



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110529480 B

(45) 授权公告日 2024. 02. 27

(21) 申请号 201910940684.6

(22) 申请日 2019.09.30

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110529480 A

(43) 申请公布日 2019.12.03

(73) 专利权人 南京工业大学

地址 210000 江苏省南京市浦口区浦珠南路30号8020信箱32分箱

(72) 发明人 张相玉 任鑫

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所

(普通合伙) 32249

专利代理师 徐激波

(51) Int. Cl.

F16B 13/06 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 109210054 A, 2019.01.15

CN 202450745 U, 2012.09.26

CN 206972714 U, 2018.02.06

CN 210660921 U, 2020.06.02

JP 2003042110 A, 2003.02.13

US 2005079033 A1, 2005.04.14

审查员 南楠

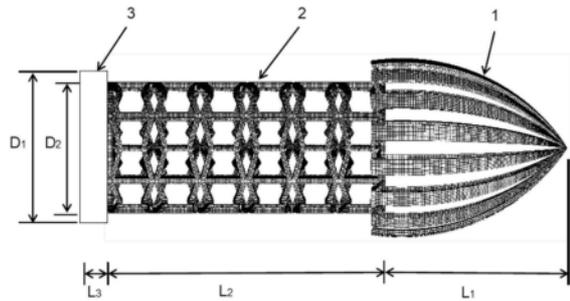
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种具有多重负泊松比效应的多功能紧固件及其设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种具有多重负泊松比效应的多功能紧固件及其设计方法,包括紧固件顶部、紧固件圆管部分和紧固件尾部;所述紧固件顶部为若干个均匀分布的负泊松比弧形内凹结构;每个弧形的内凹角最外侧距圆管外侧的距离为  $(D_3 - D_2) / 2$ ,它与圆管外径的关系满足:  $D_2 / 20 \leq (D_3 - D_2) / 2 \leq D_2 / 8$ ,且  $2\text{mm} \leq (D_3 - D_2) / 2$ ;每个弧形内凹角  $\theta$  的范围为  $50^\circ \sim 70^\circ$ ;所述紧固件顶部弧形内凹杆件个数  $N_1$  满足:  $9 \leq N_1 \leq 25$ ;所述紧固件圆管部分由负泊松比的外部圆管及负泊松比的支撑结构组合形成,所述外部圆管沿圆周方向负泊松比单元个数  $N_2$  应满足:  $N_2 \geq 6$  且  $N_2$  为偶数。本发明紧固件具有很好的固定和防松脱的作用。



1. 一种具有多重负泊松比效应的多功能紧固件,其特征在于:包括紧固件顶部、紧固件圆管部分和紧固件尾部;

所述紧固件顶部为若干个均匀分布的负泊松比弧形内凹结构;每个弧形的内凹角最外侧距中和轴的距离为 $D_3$ ,圆管部分外径为 $D_2$ ,每个弧形的内凹角最外侧距圆管外侧的距离为 $(D_3-D_2)/2$ ,它与圆管部分外径的关系满足: $D_2/20 \leq (D_3-D_2)/2 \leq D_2/8$ ,且 $2\text{mm} \leq (D_3-D_2)/2$ ;每个弧形内凹角 $\theta$ 的范围为 $50^\circ \sim 70^\circ$ ;

所述紧固件顶部弧形内凹杆件个数 $N_1$ 满足: $9 \leq N_1 \leq 25$ ;

所述紧固件圆管部分由负泊松比的外部圆管及负泊松比的支撑结构组合形成,所述外部圆管沿圆周方向负泊松比单元个数 $N_2$ 应满足: $N_2 \geq 6$ 且 $N_2$ 为偶数;

所述外部圆管沿圆周方向负泊松比单元个数 $N_2$ 与支撑结构中相邻单元夹角 $\alpha$ 之间的关系满足: $\alpha = 360^\circ / N_2$ ;

所述外部圆管和支撑结构的厚度 $D_2/2 - R_1$ 应满足: $D_2/16 \leq D_2/2 - R_1 \leq D_2/8$ , $R_1$ 为圆管部分内径;

所述紧固件顶部长度 $L_1$ 及紧固件圆管部分长度 $L_2$ 之间的关系满足: $0.8 \leq L_2/L_1 \leq 2.5$ ;

所述紧固件尾部的功能部分直径 $D_1$ 与紧固件圆管部分外径 $D_2$ 的关系满足: $1.1 \leq D_1/D_2$ ;

