔性轮

的实施例。依据本发明的柔性轮在这些应用中是有用的，其中充气轮胎的牵引、驾驶或悬吊质量是有利的或者需要改进。在比充气轮胎需要更少的维护的轮中，依据本发明的柔性轮能提供改良的柔度和硬度特性，除了在机动车辆上使用之外，例如，这样的轮也能有利地用在轮椅、轮床、病床、灵敏仪器的手推车或者其它车辆或运输工具上，其中对震动的灵敏性是重要的。另外，轮可以用于代替椅子或其它家具的轮脚，或者作为童车、滑板、直列冰鞋等的轮。本发明的柔性轮能用于机器或装置中，其中使用承重或施重轮。为了描述目的，在下文中使用术语“车辆”；然而，其上能安装柔性轮的任何装置都包括在下面的描述中。

图1中所示的轮100具有环形柔性带110、多个张力传递元件、以及安装带160，多个张力传递元件例示为腹板轮辐150，其横跨柔性带并从柔性带向内延伸，而安装带位于腹板轮辐的径向内端上。安装带160将轮100锚定到轮毂10。胎面部分105形成在柔性带110的外围上。如图1中所示，胎面部分105可以是粘结在柔性带110上的附加层，例如，提供与带材料所提供的不同的牵引和磨损特性。可选地，如图3中所示，胎面部分105可以是柔性带110的外表面。胎面特征可以形成在胎面部分105内，并且可以包括凹槽107和肋条109。

如上所述，图1实施例中的腹板轮辐150横向跨越轮延伸，这里使用的含义是腹板轮辐150从轮的一端延伸到另一端，并且可以与旋转轴对齐，或者可以倾斜于轮轴。而且，“向内延伸”指的是腹板轮辐150在柔性带和轮毂之间延伸，并且可以位于向轮轴辐射的平面内，或者可以倾斜于径向平面。另外，如下所述，第二多个腹板轮辐可以在赤道面内延伸。

柔性带110支撑柔性轮上的负荷，并且其弹性变形来适应路面（或其它支撑表面）以提供牵引和操作能力。如图1和图2中所示，当将负荷L放在轮转轴X上时，柔性带110弯曲，并且另外变形而在区域C内进行地面接触以便形成接地面积。未进行地面接触的柔性带110的部分A按照类似于拱的方式进行作用，并且在赤道面内提供足够高的圆周压缩硬度和纵向弯曲硬度以便用作承重部件。从车辆（未图示）传递到轮毂10的轮100上负荷L基本上由连接到承重部分A的腹板轮

辐来悬挂。接触区域 C 内的腹板轮辐不承受由于负荷 L 而引起的张力负荷。当然,当柔性轮旋转时,用作拱的柔性带 110 的特定部分连续变化,然而,拱的原理有利于理解承重机构。

柔性带 110 的弯曲量与负荷 L 成比例,因此接地面积或区域 C 的大小与负荷 L 成比例。柔性带在负荷下弹性弯曲的能力提供柔性接地区域 C,其起的作用类似于充气轮胎,具有类似的有利结果。例如,柔性带 110 能包住障碍以便提供较平滑的乘坐。同样,柔性带 110 能向地面或路面传递力以便牵引、转弯或转向。

相反,在典型的实心 and 软心轮胎中,通过在接触区域内压缩轮胎结构来支撑负荷,其包括在刚性轮毂下对软垫材料的压缩。软垫材料的柔度受到材料的压缩特性和刚性轮或轮毂上材料厚度的限制。

柔性带 110 由弹性材料制成。柔性带弹性材料可以包括天然和合成橡胶、聚亚安酯、泡沫橡胶和聚亚安酯、分段共聚多醚、以及块状尼龙共聚物。优选地,弹性材料具有约 9MPa-60MPa 的弹性模量。可以按照本领域公知常识来制备弹性材料,除了聚合物含量之外,还有填充剂、调节剂、固化添加剂等,只要获得柔性带的适当柔度、柔性和弹性特性。

柔性带 110 在负荷下滚动期间的重复变形导致迟滞损失,在柔性轮内引起热量积累。因此,柔性带材料的迟滞应该规定成将操作温度维持在所用材料的容许操作温度之下。对于常规轮胎材料(例如橡胶),例如,对于连续使用的柔性轮而言,柔性带的迟滞应该规定为产生的温度低于约 100℃。

参考图 2 和 3,腹板轮辐 150 基本上是片状元件,具有:沿径向的长度 N,沿轴向的宽度 W,通常相当于柔性带 110 的轴向宽度,以及垂直于其它维的厚度。厚度比长度 N 或宽度 W 小得多,这允许腹板轮辐在压缩状态下时变形或弯曲,如图 1 中所示。薄腹板轮辐在经过接触区域 A 时将弯曲,其中基本上没有抗压力,也就是,向承重不提供或只提供很小的压力。随着腹板轮辐的厚度增加,腹板轮辐可以在接地区域内提供一些压缩承重力。然而,腹板轮辐的主要负荷传递作用作为整体是张力。可以选择特定的腹板轮辐厚度来满足车辆的规定要求。

如图2中所示,优选地,腹板轮辐150相对于柔性带110横跨轴向定向。因此,腹板轮辐150内(与图1中区域A对应的图上部内)的张力横跨柔性带110分布以便支撑负荷L。

