



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108472915 A

(43)申请公布日 2018.08.31

(21)申请号 201680012101.8

(22)申请日 2016.01.09

(30)优先权数据

62/101,823 2015.01.09 US

62/118,819 2015.02.20 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.08.25

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/012765 2016.01.09

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/112364 EN 2016.07.14

(71)申请人 哈佛大学校董委员会

地址 美国马萨诸塞州

申请人 西门子加拿大有限公司

(72)发明人 马修·克里斯托弗·英尼斯

范明泉

法比安·恩里克·桑切斯·格雷罗

梅根·斯查恩泽 阿里·莎尼恩

埃弗利娜·史密斯-罗伯格

法拉德·加玮德 卡蒂亚·伯托蒂

(74)专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理

有限责任公司 11204

代理人 王达佐 洪欣

(51)Int.Cl.

B32B 3/26(2006.01)

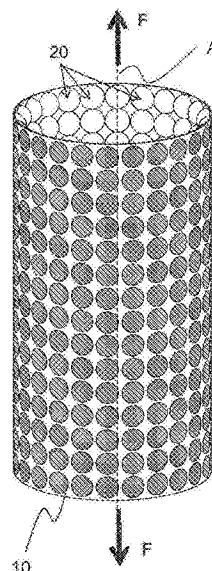
权利要求书3页 说明书6页 附图7页

(54)发明名称

零孔隙率NPR结构以及特定位置的NPR结构的调整

(57)摘要

本构思包括零孔隙率结构,其具有排布成提供负泊松比的多个结构元件,此外,生成负泊松比的新机制是单一材料、零孔隙率结构。本公开涉及片结构或其一个或多个子部分沿一个或多个轴从具有正泊松比(PPR)至负泊松比(“拉胀”结构)的转变。



1. 零孔隙率结构, 包含:
零孔隙率材料, 所述零孔隙率材料包含排布成提供负泊松比的多个结构元件。
2. 如权利要求1所述的零孔隙率结构,
其中所述结构元件至少包含第一多个结构元件, 所述第一多个结构元件配置成以第一方向离开所述材料的平面。
3. 如权利要求2所述的零孔隙率结构,
其中所述结构元件至少包含第二多个结构元件, 所述第二多个结构元件配置成以不同于所述第一方向的第二方向离开所述材料的平面。
4. 如权利要求3所述的零孔隙率结构,
其中所述第一方向是与所述材料的第一侧面垂直的方向, 以及
其中所述第二方向是与所述材料的第二侧面垂直的方向。
5. 如权利要求2所述的零孔隙率结构,
其中所述第一多个结构元件以至少一种平铺图案排布在所述材料上。
6. 如权利要求3所述的零孔隙率结构,
其中所述第一多个结构元件和所述第二多个结构元件以至少一种平铺图案排布在所述材料上。
7. 如权利要求1、2或5中任一项所述的零孔隙率结构,
其中所述第一多个结构元件中的至少一个包含球冠。
8. 如权利要求1、2或5中任一项所述的零孔隙率结构,
其中所述第一多个结构元件中的至少一个包含椭球结构。
9. 如权利要求1至6中任一项所述的零孔隙率结构,
其中所述第一多个结构元件中的至少一个或所述第二多个结构元件中的至少一个包含球冠。
10. 如权利要求1至6中任一项所述的零孔隙率结构,
其中所述第一多个结构元件中的至少一个或所述第二多个结构元件中的至少一个包含椭球结构。
11. 如权利要求1至6中任一项所述的零孔隙率结构,
其中所述第一多个结构元件中的至少一个或所述第二多个结构元件中的至少一个具有由以下函数限定的形状

$$z = f(x, y) = \exp \left(\delta \left[1 - \frac{1}{1 - \left| \frac{x}{a} \right|^\alpha - \left| \frac{y}{b} \right|^\beta} \right] \right)$$