所述紧固件尾部的功能部分直径 $D_1$ 与紧固件尾部的功能部分长度 $L_3$ 的关系满足: $3.5 \leq D_1/L_3 \leq 10.3$ ;

所述外部圆管和支撑结构的负泊松比结构为内凹六边形、内凹三角形、手性结构或旋转多边形结构;

所述紧固件尾部的功能部分设计为圆盘、圆勾形状、卡口形状或凹槽形状。

2. 根据权利要求1所述的一种具有多重负泊松比效应的多功能紧固件的设计方法,其特征在于:包括以下步骤:

1) 根据紧固件的用途及推入孔洞的大小确定紧固件顶部的基本尺寸,包括紧固件顶部的内凹角度、内凹结构分布数量和角度;

2) 按照使用要求设计紧固件圆管部分长度及圆管外径;

3) 根据已确定的尺寸对紧固件顶部、紧固件圆管部分进行细部尺寸组合设计和优化,以保证紧固件的变形特性、负泊松比特性以及足够的强度;

4) 然后根据紧固件的使用需求设计紧固件尾部的功能部分;

5) 采用3D打印技术制作出具有多重负泊松比效应的紧固件。

## 一种具有多重负泊松比效应的多功能紧固件及其设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种通过利用负泊松比结构生成头部和管状部分具有多重负泊松比特性的紧固件,并提出了该具有多重负泊松比效应的紧固件的设计方法,属于新材料和新结构领域。

### 背景技术

[0002] 泊松比又称横向变形系数,是表征材料在轴向受力时其横向变形的参数。生活中常见的材料都具有正的泊松比,即受压时横向膨胀,受拉时横向收缩。而具有负泊松比特性的材料与之相反,在受压时其横向发生收缩而受拉时横向发生膨胀,因此负泊松比材料也被称为拉胀材料。负泊松比材料在某些力学特性方面比传统的正泊松比材料更加优异,如抗剪承载力、抗断裂性能、吸能耗能能力、抗凹陷性能等。因此负泊松比材料具有很广阔的应用前景,尤其是与传统工业设计的结合,有助于带来工业设计和产业的革新。

[0003] 负泊松比材料常常具有多孔的微结构,对制造的精度也要求更高。传统的制造技术很难达到其精度和复杂程度。而3D打印技术,亦被称为增材制造技术,摆脱了传统制造技术对复杂结构制作工艺的限制,可以打印出形状复杂多变的各类材料。因此将复杂多变的多重负泊松比结构和先进的3D打印技术相结合生产出具有实际应用价值的负泊松比工业产品具有现实意义。

[0004] 本发明根据用途,对紧固件各组成部分的负泊松比结构进行组合设计,且将3D打印制造工艺引入到复杂多变的多重负泊松比紧固件的制造中,可以实现复杂紧固件的一体化成型。这种紧固件由于头部内凹角的设计,在推入时头部会发生整体收缩,使尖端部分很容易推入;而在拔出时,头部的阻力以及管状部分膨胀变形产生的摩擦力有效的防止了紧固件的向外滑动。因此,该紧固件结构设计合理,且制造方便、轻便美观、节约材料的优点,具有重要的工程意义和一定的应用价值。

### 发明内容

[0005] 为了改进现有紧固件设计,本发明目的是提出一种结构设计合理、更易推入更难拔出、防松脱效果更优、制造成本更低、更加轻便美观的一体化紧固件及其设计方法。

[0006] 本发明采用的技术方案为:一种具有多重负泊松比效应的多功能紧固件,包括紧固件顶部、紧固件圆管部分和紧固件尾部;

[0007] 所述紧固件顶部为若干个均匀分布的负泊松比弧形内凹结构,可以保证头部受到挤压时,侧向能够发生均匀的收缩,使紧固件很容易被推入;

[0008] 每个弧形的内凹角最外侧距中和轴的距离为 $D_3$ ,圆管部分外径为 $D_2$ ,每个弧形的内凹角最外侧距圆管外侧的距离为 $(D_3 - D_2) / 2$ ,它与圆管部分外径的关系满足: $D_2 / 20 \leq (D_3 - D_2) / 2 \leq D_2 / 8$ ,且 $2\text{mm} \leq (D_3 - D_2) / 2$ ;顶部分布式的弧形结构保证了头部的负泊松比特性,每个弧形内凹角 $\theta$ 的范围为 $50^\circ \sim 70^\circ$ ;

[0009] 所述紧固件顶部弧形内凹杆件个数 $N_1$ 满足: $9 \leq N_1 \leq 25$ ;

