



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114174687 B

(45) 授权公告日 2024. 08. 27

(21) 申请号 202080053510.9

(22) 申请日 2020.05.28

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 114174687 A

(43) 申请公布日 2022.03.11

(30) 优先权数据  
1909124.8 2019.06.25 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2022.01.25

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2020/064881 2020.05.28

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02020/259951 EN 2020.12.30

(73) 专利权人 北方薄板技术有限公司  
地址 瑞士勒南

(72) 发明人 X·勒佩尔克

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所  
有限公司 11038  
专利代理师 王初

(51) Int.Cl.  
F16C 3/02 (2006.01)  
A63B 60/00 (2015.01)  
B29C 53/56 (2006.01)  
B29C 53/58 (2006.01)  
B29C 70/20 (2006.01)  
B29C 70/32 (2006.01)  
B29L 31/52 (2006.01)

(56) 对比文件  
WO 2011072846 A2, 2011.06.23  
CN 103302865 A, 2013.09.18

审查员 侯飞

权利要求书4页 说明书20页 附图13页

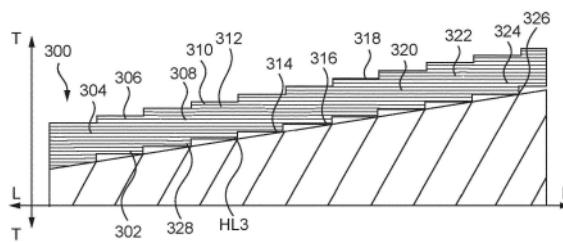
(54) 发明名称

纤维增强复合材料管状轴杆及其制造方法

(57) 摘要

一种由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆(28),该轴杆包括细长管状体,该细长管状体包括包裹层堆叠,每个包裹层(34)包括树脂基体中的纤维增强物,该细长管状体具有内部细长周向表面和外部细长周向表面,该内部细长周向表面具有沿着细长管状体的长度的至少一部分的非圆柱形几何形状的第一表面部分,其中纤维增强物的包裹层的堆叠包括纤维层,纤维层包括纤维增强物的至少一个层片,纤维层围绕细长管状体的纵向轴线螺旋包裹以形成包裹层的堆叠,其中每个包裹层平行于纵向轴线,其中在周向包围第一表面部分的包裹层堆叠的一部分中,纤维层具有非恒定的宽度,该宽度随着该部分中的内部细长周向表面的半径变化而非线性地变化,并且其中纤维增强物包括纤维,该纤维沿着细长管状体的长度相对于围绕细长管状体的纵向轴线的圆柱坐标系恒定地定向,任何

所述部分中的纤维定向与该部分的内部细长周向表面和外部细长周向表面的几何形状无关。还公开了一种制造由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆的方法。



1. 一种制造由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆的方法,所述方法包括以下步骤:

a) 提供细长心轴,所述心轴具有:纵向轴线、沿所述纵向轴线相互间隔开的相对的第一端和第二端、以及外周向表面,所述外周向表面的沿心轴的沿纵向轴线延伸的长度的至少一部分呈非圆柱形;

b) 提供包括纤维增强物的预成型件层,所述预成型件层具有相互间隔的第一端部和第二端部以及相互间隔的内边缘和外边缘,所述内边缘和外边缘从所述第一端部向所述第二端部延伸,其中当所述预成型件层处于平面构型时,至少所述内边缘是非线性的,并且所述内边缘与外边缘之间的间距沿着在所述第一端部和第二端部之间延伸的所述预成型件层的长度而变化;

c) 在起始构型中将所述预成型件层的所述第一端部定位成邻近所述心轴的第一端,在所述起始构型中,所述内边缘朝向所述心轴定向,所述外边缘远离所述心轴定向;

d) 围绕所述心轴包裹所述预成型件层,使得所述心轴的所述外周向表面逐渐被所包裹的预成型件层覆盖,以形成细长管,由此在所述细长管中,所述内边缘接触所述心轴的外周向表面,所述外边缘位于所述细长管的外周向表面,其中在所述包裹步骤期间,所述心轴和所述预成型件层围绕沿着所述心轴的纵向轴线的旋转轴线相对旋转,并且所述预成型件层沿着垂直于所述心轴的纵向轴线的进给路径从所述预成型件层的所述第一端部到所述第二端部连续地进给到所述心轴上;以及

e) 在所述心轴上模制所述细长管以形成由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆,所述纤维增强树脂基体复合材料由所述预成型件层形成;

其中在步骤e)之前或期间,提供与所述预成型件层的纤维增强物接触的树脂材料,并且在步骤e)期间,所述树脂材料形成包含所述纤维增强物的树脂基体;