其中

$$\left| \frac{x}{a} \right|^\alpha + \left| \frac{y}{b} \right|^\beta < 1$$

其中a和b控制 $f(x, y) = 0$ 平面中椭球的纵横比,
其中 δ 示出所述结构元件的最大深度, 以及
其中 α 、 β 改变平面外曲率。

12. 如权利要求11所述的零孔隙率结构，
其中所有所述第一多个结构元件的构型受所述函数限定。
13. 如权利要求12所述的零孔隙率结构，
其中所有所述第二多个结构元件的构型由所述函数限定。
14. 如权利要求1至13中任一项所述的零孔隙率结构，
其中所述结构的假性孔隙率为约50%或更高。
15. 如权利要求7或9所述的零孔隙率结构，
其中球冠结构元件的深度约为所述球冠结构元件的半径的一半。
16. 零孔隙率结构，包含：
第一材料部分，所述第一材料部分包含第一多个结构元件的第一平铺，以及
第二材料部分，所述第二材料部分包含第二多个结构元件的第二平铺，
其中所述第一平铺不同于所述第二平铺，以及
其中所述第一材料部分或所述第二材料部分中的至少一个，响应于各自的平铺构型，
提供预定的局部负泊松比或预定的整体负泊松比中的至少一项。
17. 如权利要求16所述的零孔隙率结构，
其中所述第一多个结构元件包含多个结构元件，所述多个结构元件配置成以第一方向
离开所述第一材料部分的平面。
18. 如权利要求17所述的零孔隙率结构，
其中所述第一多个结构元件包含多个结构元件，所述多个结构元件配置成以不同于所
述第一方向的第二方向离开所述第一材料部分的平面。
19. 如权利要求18所述的零孔隙率结构，
其中所述第一方向是与所述第一材料部分的第一侧面垂直的方向，以及
其中所述第二方向是与所述第一材料部分的第二侧面垂直的方向。
20. 如权利要求17所述的零孔隙率结构，
其中所述第二多个结构元件包含多个结构元件，所述多个结构元件配置成以所述第一
方向离开所述第二材料部分的平面。
21. 如权利要求20所述的零孔隙率结构，
其中所述第二多个结构元件包含多个结构元件，所述多个结构元件配置成以不同于所
述第一方向的所述第二方向离开所述第二材料部分的平面。
22. 如权利要求21所述的零孔隙率结构，
其中所述第一方向是与所述第二材料部分的第一侧面垂直的方向，以及
其中所述第二方向是与所述第二材料部分的第二侧面垂直的方向。
23. 如权利要求16至22中任一项所述的零孔隙率结构，
其中所述结构的假性孔隙率为约50%或更高。
24. 如权利要求16至22中任一项所述的零孔隙率结构，
其中所述第一多个结构元件中的至少一个包含球冠或椭球结构，以及
其中所述第二多个结构元件中的至少一个包含球冠或椭球结构。
25. 构建零孔隙率结构的方法，包括以下操作：
建立用于所述零孔隙率结构的设计约束，

在所述设计约束内确定包含具有一种或多种形状的多个结构元件的至少一种平铺图案,所述多个结构元件作为整体为所述结构提供最终的负泊松比,以及构建与所述确定的操作相符合的零孔隙率结构。

26. 如权利要求25所述的构建零孔隙率结构的方法,其中所述至少一种平铺图案包含多种平铺图案。

27. 如权利要求25所述的构建零孔隙率结构的方法,其中所述设计约束包含对所述结构元件的平面外尺寸、所述材料的厚度、或者所述结构元件的所述平面外尺寸与所述材料的所述厚度的组合的尺寸限定。

28. 如权利要求25所述的构建零孔隙率结构的方法,其中由所需的泊松比的负值至少部分地确定所述结构元件的形状。

29. 如权利要求28所述的构建零孔隙率结构的方法,其中由对所述零孔隙率结构的应用而言的最大容许应力至少部分地确定所述结构元件的形状。

30. 如权利要求27所述的构建零孔隙率结构的方法,其中由所述零孔隙率结构的局部曲率确定所述结构元件的平面外方向。

31. 如权利要求27所述的构建零孔隙率结构的方法,其中由所述零孔隙率结构的最大应力确定所述结构元件的形状。

零孔隙率NPR结构以及特定位置的NPR结构的调整

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2015年2月20日提交的第62/118,819号美国临时专利申请和于2015年1月9日提交的第62/101,823号美国临时专利申请的优先权,两篇临时专利申请以它们各自的整体通过引用并入本文。

技术领域

[0003] 本公开通常涉及具有负泊松比(“NPR”)的材料、以及使用这类材料的系统、方法和装置。

[0004] 背景

[0005] 当沿特定轴压缩材料时,最常观察到它们在正交于应用载荷的方向上延展。表征这种特性的性质是泊松比,泊松比可以定义为负的横向应变与纵向应变的比。多数材料的特征是正的泊松比,其对于橡胶而言为约0.5,并且对于玻璃和钢而言为约0.3。

[0006] 当具有负泊松比的材料在压缩(或拉伸)时,会在横向收缩(或延展),并且尽管原则上它们能够存在,但近期才证实了实际实例。表现负泊松比特性的材料常被称为“拉胀物”。许多调查结果表明,拉胀特性涉及到材料的微观结构与其形变之间的相互作用。发现具有立方晶格的金属、天然层状陶瓷、铁电多晶陶瓷和沸石均可以表现出负泊松比特性,从而提供了这种结果的实例。此外,已提出几种几何形状和机理以获得泊松比的负值,包括具有内凹(reentrant)结构的泡沫、分级层压制品、聚合物和金属泡沫。还使用由软光刻制造的复合结构在微米级证实了负泊松比效果,并且使用碳纳米管片组件在纳米级证实了负泊松比效果。