[0010] 所述紧固件圆管部分由负泊松比的外部圆管及负泊松比的支撑结构组合形成,受到轴向力作用时,管状结构和支撑结构会拉胀压缩,圆管和支撑结构会发生组合变形,产生巨大的负泊松比特性;为保证整体变形和变形均匀性,所述外部圆管沿圆周方向负泊松比单元个数 $N_2$ 应满足: $N_2 \geq 6$ 且 $N_2$ 为偶数;

[0011] 为使支撑与外部圆管协同变形且不影响外部圆管的整体变形,支撑结构应当与圆管沿周长方向相邻单元的连接处进行结合。所述外部圆管沿圆周方向负泊松比单元个数 $N_2$ 与支撑结构中相邻单元夹角 $\alpha$ 之间的关系满足: $\alpha = 360^\circ / N_2$ ;

[0012] 为保证圆管部分的刚度和变形特性,所述外部圆管和支撑结构的厚度 $D_2/2 - R_1$ 应满足: $D_2/16 \leq D_2/2 - R_1 \leq D_2/8$ , $R_1$ 为圆管部分内径;

[0013] 所述紧固件顶部长度 $L_1$ 及紧固件圆管部分长度 $L_2$ 之间的关系满足: $0.8 \leq L_2/L_1 \leq 2.5$ ;

[0014] 所述紧固件尾部的功能部分直径 $D_1$ 与紧固件圆管部分外径 $D_2$ 的关系满足: $1.1 \leq D_1/D_2$ ;

[0015] 所述紧固件尾部的功能部分直径 $D_1$ 与紧固件尾部的功能部分长度 $L_3$ 的关系满足: $3.5 \leq D_1/L_3 \leq 10.3$ 。

[0016] 作为优选,所述外部圆管和内部支撑的负泊松比结构可以替换,外部圆管和支撑结构的负泊松比结构可以为内凹六边形、内凹三角形、手性结构、旋转多边形结构等负泊松比结构。

[0017] 作为优选,所述紧固件尾部的功能部分可根据紧固件具体用途,可设计为圆盘、圆勾形状、卡口形状及凹槽形状等。

[0018] 本发明所述紧固件的内凹杆件在进入预设孔洞后会膨胀,紧固件受到拉力时顶部的内凹角最外侧会膨胀至孔洞外侧,当受到拉力时会阻碍紧固件的拔出,同时管状结构受拉膨胀进一步增加与孔洞的摩擦力,使紧固件很难被拉出。

[0019] 上述一种具有多重负泊松比效应的多功能紧固件的设计方法,包括以下步骤:

[0020] 1) 根据紧固件的用途及推入孔洞的大小确定紧固件顶部的尺寸,包括紧固件顶部的内凹角度、内凹结构分布数量和角度;

[0021] 2) 按照使用要求设计紧固件圆管部分长度及圆管外径;

[0022] 3) 根据已确定的尺寸对紧固件顶部、紧固件圆管部分进行细部尺寸组合设计和优化,以保证紧固件的变形特性、负泊松比特性以及足够的强度;

[0023] 4) 然后根据紧固件的使用需求设计紧固件尾部的功能部分;

[0024] 5) 采用3D打印技术制作出具有多重负泊松比效应的紧固件。

[0025] 本发明的有益效果:利用该方法设计出的紧固件具有较大的负泊松比效应且能同时在轴向压缩和拉伸下表现出负泊松比效应。头部的负泊松比设计不仅使紧固件极易推入且进入孔洞后其膨胀放大后的内凹角比预设空洞大,可以很好的阻碍紧固件的拔出及自然松动,且管状部分的双重负泊松比结构在受拉时发生膨胀进一步阻碍紧固件的拔出。尾部的功能设计部分可根据紧固件的用途进行不同的设计,保证了其功能的多样性。且利用该方法设计出的紧固件,结构合理、美观轻便,节约材料、一体成型,具有很好的实际应用价值和科学意义。

### 附图说明

- [0026] 图1为多重负泊松比效应的紧固件结构示意图；  
 [0027] 图2为图1的侧视图。  
 [0028] 图3紧固件顶部单个弧形结构示意图；  
 [0029] 图4为紧固件管状部分双重负泊松比结构构造图；  
 [0030] 图5为紧固件外部圆管结构示意图。