根据本优选实施例,腹板轮辐150由张力模量约为10-100MPa的弹性材料制成。如果需要可以加强腹板轮辐。腹板轮辐材料也应该呈现出弹性性能以便在应变到30%之后返回到原始长度,并且当腹板轮辐材料应变到4%时呈现出恒定应力。此外,期望在有关操作条件下材料的 $\tan \delta$ 不大于0.1。例如,能确定满足这些要求的市场销售的橡胶或聚亚安酯材料。发明人已经发现,来自康涅狄格米德尔伯里的精细化工公司的尤尼罗伊尔分公司(Uniroyal Chemical division of Crompton Corporation of Middlebury, Connecticut)的Vibrathane B836已经适合于腹板轮辐。

参考图3,在一个实施例中,腹板轮辐150通过径向内安装带160相互连接,径向内安装带160环绕轮毂10以便将轮安装到轮毂。对接带170在腹板轮辐150的径向外端上与它们相互连接,并且将腹板轮辐150连接到柔性带110。为了方便,腹板轮辐150、安装带160和对接带170可以由单一材料模制成一个单元。

可选地,根据构造材料和对带110和轮毂或轮10的处理,可以除去安装带160或对接带170,并且可以模制或形成腹板轮辐以便直接粘结到带110和轮毂10。例如,如果柔性带110由与腹板轮辐相同或兼容的材料制成,则用形成腹板轮辐、柔性带和安装带作为整体单元的一个步骤能制造本发明的柔性轮。类似地,通过将腹板轮辐直接模制到轮毂能消除安装带。

根据另一实施例,例如,通过在每个腹板轮辐的内端上提供啮合轮毂内凹槽的扩大部分,或者通过连接相邻的腹板轮辐以便在形成轮毂内的钩或棒上形成环,腹板轮辐150能机械地连接到轮毂。

图4图示了一个这样的实施例,其中腹板轮辐150形成有环152,环152啮合轮毂10外半径内的钩154。

通过具有腹板轮辐来获得基本完全张力的负荷支撑,腹板轮辐在张力状态下具有高效硬度而在压缩状态下具有很低的硬度。为了有利于沿特定方向弯曲,腹板轮辐可以弯曲。可选地,腹板轮辐能模制成

带有一定弯曲并且在冷却期间可通过热收缩来伸直，以便提供沿特定方向弯曲的倾向。

例如，当扭矩施加到轮时，腹板轮辐 150 应该抵抗柔性带 110 和轮毂 10 之间的扭矩。另外，例如当转动或转弯时，腹板轮辐 150 应该抵抗横向偏转。如所能理解的，位于径向-轴向平面内的腹板轮辐 150，也就是与径向和轴向都对齐，将具有对轴向定向力的高抵抗力，但是，特别是如果沿径向伸长，可以具有对沿圆周方向的扭矩相对低的抵抗力。对于某些车辆和应用，例如，产生相对低的扭矩的车辆和应用，具有相对短且与径向对齐的轮辐的腹板轮辐外壳将是合适的。

对于期望高扭矩的应用，例如图 5-7 中图解的排列，这些排列之一可能是更合适的。在图 5 中，如沿径向观察，以重复 X 图案来定向腹板轮辐 150，其中成对的轮辐在它们中心形成连接的 X。在图 6 中，相对径向以 Z 字形图案来定向腹板轮辐 150。按 Z 字形图案来定向图 7 中的腹板轮辐，其中相邻的腹板轮辐相对于径向相对地定向。在这些变化中，这些定向沿径向和圆周方向来提供抗力分量，从而增加对扭矩的抵抗力，同时保持径向和横向抗力分量。可以根据使用的腹板轮辐量和相邻腹板轮辐之间的间隔来选择定向角度。

可以使用其它可选排列。如图 8 中所示，沿径向观察，腹板轮辐可以排列成人字或 V 图案。如图 9 中所示，另一可选排列是在沿轴向对齐和沿圆周对齐之间改变相邻腹板轮辐的定向。然而，因为在接触区域内腹板轮辐的调节性弯曲的困难，这些可选排列可能是更不优选的。

本发明的柔性轮的一个优点在于，柔性带和腹板轮辐的尺寸和排列选择允许调整轮的垂直、横向和扭转硬度，而不依赖于接触压力和彼此的压力。通过选择在赤道面（图 1 的观察面）内具有圆周压缩硬度和纵向弯曲硬度的材料来部分确定柔性带 110 的操作参数，即承重和柔度，以便满足设计负荷要求。考虑到柔性轮的直径、柔性带沿轴向的宽度、柔性带沿径向的厚度、以及腹板轮辐的长度和间隔，来检查这些参数。

选择腹板轮辐的数量来维持柔性带的环状，并且也将依赖于相邻腹板轮辐之间的间隔。

柔性轮与气垫轮和弹簧轮不同的特征结构在于, 承重柔性带 110 和腹板轮辐 150 都是能弹性地弯曲或变形的。这种结构提出两个考虑: 在承重期间保持负载柔性带 110 的足够均匀性, 以便平滑滚动和防止腹板轮辐的疲劳衰坏弯向和弯出接触区域。