[0007] 第5,233,828号美国专利(“828专利”),Phillip D.Napoli,示出了用于高温应用的工程化结构部件(燃烧器衬里)的实例。燃烧器衬里通常用于燃气轮机的燃烧部分,但也可以用于燃气轮机的排气部分或其他部分,或者用于燃气轮机的组件,例如涡轮叶片。在运行中,燃烧器在极高的温度下(例如约3,000°F或更高)燃烧气体。为了防止这种剧热在排至涡轮机之前损坏燃烧器,将燃烧器衬里嵌入燃烧器以隔离周围的发动机。为了使横跨燃烧器衬里的温度和压力差最小化,通常提供冷却槽,如828专利所示。所述828专利示出了具有以连续图案布置、成角度穿过衬里壁的间隔冷却孔的环状燃烧器衬里的一部分。第8,066,482 B2号美国专利,James Page Strohl等人,示出了具有冷却孔的工程化结构部件的另一个实例,所述冷却孔成形为加强燃气轮机的期望区域的冷却并且降低冷却孔内和周围的应力水平。第EP 0971172 A1号欧洲专利,Dr. Jakob Keller,也示出了用于燃气轮机的燃烧区的有孔衬里的另一个实例。在另一个实例中,第2010/0009120 A1号美国专利申请出版物,Mary C.Boyce等人,公开了许多变化的周期性结构,其包括在施加临界宏观应力或应变时经历结构构型变化的弹性或弹塑性周期性固体(periodic solid)。PCT专利申请PCT/US2014/025324,哈佛大学校董委员会,特别公开了具有提供负泊松比特性的重复的细长孔的图案空隙结构。PCT专利申请PCT/US2014/024830,哈佛大学校董委员会,特别公开了具有工程化空隙结构的固体,该工程化空隙结构使在对该固体(具有正泊松比)施加应力时固体

表现出假性拉胀 (NPR) 特性。工程化空隙结构提供了用于例如涉及燃气轮机燃烧器的应用的孔隙率。为了所有目的,全部上述专利文件通过引用以它们各自的整体并入本文。

[0008] 发明概述

[0009] 本公开涉及片结构或其一个或多个子部分沿一个或多个轴从具有正泊松比 (PPR) 至负泊松比 (“拉胀”结构) 的转变。

[0010] 在本构思的至少一些方面,零孔隙率结构包含含有排布成提供负泊松比的多个结构元件的零孔隙率材料。在一些方面,所述结构包含片材料,例如但不限于钢片、带钢、金属片。在其他方面,所述结构可以包含但不限于铸造金属或电镀金属。在另外其他方面,所述结构可以包含其他形状因素和材料,包含但不限于复合材料、聚合物和金属合金。

[0011] 在本构思的至少一些其他方面,零孔隙率结构包含第一材料部分和第二材料部分,所述第一材料部分含有第一多个结构元件的第一平铺,以及所述第二材料部分含有第二多个结构元件的第二平铺,其中所述第一平铺与所述第二平铺不同,并且其中所述第一材料部分或第二材料部分中的至少一个,响应于各自的平铺构型,提供预定的局部负泊松比或预定的整体负泊松比中的至少一项。

[0012] 在本构思的另外其他方面,构建零孔隙率结构的方法包括以下操作:建立用于零孔隙率结构的设计约束,并且在所述设计约束内确定包含具有一种或多种形状的多个结构元件的至少一种平铺图案,所述多个结构元件作为整体为结构提供最终的负泊松比。所述方法还包括构建与确定的操作相符合的零孔隙率结构的操作。

[0013] 在本构思的另一个方面,零孔隙率结构包含在其中形成限定的多个结构元件的薄壁结构,所述结构元件可以包括球冠,或者可以由以下函数限定

$$[0014] \quad z = f(x, y) = \exp \left(\delta \left[1 - \frac{1}{1 - \left| \frac{x}{a} \right|^\alpha - \left| \frac{y}{b} \right|^\beta} \right] \right)$$

[0015] 受限于:

$$[0016] \quad \left| \frac{x}{a} \right|^\alpha + \left| \frac{y}{b} \right|^\beta < 1$$

[0017] 其中a和b控制在 $f(x, y) = 0$ 平面中椭球的纵横比, δ 示出结构元件的最大深度,并且 α 、 β 改变平面外曲率,并且其中所述结构元件作为整体为结构提供负泊松比。

[0018] 以上概述并非旨在表示本公开的各个实施方案或每个方面。相反,本概述仅提供了对本文提出的一些新特征的示例。当结合附图和所附权利要求时,由以下用于实施本发明的示例实施方案和模式的详述,本公开的上述特征和优点、以及其他特征和优点将会显而易见。

[0019] 附图简述

[0020] 图1 (a) 分别示出了根据本公开的至少一些方面的利用以相同方向离开片的平面的多个结构元件来构图的片的轴测图 (isometric) 和侧面图。

[0021] 图1 (b) 分别示出了根据本公开的至少一些方面的利用具有不同 (例如,如所示的交替) 凹面的多个结构元件来构图的片的轴测图和侧面图。

[0022] 图1 (c) 示出了根据图1 (b) 的片的不同表现形式,其中该片利用具有不同 (例如,如所示的交替) 凹面的一系列结构元件来构图。

[0023] 图1 (d) 示出了根据本公开的至少一些方面的利用一系列向内指向的结构元件来构图的管状薄壁结构。

[0024] 图2 (a) -2 (h) 示出了根据本公开的至少一些方面的用于含有多个结构元件的片例如图1 (a) -1 (d) 所示的片的多种非限定性平铺图案。