### 具体实施方式

- [0031] 下面结合具体实施例和附图对本发明做进一步描述：  
 [0032] 如图1-5所示，一种具有多重负泊松比效应的多功能紧固件，包括紧固件顶部1、紧固件圆管部分2和紧固件尾部3；  
 [0033] 所述紧固件顶部1为若干个均匀分布的负泊松比弧形内凹结构；每个弧形的内凹角最外侧距中和轴的距离为 $D_3$ ，圆管部分外径为 $D_2$ ，每个弧形的内凹角最外侧距圆管外侧的距离为 $(D_3 - D_2) / 2$ ，它与圆管部分外径的关系满足： $D_2 / 20 \leq (D_3 - D_2) / 2 \leq D_2 / 8$ ，且 $2\text{mm} \leq (D_3 - D_2) / 2$ ；每个弧形内凹角 $\theta$ 的范围为 $50^\circ \sim 70^\circ$ ；  
 [0034] 所述紧固件顶部1弧形内凹杆件个数 $N_1$ 满足： $9 \leq N_1 \leq 25$ ；  
 [0035] 所述紧固件圆管部分2由负泊松比的外部圆管及负泊松比的支撑结构组合形成，所述外部圆管沿圆周方向负泊松比单元个数 $N_2$ 应满足： $N_2 \geq 6$ 且 $N_2$ 为偶数；  
 [0036] 所述外部圆管沿圆周方向负泊松比单元个数 $N_2$ 与支撑结构中相邻单元夹角 $\alpha$ 之间的关系满足： $\alpha = 360^\circ / N_2$ ；  
 [0037] 所述外部圆管和支撑结构的厚度 $D_2 / 2 - R_1$ 应满足： $D_2 / 16 \leq D_2 / 2 - R_1 \leq D_2 / 8$ ， $R_1$ 为圆管部分内径；  
 [0038] 所述紧固件顶部1长度 $L_1$ 及紧固件圆管部分2长度 $L_2$ 之间的关系满足： $0.8 \leq L_2 / L_1 \leq 2.5$ ；  
 [0039] 所述紧固件尾部3的功能部分直径 $D_1$ 与紧固件圆管部分2外径 $D_2$ 的关系满足： $1.1 \leq D_1 / D_2$ ；  
 [0040] 所述紧固件尾部3的功能部分直径 $D_1$ 与紧固件尾部3的功能部分长度 $L_3$ 的关系满足： $3.5 \leq D_1 / L_3 \leq 10.3$ 。  
 [0041] 所述外部圆管和支撑结构的负泊松比结构为内凹六边形、内凹三角形、手性结构或旋转多边形结构。所述紧固件尾部3的功能部分设计为圆盘、圆勾形状、卡口形状或凹槽形状。  
 [0042] 所述具有多重负泊松比效应的多功能紧固件的设计方法，包括以下步骤：  
 [0043] 1) 根据紧固件的用途及推入孔洞的大小确定紧固件顶部的尺寸，包括紧固件顶部的内凹角度、内凹结构分布数量和角度；  
 [0044] 2) 按照使用要求设计紧固件圆管部分长度及圆管外径；  
 [0045] 3) 根据已确定的尺寸对紧固件顶部、紧固件圆管部分进行细部尺寸组合设计和优化，以保证紧固件的变形特性、负泊松比特性以及足够的强度；  
 [0046] 4) 然后根据紧固件的使用需求设计紧固件尾部的功能部分；  
 [0047] 5) 采用3D打印技术制作出具有多重负泊松比效应的紧固件。

[0048] 本发明其产生易推入耐拔出特性的关键在于紧固件顶部及杆部多重负泊松比结构的设计。顶部的内凹负泊松比弧形结构以及分布式的构造特点,使紧固件顶部在轴向受压时发生大的整体收缩,从而使紧固件极易推入;而管状部分由于外部和内部支撑组合形成的双重负泊松比系统,在保证紧固件强度的情况下,在受拉时发生膨胀阻碍紧固件的拉出,并且所述紧固件能在非常大的变形范围内保持负泊松比特性。

[0049] 此外,需要说明的是,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰。凡依本发明专利构思所述的原理所做的等效或简单变化,均包括在本发明专利的保护范围内。本实施例中未明确的各组成部分均可用现有技术加以实现。