发明人已经发现, 为了平滑滚动, 柔性带 110 能分解成一系列梁段, 这些梁段由相邻的腹板轮辐 150 在端部支撑, 如图 10 中示意性例示。由于施加在轴上的负荷而在腹板轮辐 150 内引起的张力 T , 而在相邻的腹板轮辐之间的梁段 112 内产生压缩力 K 。当压缩超过梁段 112 的能力而缩短时, 出现弯曲, 如虚线所示 (按照放大尺寸)。弯曲或径向位移 μ 在柔性带 110 的滚动半径内产生非均匀性, 导致非均匀滚动。

通过选择柔性带 110 和腹板轮辐 150 的特征, 径向位移 μ 能保持在限度内以便基本均匀、平滑地滚动。使用下列关系式, 径向位移 μ 与柔性轮部件的物理特征有关:

$$\mu_{p/p} \cong 1.5 \left(\frac{1-v^2}{EI} \right) T \left(\frac{r_0}{n} \right)^3$$

这里, $\mu_{p/p}$ 是峰到峰径向位移 (mm);

v 是柔性环的泊松比;

E 是柔性环弹性的模量 (N/mm^2);

I 是柔性环的惯性力矩 (mm^4);

T 是轮辐张力 (N);

r_0 是柔性环的额定半径 (mm);

n 是轮辐数量。

为了平滑滚动, 径向位移 μ 当然应该小。径向位移 μ 与柔性带的半径相关是方便的。柔性带 110 的额定半径 r_0 与峰到峰径向位移 μ 的优选比例是等于或大于约值 1500, 或者

$$\frac{r_0}{\mu} \geq 1500$$

如公式中暗示, 例如, 通过增加轮辐数量或通过增加柔性带硬度, 修正柔性带 110 和腹板轮辐 150 的不同参数, 可以获得这个半径与径向位移的比例。

在柔性轮的设计中考虑的另一因素是腹板轮辐的疲劳期。根据柔

性带在负载时经受的偏转量，腹板轮辐能经受很大的弯曲应力，导致疲劳。对于规定应用所期望的循环量而言，最大的轮辐应变能应该低于轮辐材料的疲劳限度。使用下列公式能估算径向腹板轮辐的最大应变能：

$$\text{最大应变能} \cong 27.75 \left(\frac{Et^2}{L^2(1-\nu^2)} \right) \left(\frac{\Delta L}{L} \right)^{1.18}$$

这里， ν 是轮辐的泊松比；

E 是轮辐的弹性模量 (N/mm^2)；

L 是轮辐的长度 (mm)；

ΔL 是轮辐的最大径向位移 (mm)；

t 是轮辐沿圆周方向的厚度 (mm)，假设是矩形横截面。

垂直硬度与轮在负荷下抵抗偏转的能力有关。轮的垂直硬度受到对不与地面接触的轮部分负荷的反作用的强烈影响，即柔性轮的“逆偏转”。图 11 按照放大比例来图解这个现象。当轮处于负荷 L 下时，它偏转的量为 f ，而接地部分符合地面来形成接地区域 C 。注意，为了本说明书，图 11 内的参考系使柔性轮轴 X 保持在恒定位置上，并且朝着轴向上移动地面。柔性轮是弹性体，因此，垂直偏转 f 与负荷 L 成比例，根据垂直偏转 f 可以获得柔性轮的垂直硬度 K_v 。

柔性带 110 的圆周硬度（示意性图示）将在探寻中抵抗负载下的拉伸、压缩和弯曲以便保持它空载时的圆周。因此，当在负荷下时，如图中虚线所示，不接地的柔性轮部分转移或逆偏转，远离接触区域 C 。逆偏转量 λ 也与负荷 L 成比例，因此可以获得逆偏转硬度 K_λ 。偏转硬度 K_λ 主要与柔性带的圆周压缩硬度和不接地的腹板轮辐承受负荷的方式有关。较小的程度地包括了柔性带的横向和纵向弯曲。

通过将柔性轮放在负荷 F 下且轴固定，并测量接触区域内柔性轮的偏转 f 和与接触区域相对的胎面的偏转，能直接测量逆偏转。然后，通过用逆偏转量 λ 除负荷 F 来确定逆偏转硬度。

实际上，逆偏转硬度 K_λ 基本上控制柔性轮的垂直硬度，因此，控制柔性轮轴在负荷下的偏转。低逆偏转硬度允许柔性带 110 在负荷下垂直移动，从而减少偏转时的负荷能力。逆偏转硬度 K_λ 确定接触区域的长度，这可以从图 10 中看出。因此，具有高逆偏转硬度的柔性轮具

有相对小的逆偏转和更长的接触区域。

能调节垂直硬度以便最优化给定的柔性轮的承重能力。可选地，能调节垂直硬度以便提供厚度减小的柔性带，从而减小接触压力或柔性轮质量，同时保持理想程度的垂直硬度。

能按照许多方式来修改逆偏转硬度 K_{λ} 。用来调节该硬度的一些设计参数包括腹板轮辐模量、腹板轮辐长度、腹板轮辐曲率、腹板厚度、柔性轮直径、柔性带层的厚度、以及柔性带的宽度。