[0025] 虽然本公开的方面容易受到各种修改和替代形式影响,但附图中通过实例示出了具体的实施方案,并且将在本文详细描述。然而,应理解,本发明并非旨在限于所公开的特定形式。相反,本发明涵盖落入由所附权利要求限定的发明主旨和范围内的所有修改、等同形式以及替代形式。

[0026] 详述

[0027] 本文的附图和描述提供了本发明的典型实施方案,应理解,认为本公开是本发明原理的示例,并非旨在使本发明的广义方面限于所例示的实施方案。在此程度上,在例如摘要、概述和详述部分中公开、但未在权利要求中明确阐述的要素和限定,不应通过暗示、推理或其他方式单独或全体地并入权利要求。

[0028] 为了本详述的目的,除非明确地否定:单数包括复数,反之亦然;词语“和”和“或”应是连接 (conjunctive) 和析取 (disjunctive);词语“全部”意指“任何和全部”;词语“任何”意指“任何和全部”;并且词语“包括”和“包含”意指“包含但不限于”。此外,近似的词语,例如“约”、“几乎”、“基本上”、“近似”等,在本文可以以例如“在、接近、或近似于”或“...的 3-5%内”或“在可接受的制造公差内”或它们的任何合理的组合的含义使用。

[0029] 本公开的方面涉及具有多个结构元件的结构,所述多个结构元件例如但不限于,形成于图案中的凹状和/或凸状结构或“浅凹 (dimple)”,作为整体提供局部和/或整体的负泊松比 (NPR) 或拉胀特性。

[0030] 例如在WO 2014/151045 A1和US 2011/0059291 A1,为了所有目的通过引用以它们各自的整体并入本文,公开并描述的那些NPR结构的类型相反,本文公开的NPR结构不具有孔隙率。

[0031] 图1 (a) -1 (b) 分别表示以下的轴测图和侧面图:(a) 用以相同方向离开材料的平面的多个结构元件20 (例如,“浅凹”) 构图的结构10 (例如,片材料等),以及 (b) 用配置成以第一方向 (例如,垂直于片的平面,等) 离开材料的平面的第一多个结构元件20和配置成以第二方向 (例如,以与第一方向相反的方向垂直于片的平面,等) 离开材料的平面的第二多个结构元件20' 构图的结构10。

[0032] 在各方面,结构包括适用于具体应用的金属 (铝、钢) 和/或合金。例如,在某些高温应用中,适合的材料可以包含但不限于“超合金”,例如镍基超合金 (例如,Inconel (例如 IN100、IN600、IN713)、Waspaloy、Rene合金 (例如Rene 41、Rene 80、Rene 95、Rene N5)、Haynes合金、Incoloy、MP98T、TMS合金和CMSX (例如CMSX-4) 单晶合金,等)。

[0033] 结构元件20或不同结构元件的组合 (例如,20、20') 使基础结构10响应于沿一个或多个轴作用的应力,例如但不限于图1 (a) 或图1 (d) 中表示的拉力F,从正泊松比 (PPR) 转变为负泊松比 (NPR)。

[0034] 如图1 (b) 所示,第一结构元件20和第二结构元件20' 以交替的关系示出。然而,这种示例性排布是非限定性的,并且本构思明确地包括本文公开的提供负泊松比 (NPR) 的一种或多种结构元件的任何平铺排布。例如,图2 (a) -2 (h) 示出了另外的用于含有多个结构元

件的片的非限定性平铺图案。

[0035] 图1 (c) 示出了图1 (b) 的片的不同表现形式, 其中所述片用以第一方向 (例如, 垂直于片的平面等) 离开或延伸超出结构10的平面的第一结构元件20 (如白色圆形所示) 和以第二方向 (例如, 以与第一方向相反的方向垂直于片的平面等) 离开或延伸超出材料的平面的第二结构元件20' (如阴影圆形所示) 来构图。

[0036] 白色圆形和阴影圆形的规约将在图1 (d) 和图2 (a) -2 (h) 中进一步使用, 以分别直观地表示以不同方向 (例如, 相反方向) 离开结构10的平面的结构元件20、20'。例如, 根据具体的参照系, 白色圆形表示凸状结构, 根据该相同有利的参照系, 阴影圆形表示凹状结构。

[0037] 图1 (d) 示出了形成圆筒形并且用以相同方向 (向内朝向所示实例中的圆筒的中心轴“A”) 离开片的平面的多个结构元件20 (例如, 浅凹) 来构图的结构10的实例。在所述构型中, 由于结构元件, 形成的结构10具有负泊松比 (NPR), 而不是正泊松比 (PPR)。

[0038] 在至少一些方面, 图1 (a) -1 (d) 中的结构元件20、20' 包含球冠。如本文定义的, “球冠” 是指沿给定平面切割球面所得的部分之一。在图1 (a) -1 (d) 中示出的实例中, 为了例示的目的, 球冠结构元件20、20' 用任意选择的截面、深度和平面外曲线示出, 并且这些参数可以根据本构思的各方面进行变化。具体地, 当例示的实例显示结构元件20和20' 一致时 (即, 实例均显示球冠结构元件), 本构思明确包括在结构10的一侧或两侧使用不同的结构元件 (例如, 球冠、类球冠或椭球冠)。结构元件可以包含, 例如, 全部椭球结构元件、不同结构元件的组合, 例如球冠结构元件与椭球结构元件的组合。对于任何这些结构元件, 结构元件可以在深度、纵横比和倾斜陡度等设计变量上变化。