其中在步骤b)中,所述预成型件层的内边缘的形状和尺寸被设置为使得在步骤d)中所述内边缘与所述心轴的所述外周向表面连续重合,并且所述细长管包括围绕所述纵向轴线形成螺旋体的多个包裹层,其中每个包裹层平行于所述纵向轴线。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中每个包裹层是无褶皱的,并且包裹层的每个区域都与纵向轴线一致地对准。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中在步骤d)中,沿着所述细长管的长度的至少一部分,所述内边缘的至少一部分与所述心轴的外周向表面的非圆柱形区域之间的接触形成连续的内盘绕线,所述连续的内盘绕线沿着多个包裹层延伸,其与所述心轴的外周向表面重合。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中所述连续的内盘绕线在所述包裹层的相继盘绕旋转匝之间具有均匀的螺距。

5. 根据权利要求3所述的方法,其中所述连续的内盘绕线沿着所包裹的预成型件层的至少2个包裹层延伸。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,所述内边缘的至少一部分是弯曲的。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,所述内边缘的所述部分是凸形弯曲的。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述非圆柱形的外周向表面是截头圆锥形的。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中,所述外周向表面还包括在所述截头圆锥形表面的至少一端邻近所述截头圆锥形表面的圆柱形表面,并且在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,在步骤d)中接触所述圆柱形表面的所述内边缘的第二部分在步骤c)和d)中是线性的并且平行于所述纵向轴线。

10. 根据权利要求8所述的方法,其中所述外周向表面还包括在与所述截头圆锥形表面相反的方向上倾斜的第二截头圆锥形表面,所述第二截头圆锥形表面邻近所述截头圆锥形表面的端部或与所述截头圆锥形表面的端部间隔开,并且在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,在步骤d)中接触所述第二截头圆锥形表面的所述内边缘的第三部分是在步骤c)和d)中切入所述内边缘并相对于所述纵向轴线而倾斜的凹形开口的一部分。

11. 根据权利要求8所述的方法,其中所述截头圆锥形表面相对于所述心轴的所述纵向轴线以一定角度 $\alpha$ 倾斜,并且在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件处于平面构型时,使用具有x轴和y轴的直角坐标系来限定所述内边缘的弯曲部分,其中所述x轴平行于所述第一端部与第二端部之间的间距,并且平行于所述旋转轴线,所述y轴平行于所述内边缘与外边缘之间的间距,其关系如下:

$$B_n = f(x_n^B, y_n^B), \text{ 其中}$$

$B$ 是所述内边缘相对于所述直角坐标系的位置;

$n$  = 所包裹的预成型件层的转数;

$\mathbf{x}_n^B = \sum_{i=1}^{n-1} e / \tan \alpha$ , 其中 $e$  = 所述预成型件层的厚度,  $i$  = 在 $B$ 处所包裹的预成型件层的总转数; 并且

$$\mathbf{y}_n^B = \sum_{i=1}^{n-1} 2\pi r_n, \text{ 其中 } r_n = \text{转数为 } n \text{ 时心轴的半径。}$$

12. 根据权利要求3所述的方法,其中在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,与所述内边缘相对的所述外边缘的至少一部分是弯曲的,并且其中在步骤d)中,沿着所述细长管的所述长度的至少一部分,所述外边缘的所述弯曲部分形成连续的外盘绕线。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述外边缘的所述部分是凹形弯曲的和/或凸形弯曲的。

14. 根据权利要求12所述的方法,其中所述连续的外盘绕线沿着所述多个包裹层与所述连续的内盘绕线等距,使得所述细长管沿着其一部分具有恒定的厚度。

15. 根据权利要求9所述的方法,其中在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,所述外边缘的至少一部分是线性的,并且其中在步骤c)和d)中,所述外边缘的所述线性部分平行于在所述步骤c)和d)中的所述纵向轴线,并且由所述线性部分形成的所述细长管的所述外表面是圆柱形的。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中所述外周向表面还包括在所述截头圆锥形表面的至少一端邻近所述截头圆锥形表面的圆柱形表面,并且在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,在步骤d)中接触所述圆柱形表面的所述内边缘的第二部分在步骤c)和d)中是线性的并且平行于所述纵向轴线。

17. 根据权利要求15所述的方法,其中所述外周向表面还包括在与所述截头圆锥形表面相反的方向上倾斜的第二截头圆锥形表面,所述第二截头圆锥形表面邻近所述截头圆锥形表面的端部或与所述截头圆锥形表面的端部间隔开,并且所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,在步骤d)中接触所述第二截头圆锥形表面的所述内边缘的第三部分是在步骤c)和d)中切入所述内边缘并相对于所述纵向轴线倾斜的凹形开口的一部分。