根据优选实施例，柔性带 110 包括加强层 130，以便当它在负荷下变形时来抑制柔性带的圆周。优选地，加强层或叠层布置在柔性带的中性轴上或稍微向内，也就是，接近径向外表面和内表面之间的中间，或者中性轴的稍微径向向内。加强叠层 130 将在沿柔性带圆周方向的张力下起作用。

任何适当材料都可以用于加强层。加强层结构可以是若干选择之一，例如，均匀材料（如薄金属片）、纤维加强矩阵或具有离散加强件的层。通过任何适当的化学或粘结连接或机械固定方法，将加强叠层 130 粘结在柔性带 110 上或柔性带 110 内，这些都在本发明的范围内。加强叠层 130 可以包括两层或多层。

优选实施例内的加强层包括多个嵌在弹性敷层内的基本不能伸展的绳加强件。对于由弹性材料构成的柔性轮，加强叠层 130 可以位于两个局部弹性材料层 120 之间，并且由固化弹性材料进行粘结。可选地，加强叠层 130 可以在模制柔性带本身的工艺期间嵌入。叠层 130 内的加强元件可以是若干材料之一，这些材料适合于用作常规轮胎内的柔性轮带加强件，例如，单纤维丝或钢丝、芳族聚酸胺或其它高模量纺织品。对于本文中所述的例示性柔性轮，加强件是钢索，每个都由四根直径为 0.26mm 的金属丝构成（4×0.26）。

叠层 130 包括多个相对圆周以任何角度定向且基本平行的绳索。一个有利的排列是绳索相对于柔性轮赤道面定向成约 0° ，以便增加张力硬度。

可选地，如果提供了两个或多个叠片，则各层的绳索可以相对于沿圆周方向的角度来布置，并且相互之间以相对方向来布置。

绳索嵌在弹性敷层内，典型地具有约 9MPa-60MPa 的弹性模量。

申请人明白，通过对上面说明书的阅读，对于本领域普通技术人员而言，许多其它变化是显而易见的。如下列附属权利要求书限定，这些变化和其它变化都位于本发明的精神和范围内。