[0039] 然而, 结构元件20、20' 可以排布成不同的形状, 包括三角形、正方形、长菱形和六边形的格。在所有情况下, 结构元件20、20' 可以自材料的一侧或两侧延伸, 所述材料可以包含平面片材料或弯曲材料或曲线型材料。图2 (a) -2 (h) 中例示出了结构元件20、20' 的一些非限定性排布。然而, 应注意, 并不是所有这些平铺图案一定导致整体的NPR特性。相反, 有利地利用一些平铺图案以在结构的位移区生成收缩或延展的特定图案。如在上述情况下, 这类结构元件 (例如, 浅凹等) 不限于球冠, 而是可以在深度、纵横比和倾斜陡度等特征上有很大变化。

[0040] 如上参照图1 (a) 所提到的, 本构思的一个方面包含以相同方向离开结构10的平面的相同结构元件20的方形格。在经受诸如通过轴向力F表示的载荷时, 图1 (a) 的结构在诸如图1 (d) 中所示的圆筒形结构中表现出拉胀特性。另一方面, 图1 (b) 和图1 (c) 的结构在单轴载荷下在平面结构中显示出NPR特性。

[0041] 虽然截面、深度和/或平面外曲线可以根据本构思显著地变化, 但不是所有可能的组合均导致NPR特性。在其中材料的厚度比其他尺寸小约10倍的薄壳结构中观察到了NPR特性。在发明人进行的模拟中, 观察到如果结构元件 (例如, 球冠) 的截面的半径比板厚度小10倍, 则NPR特性消失。还确定了结构元件的截面积需要覆盖大面积的材料表面 (例如, 通常大于约50%)。结构元件的假性孔隙率可以定义为结构元件的截面积的总和 (A_{SE}) 与整个结构的面积 (A_S) 的比 (即, 假性孔隙率 = A_{SE}/A_S)。在局部区域 (例如, 单位晶格) 中, 假性孔隙率可以理解为结构元件之一 (例如, 图1 (c) 中示出的白色圆形) 的面积与围绕它的假想几何元件 (例如, 正方形) 例如图1 (c) 中由虚线正方形25所示的面积之比。对于球形结构元件, 结构的假性孔隙率期望为约50%或更高, 以确保NPR特性。最后, 注意到, 结构元件的深度也可以影

响NPR特性。例如,在球形结构元件中,结构元件的深度的最优值为约结构元件的半径的一半。

[0042] 如上文所指出,结构元件可以假定多种形状(包括对于给定材料或材料的子部分的多种形状),并且可以进行优化以赋予材料或其子部分期望的机械性质。除了上述诸如球冠和类球冠的几何形状之外,可以使用许多不同的函数来建立结构元件轮廓。例如,可以使用以下函数来生成结构元件:

$$[0043] \quad z = f(x, y) = \exp \left(\delta \left[1 - \frac{1}{1 - \left| \frac{x}{a} \right|^\alpha - \left| \frac{y}{b} \right|^\beta} \right] \right)$$

[0044] 受限于:

$$[0045] \quad \left| \frac{x}{a} \right|^\alpha + \left| \frac{y}{b} \right|^\beta < 1$$

[0046] 然后将这种结构元件平铺至平面上,以便实现期望的结构元件构型。或者,该结构元件可以在平面上平铺并且交替地倒转,以便实现期望的结构元件构型。在上文提出的函数中,a和b控制 $f(x, y) = 0$ 平面中椭球的纵横比, δ 示出结构元件的(例如,浅凹的)最大深度,并且 α 、 β 改变平面外曲率。NPR结构可以采用特征为结构元件享有与使用上述函数可建立的结构元件类似的形状的任何材料的形式。

[0047] 所提出的结构的主要优点在于它们的无孔性以及可在可控位移的载荷下表现出的低应力值。由于所公开的零孔隙率NPR材料是无孔的,并且不允许流体通过,因此它们是用于其中孔隙率不利的任何结构的优秀候选者,所述孔隙率不利的结构例如但不限于,涡轮组件、热交换器、管道、支撑件、飞机机身(fuselages)、机动车或车辆组件、或经受机械载荷和/或热载荷的任何其他结构或组件。

[0048] 此外,平铺图案可以沿着具体材料或结构改变,以提供调整的局部拉胀特性,并且调节优化其中在结构的不同部分需要不同特性的更复杂应用。例如,具体的结构元件(例如,燃气轮机燃烧器组件、燃烧器衬里等)可以包含:具有第一平铺图案的第一材料部分,其中第一平铺图案包含一种或多种不同的结构元件类型(例如,排布、形状、密度、深度等);具有第二平铺图案的第二材料部分,其中第二平铺图案包含一种或多种不同的结构元件类型;具有第三平铺图案的第三材料部分,其中第三平铺图案包含一种或多种不同的结构元件类型;至具有第n平铺图案的第n材料部分,其中第n平铺图案包含一种或多种不同的结构元件类型。