18. 根据权利要求1所述的方法,其中所述预成型件层具有恒定厚度或可变厚度。

19. 根据权利要求1所述的方法,其中所述预成型件层包括预浸料,其中所述纤维增强物至少部分被树脂浸渍。

20. 根据权利要求1所述的方法,其中所述预成型件层包括干纤维增强物层和由热固性树脂或热塑性树脂构成的树脂层,并且所述预成型件层和树脂层彼此堆叠。

21. 根据权利要求19所述的方法,其中在步骤d)之前,所述预成型件层中的树脂被部分或全部预固化。

22. 根据权利要求1所述的方法,其中所述预成型件层包括干纤维增强物,并且在步骤d)和e)之间,树脂作为液体树脂被注入到所述干纤维增强物中。

23. 根据权利要求1所述的方法,其中所述预成型件层进一步包括芯材料和/或在所述预成型件层或所述纤维增强物的表面上的粘合材料。

24. 根据权利要求1所述的方法,其中所述预成型件层包括纤维增强物多个层片的堆叠。

25. 根据权利要求1所述的方法,其中所述纤维增强物包括结构纤维,所述结构纤维在步骤c)期间平行于所述纵向轴线对准,并且在步骤d)期间相对于围绕所述纵向轴线的圆柱坐标系维持恒定取向。

26. 根据权利要求25所述的方法,其中所述结构纤维包含在单向纤维层片中。

27. 根据权利要求1所述的方法,其中在步骤d)期间,要么i)所述心轴围绕所述旋转轴线旋转,以围绕所述心轴包裹所述预成型件层;要么ii)所述心轴是旋转静态的,并且所述预成型件层围绕所述旋转轴线旋转,以围绕所述心轴包裹所述预成型件层。

28. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述预成型件层包括延伸穿过所述预成型件层厚度的一个或更多个孔,所述孔或每个孔位于所述第一端部和第二端部以及所述内边缘和外边缘的内侧。

29. 一种由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆,所述轴杆包括细长管状体,所述细长管状体包括多个包裹层的堆叠,每个包裹层包括树脂基体中的纤维增强物,所述细长管状体具有内部细长周向表面和外部细长周向表面,所述内部细长周向表面的第一表面部分具有沿着所述细长管状体的长度的至少一部分的非圆柱形几何形状,其中纤维增强物的包裹层的堆叠包括纤维层,所述纤维层包括纤维增强物的至少一个层片,所述纤维层围绕所述细长管状体的纵向轴线螺旋地包裹以形成所述包裹层的堆叠,其中每个包裹层平行于所述纵向轴线,其中在周向包围所述第一表面部分的所述包裹层的堆叠的一部分中,所述纤维层具有非恒定的宽度,所述宽度随着所述部分中的所述内部细长周向表面的半径变化而非线性地变化,并且其中所述纤维增强物包括沿着所述细长管状体的长度相对于围绕所述细长管状体的所述纵向轴线的圆柱坐标系恒定地定向的纤维,任何所述部分中

的纤维定向与所述部分的所述内部细长周向表面和所述外部细长周向表面的几何形状无关。

30. 根据权利要求29所述的细长管状轴杆,其中,沿着所述第一表面部分,所述纤维层的内边缘与所述内周向表面重合,并形成连续的内盘绕线,所述连续的内盘绕线沿着多个所述包裹层延伸。

31. 根据权利要求30所述的细长管状轴杆,其中,所述连续的内盘绕线在所述包裹层的相继盘绕旋转匝之间具有均匀或非均匀的螺距。

32. 根据权利要求30或权利要求31所述的细长管状轴杆,其中所述连续的内盘绕线沿着至少10个包裹层延伸。

33. 根据权利要求30所述的细长管状轴杆,其中所述内边缘的至少一部分相对于正交于所述纵向轴线的横向平面而弯曲。

34. 根据权利要求33所述的细长管状轴杆,其中,所述内边缘的弯曲部分相对于所述纤维层呈凸形弯曲。

35. 根据权利要求29所述的细长管状轴杆,其中所述第一表面部分是截头圆锥形的。

36. 根据权利要求29所述的细长管状轴杆,其中,所述内部细长周向表面还包括圆柱形表面,所述圆柱形表面在所述第一表面部分的至少一端与所述第一表面部分相邻,并且所述纤维层具有限定所述圆柱形表面的端部,并且具有线性的并且与所述纵向轴线平行的边缘。