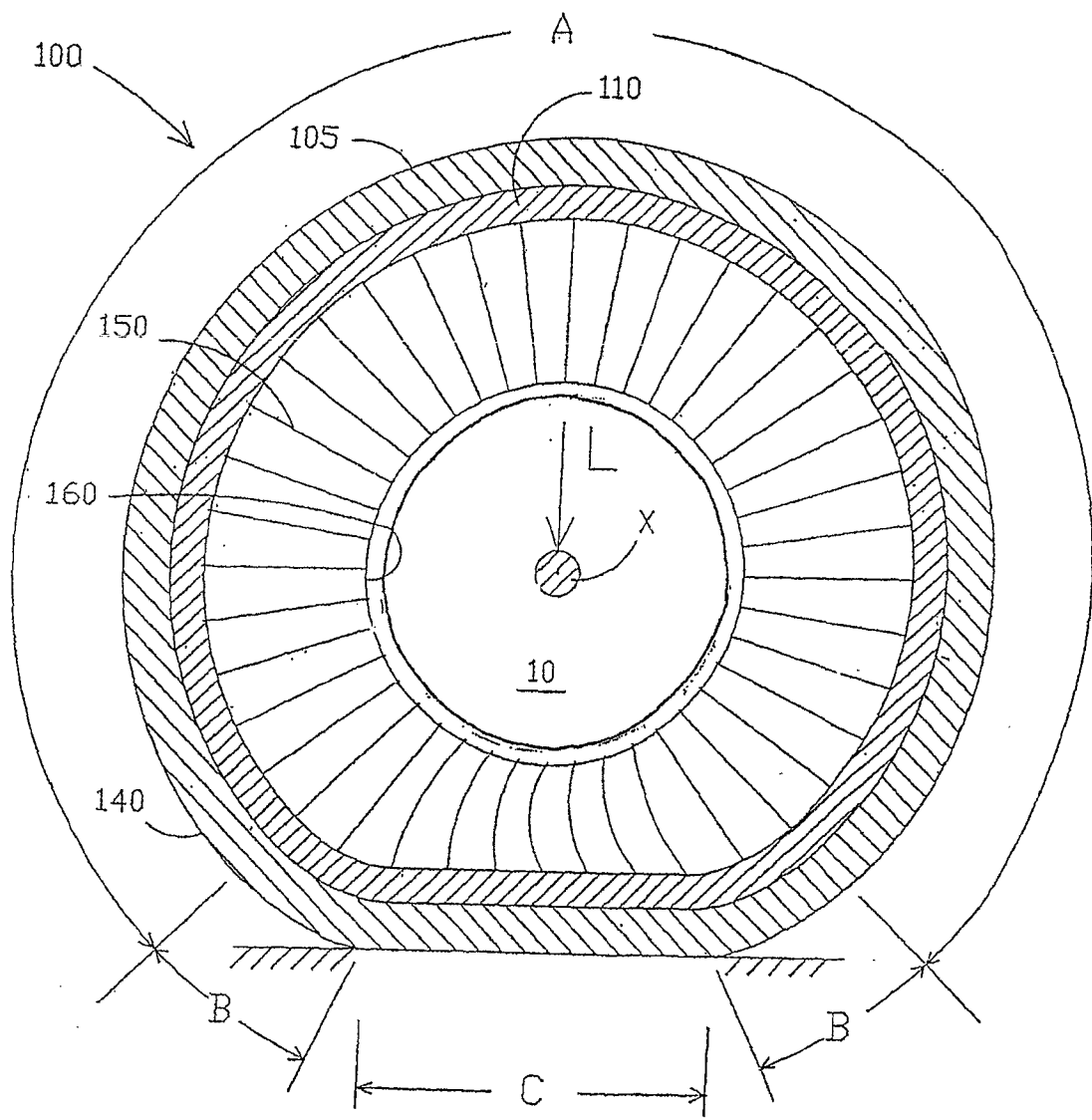


图1

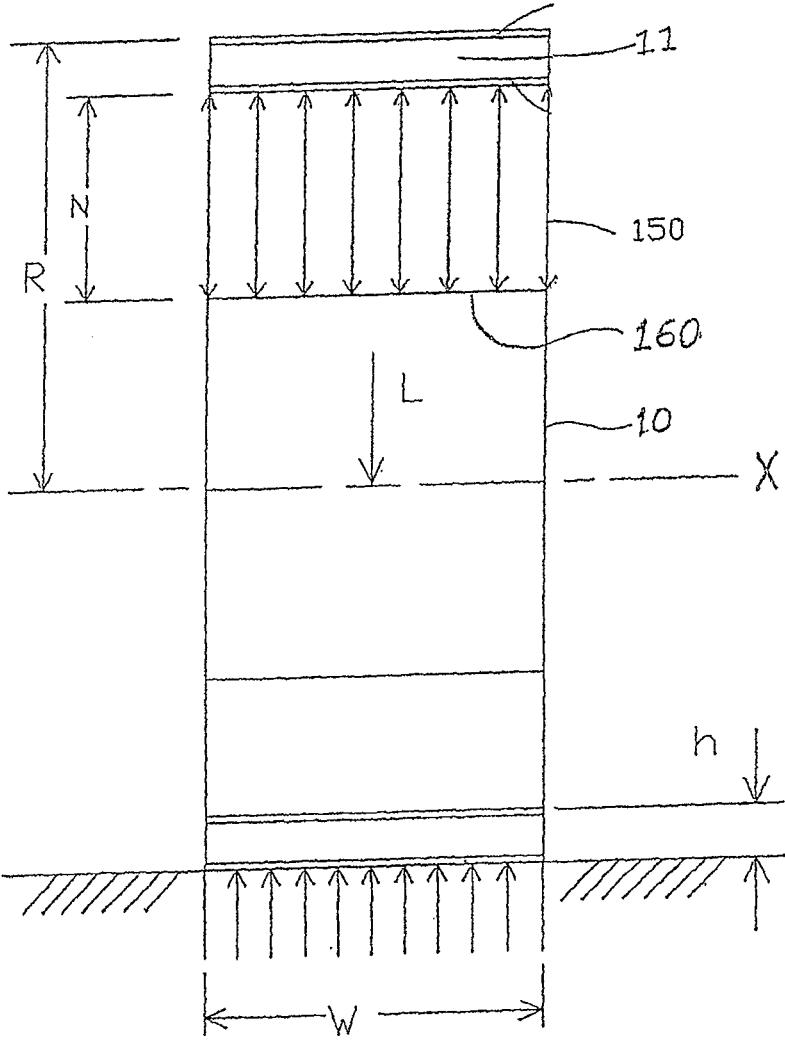


图2

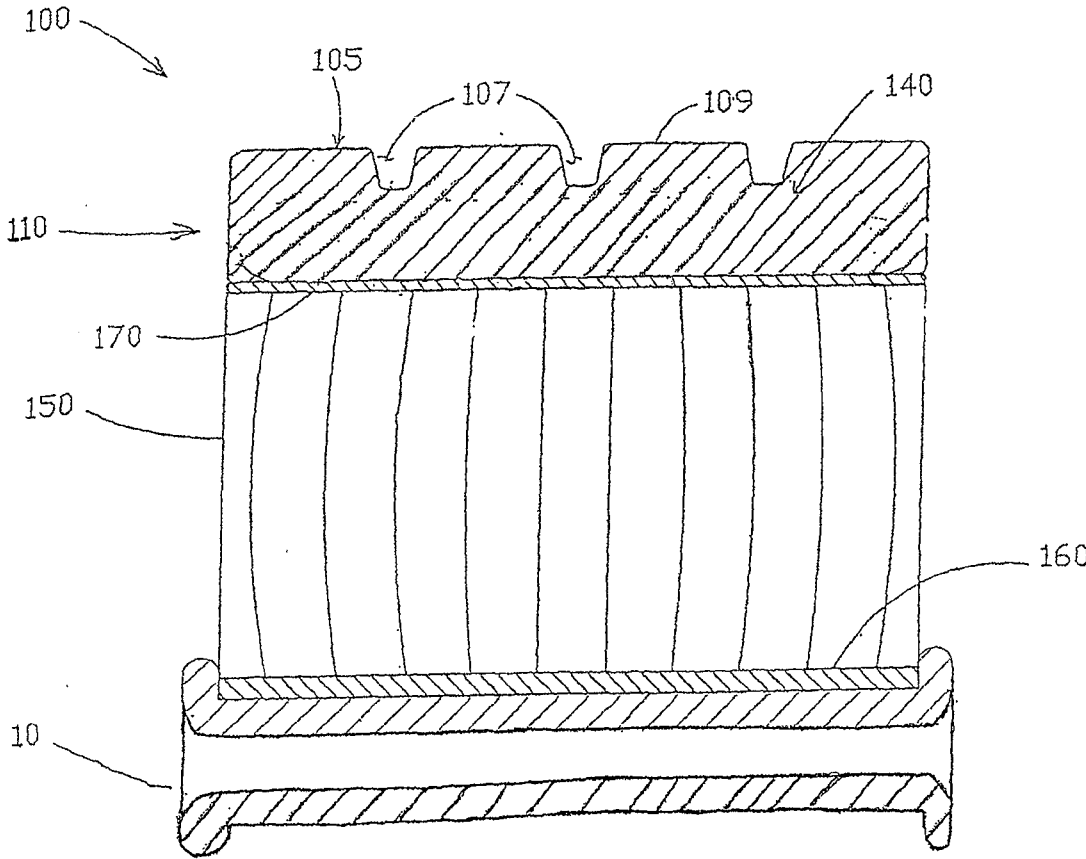