[0049] 所公开的结构在位移可控情况下显示出非常低的应力值,并且表明相对高的结构刚度,这使得它们成为用于负载可控和位移可控的载荷条件的非常好的候选者。

[0050] 关于选择具体的结构元件、平铺和形状的方法,这类方法主要受外部设计约束启示。以下一般构思本质上不旨在是限定性的,而是公开以例示对设计方法的一些考虑。一些最初的考虑通常是对结构元件的平面外尺寸(例如,深度或高度)和材料(例如,金属片等)的厚度的尺寸限定。结构元件的形状类型(例如,不管是球形、椭球形还是另外的形状)由以下确定:(1)需要的泊松比的负值,以及(2)对应用而言的最大容许应力。如果需要非常低的负PR,相较于球形结构元件优选椭球结构元件。另外,结构的局部形状(例如,圆筒、平面、弯曲等)会影响结构元件在该位置和/或平铺图案中离开材料平面的方向。如果最大应力是对

结构的设计的主要因素,则优选球形浅凹。基于以上考虑,确定结构元件的微观结构的尺寸(如同确定其间距一样)以实现必要的局部和整体的泊松比。当然,鉴于可用的设计信息和施加的约束,可以根据本构思自由地改变操作顺序。纯粹为了例示的目的,本构思甚至包括反复试验优化技术,其中将多种平铺图案、结构元件形状和结构元件方向反复应用于具体结构,以确定结构元件特征和布置的最优组合,从而得到期望的局部和/或整体的NPR特性。

[0051] 虽然关于多种图案或平铺公开本构思,但本构思不限于图案或平铺的使用。例如,本构思甚至可以有利地采用局部或整体的随机分布,进行局部或整体的约束(容许应力、载荷、卸载、峰值应力等),以实现期望的局部或整体的NPR。因此,在材料的给定区域中,结构元件的位置可以以产生不对称图案并且得到期望的整体局部NPR的方式进行布置。

[0052] 这些实施方案中的每一个及其明显的变体被认为落入要求保护的发明的主旨和范围内,所述主旨和范围在以下权利要求中阐述。此外,本构思明确包括前述要素和方面的任何和全部的组合及子组合。

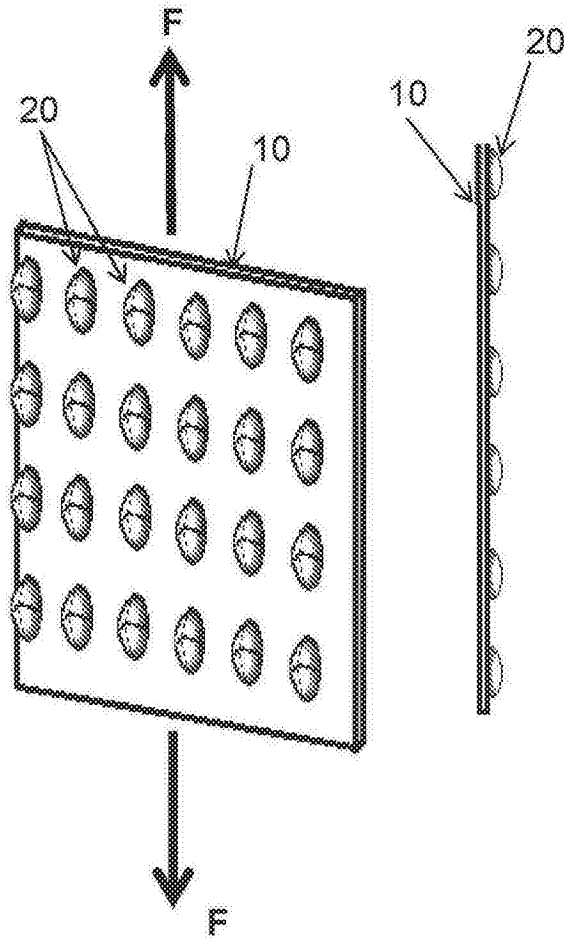


图1(a)

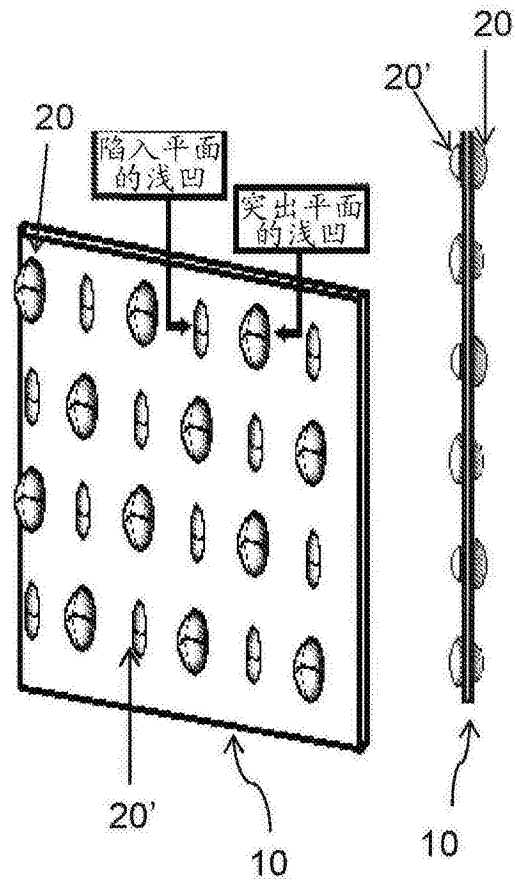


图1 (b)