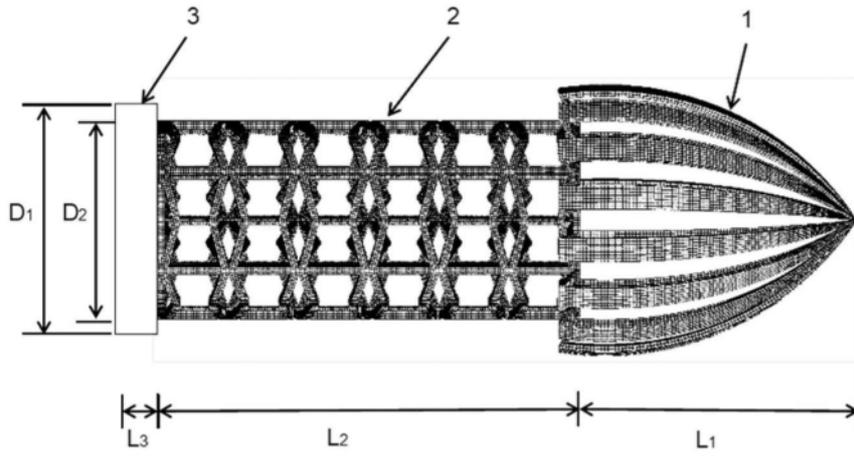


图1

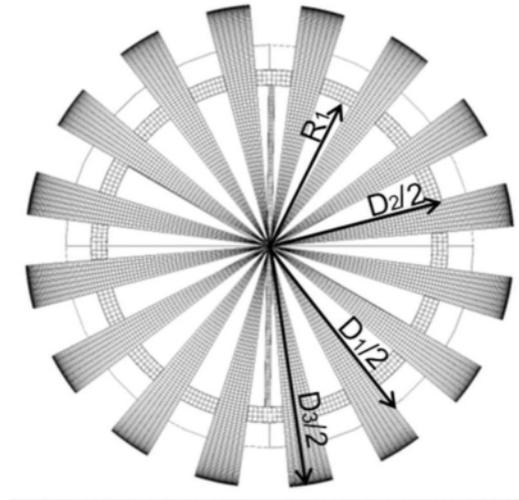


图2

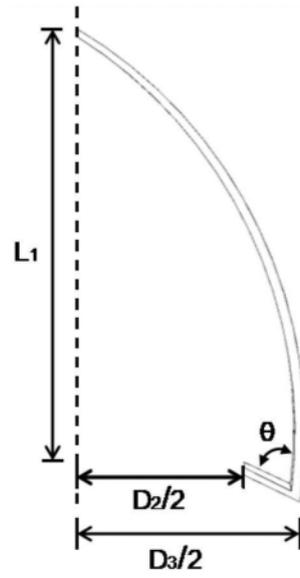


图3

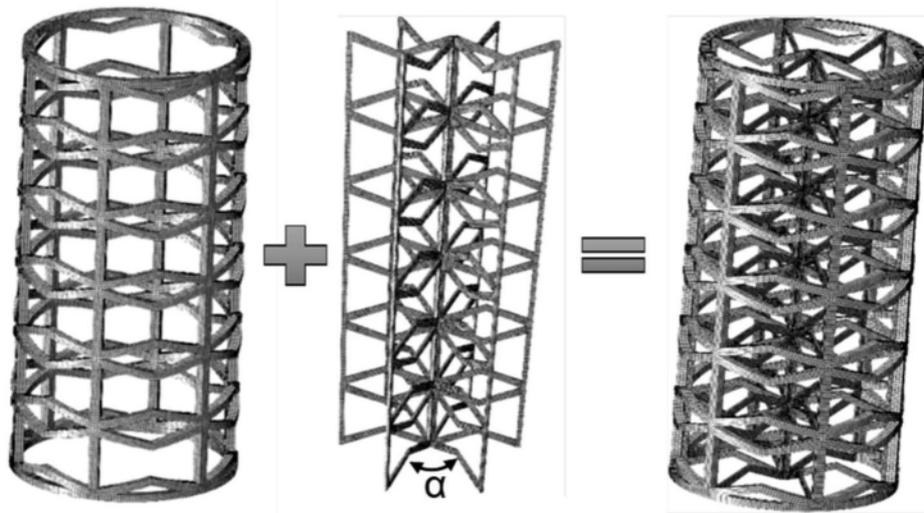


图4

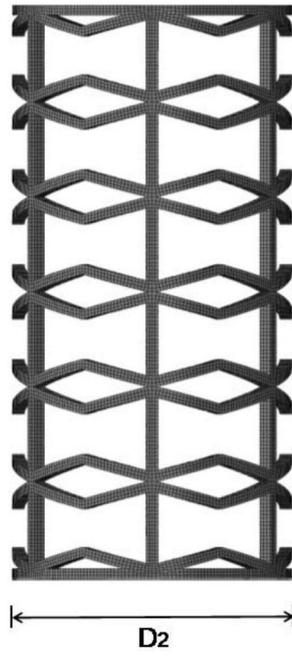


图5