图3

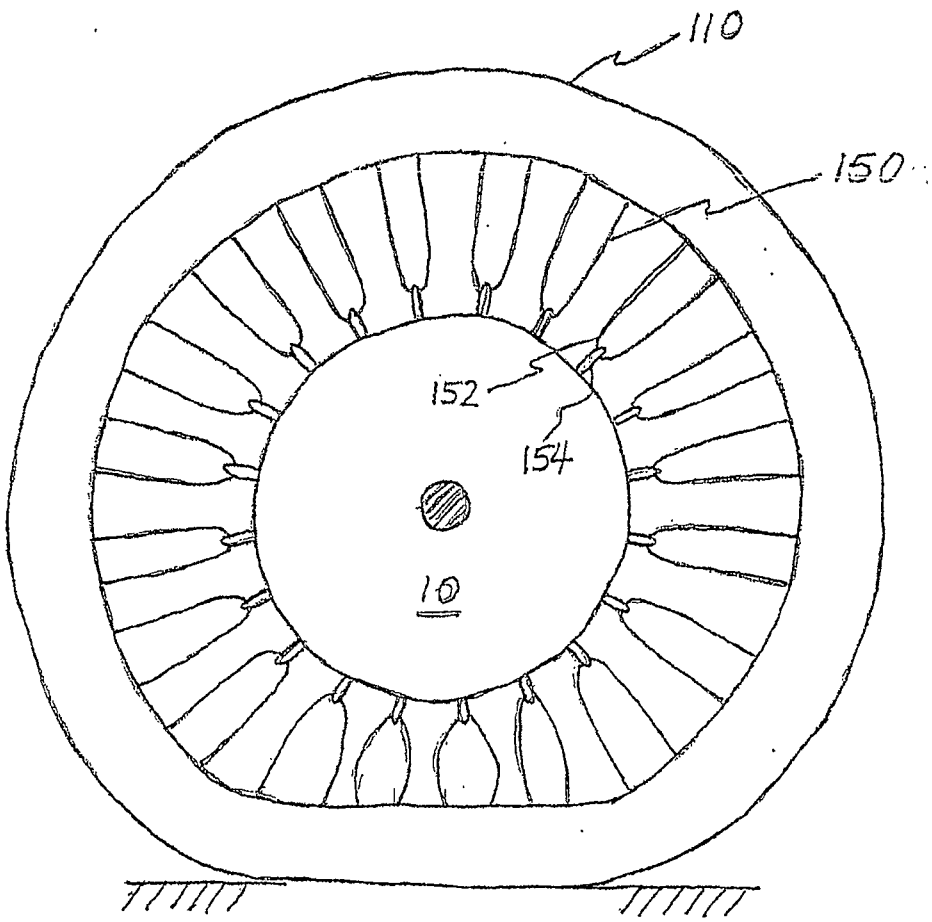
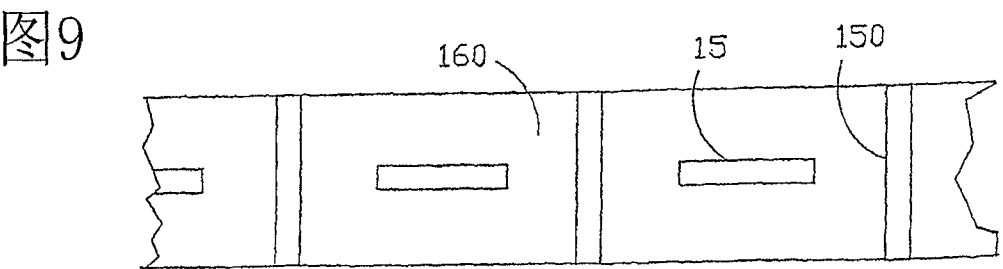
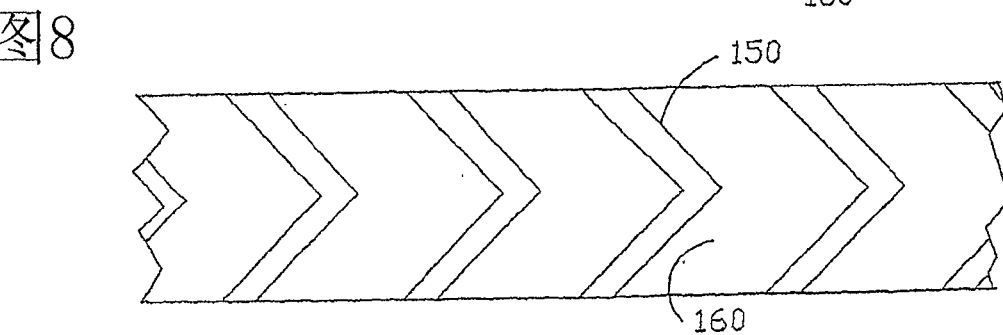