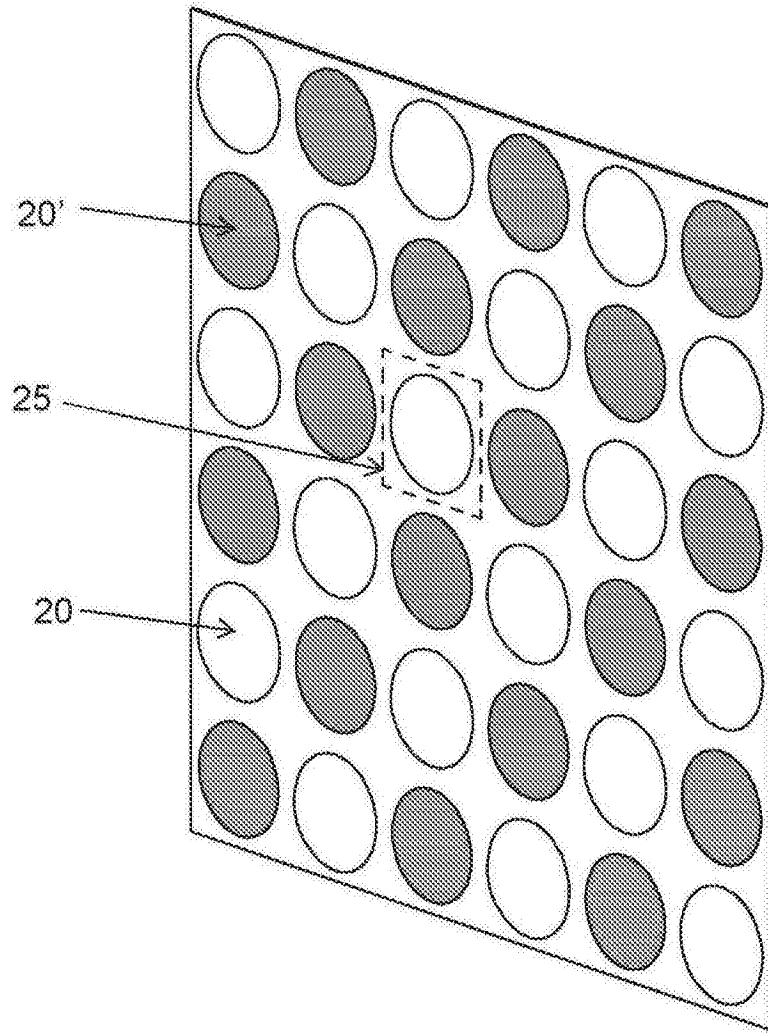


图1(c)

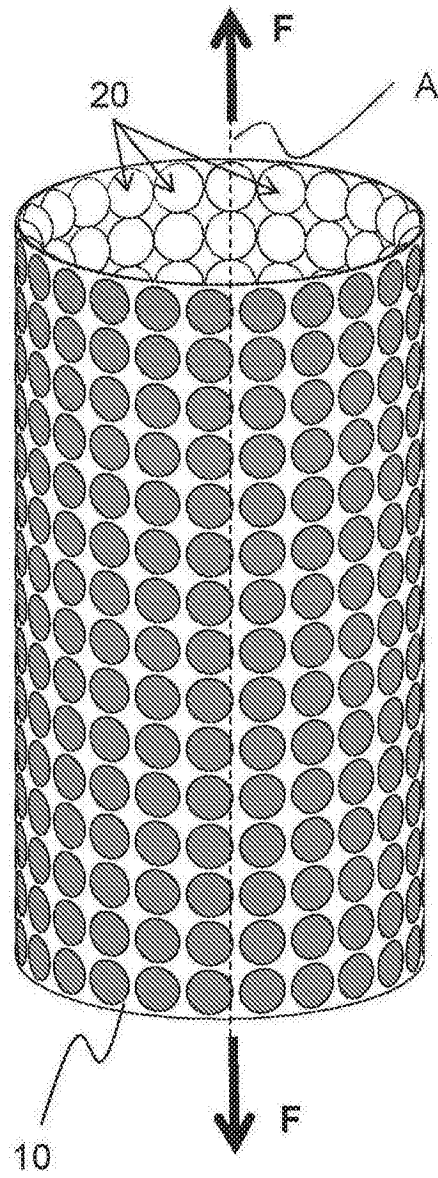


图1 (d)