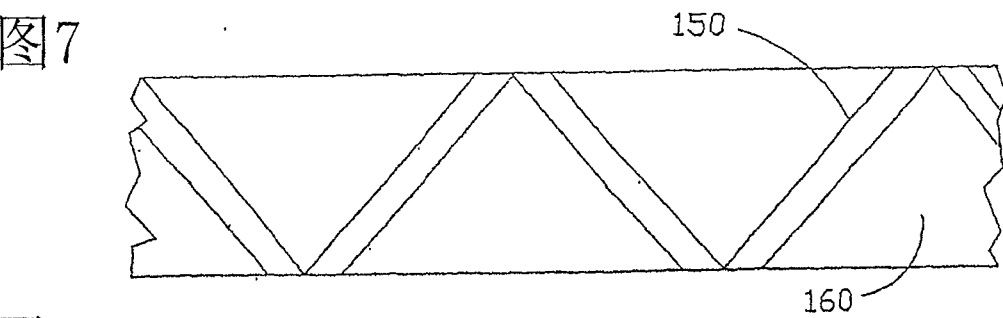
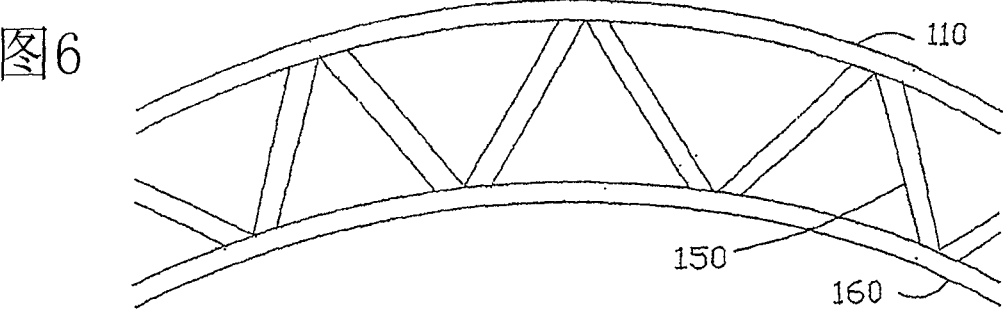
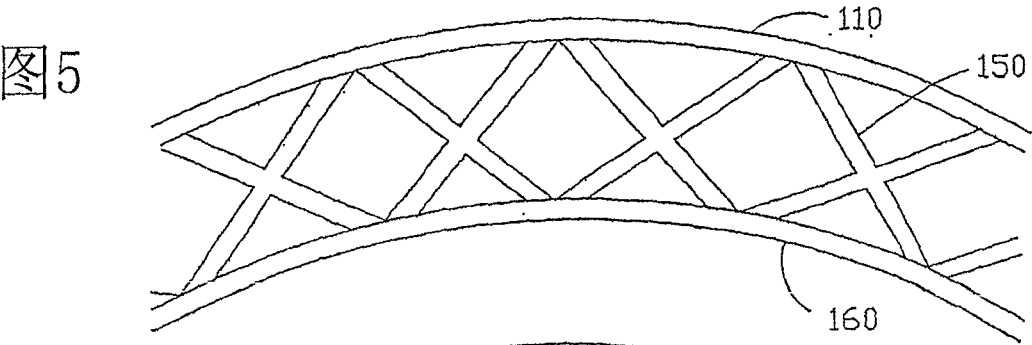