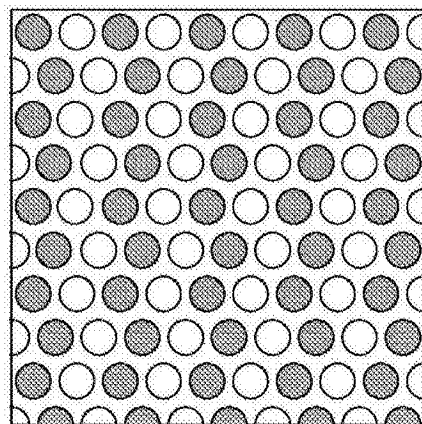


图2 (a)

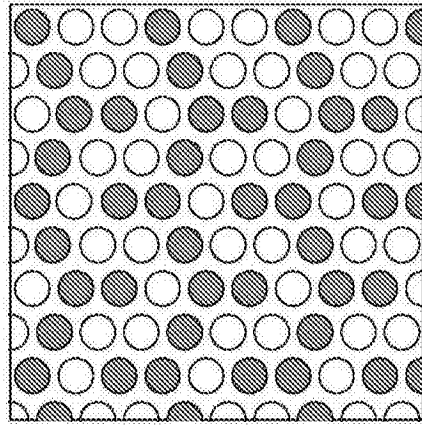


图2 (b)

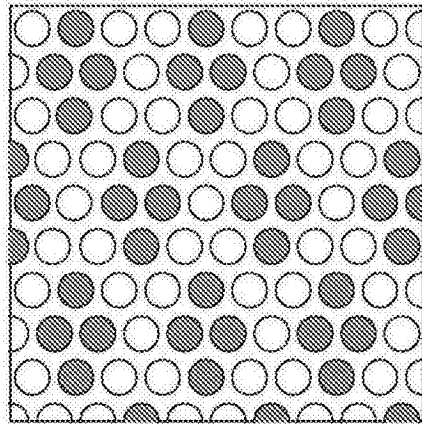


图2 (c)

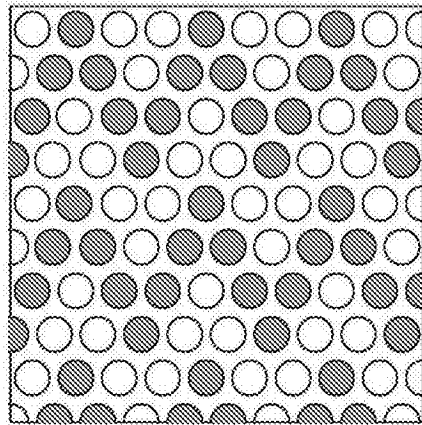


图2 (d)

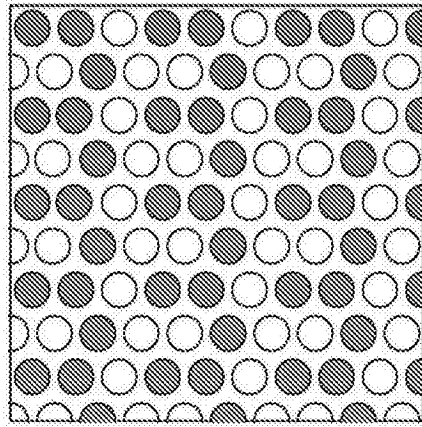


图2(e)

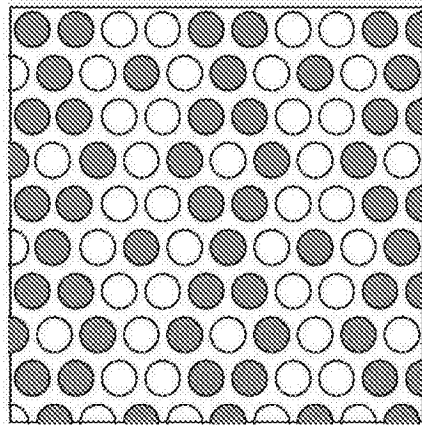


图2(f)

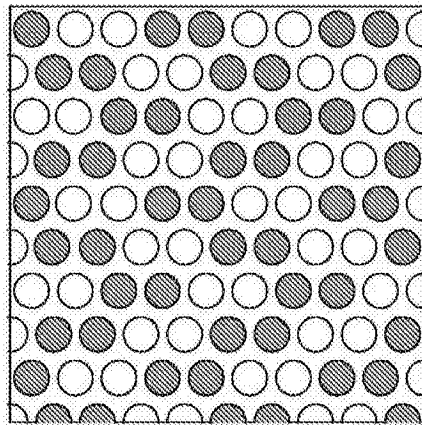


图2(g)

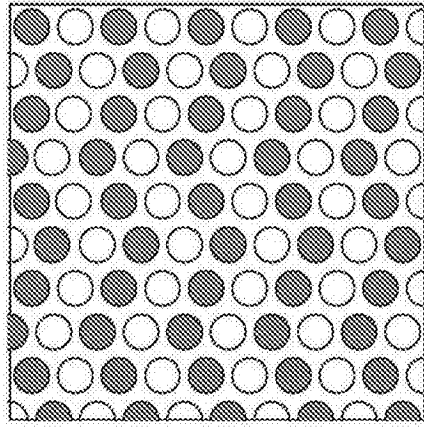


图2 (h)