图4



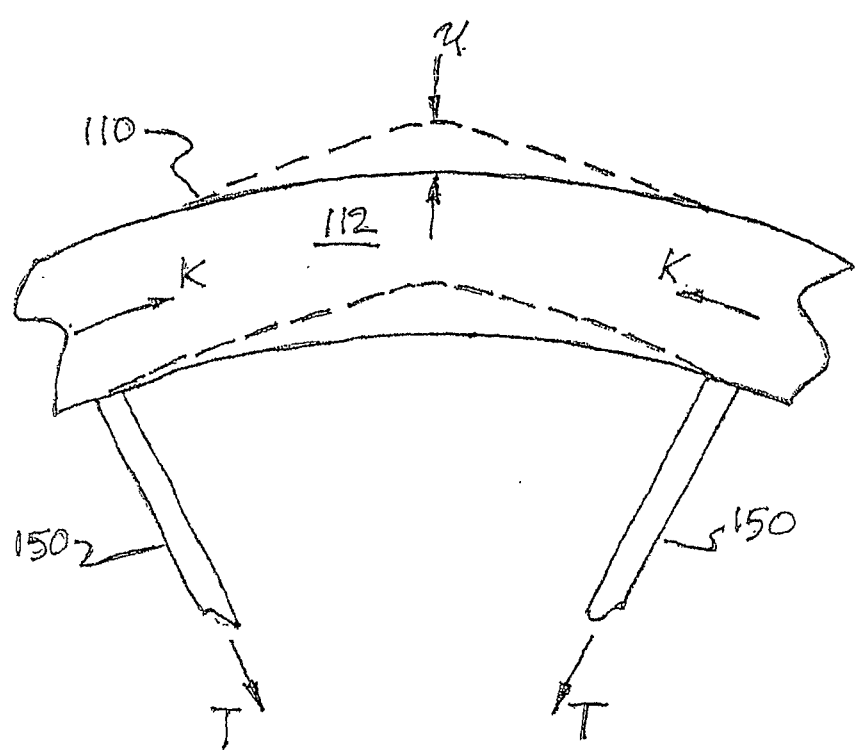


图10

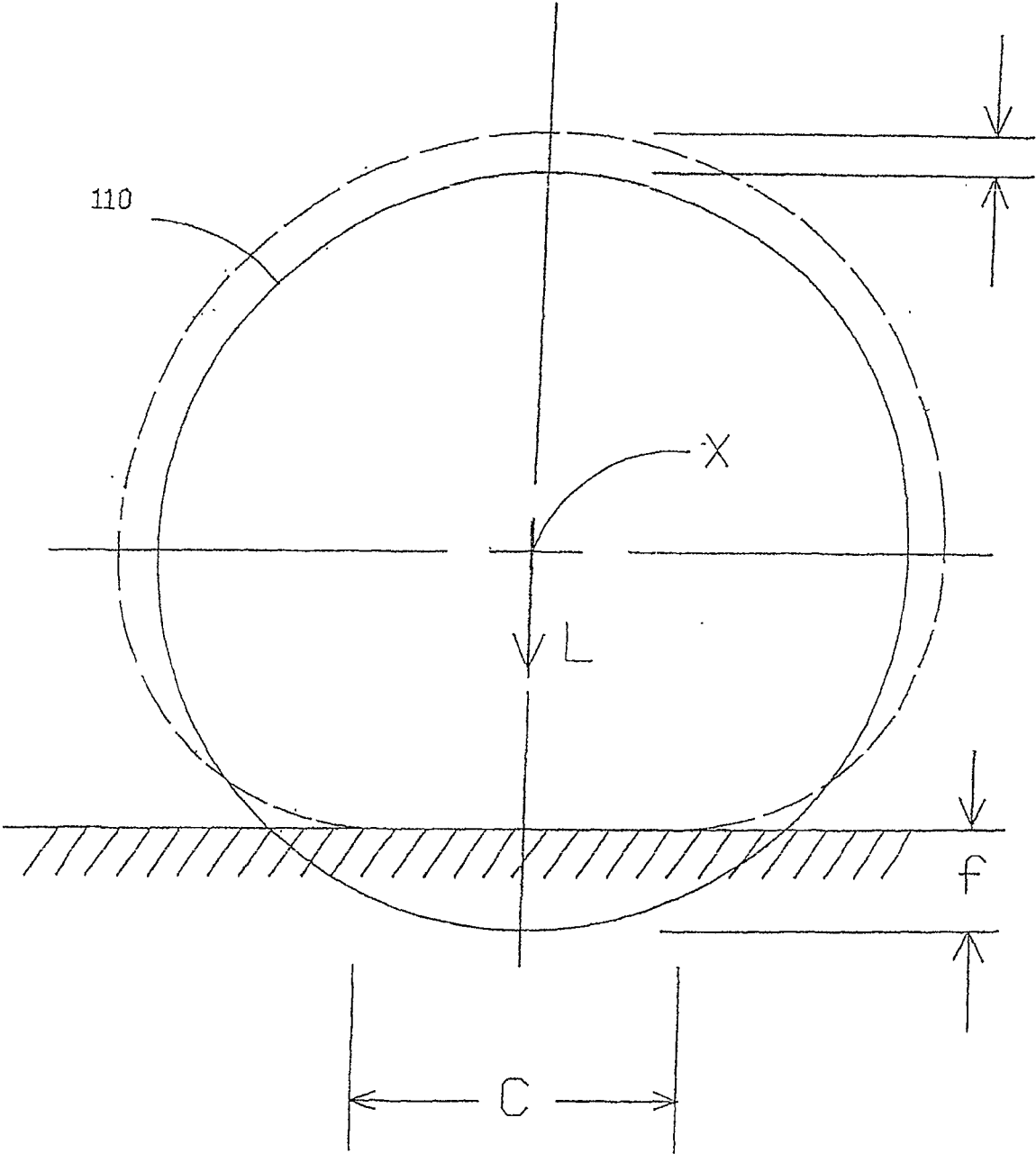


图11