37. 根据权利要求29所述的细长管状轴杆,其中,所述内部细长周向表面还包括第二表面部分,所述第二表面部分具有非圆柱形几何形状并且在与所述第一表面部分相反的方向上倾斜,所述第二表面部分邻近所述第一表面部分的端部或者与所述第一表面部分的端部间隔开。

38. 根据权利要求29所述的细长管状轴杆,其中所述外部细长周向表面具有非圆柱形几何形状。

39. 根据权利要求29所述的细长管状轴杆,其中所述外部细长周向表面具有圆柱形几何形状。

40. 根据权利要求29所述的细长管状轴杆,其中所述细长管状体沿其长度的至少一部分具有非恒定的厚度。

41. 根据权利要求29所述的细长管状轴杆,其中所述细长管状体沿其长度的至少一部分具有恒定的厚度。

42. 根据权利要求29所述的细长管状轴杆,其中所述纤维增强物包括结构纤维,所述结构纤维相对于围绕所述管的所述纵向轴线的圆柱坐标系恒定地定向。

43. 根据权利要求42所述的细长管状轴杆,其中所述结构纤维包含在单向纤维层中。

44. 根据权利要求29所述的细长管状轴杆,还包括夹在相对的纤维增强物层之间的芯材料。

## 纤维增强复合材料管状轴杆及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种制造由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆的方法。本发明还涉及一种由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆。

### 背景技术

[0002] 在复合材料领域中众所周知的是,复合材料管,也称为管状轴杆,可以通过一种方法生产,在该方法中,预成型材料形成的带以叠加的方式缠绕,例如盘绕地缠绕在金属心轴周围。然后在模制过程中,用压实系统在该复合材料结构上施加压力,热固性和/或热塑性树脂基体被固结,然后心轴从模制的管状产品上移除。

[0003] 替代地,预成型材料可以呈片材的形式,该片材沿着旋转轴线缠绕,该旋转轴线的方向相对于心轴的纵向轴线对准。具体而言,这种复合管通常通过卷包裹过程而制成。片材可以相对于心轴的纵向轴线垂直或以倾斜角度定向。卷包裹包括围绕心轴包裹各个预成型件或各个的预成型材料层,这些预成型件或预成型件材料层具有与管相同或不同的长度以及与围绕心轴的一定绕转数相对应的宽度。

[0004] 预成型材料可包括纤维层,纤维层由干纤维材料组成,所述干纤维材料即不含树脂材料(例如热固性和/或热塑性树脂材料)的纤维材料,树脂材料随后用于形成复合材料的树脂基体。在如上文所描述那样缠绕纤维层之后,纤维材料可以在模制步骤之前或期间被树脂材料涂覆、浸渍或灌注。替代地,预成型材料可以包括预浸材料。这种预浸材料广泛用于制造复合部件和结构。预浸材料是热固性和/或热塑性树脂基体和纤维增强物的组合,其中树脂至少部分地、典型地完全地浸渍纤维增强物。

[0005] 当使用窄带围绕具有非圆柱形表面(即由沿着心轴的整个长度延伸的给定半径的圆形截面提供的圆柱形表面)的心轴盘绕地缠绕预成型件或预浸料,或者通过围绕这种心轴来卷包裹相对于心轴垂直对准或倾斜的片材时,可能存在显著的技术问题。

[0006] 第一个技术问题是,由于心轴的截面沿着心轴长度变化,预浸料会相对于期望的包裹方向偏斜。这可能导致褶皱和纤维失去对准(以下简称为“失准”)出现在包裹的细长管中,褶皱和纤维失准可能使由预浸料形成的纤维增强树脂基体复合材料构成的所得细长管状轴杆的机械性能和视觉外观严重降级。

[0007] 对于高性能复合材料产品,重要的是,沿管状轴杆整个长度的纤维定向和对准必须维持在所期望的紧密公差范围内,以获得高机械性能。

[0008] 纤维失准是非圆柱形管制造中的一个特殊问题,尤其是当产品的均匀性和一致性是关键性能参数时。

[0009] 制造具有复杂管几何形状的非圆柱形管的另一个问题是,纤维层可能会不经意地弯曲、扭曲或折叠,导致在预成型件层中形成不期望的褶皱,褶皱表现为失准的或弯曲的纤维,甚至是最最终模制而成的复合材料产品中的空隙。

[0010] 此外,褶皱和纤维失准可能会导致多个管状产品之间的性能不一致。已知的制造方法在试图获得这种期望的性质时会遇到严重的生产问题。

[0011] 第二个技术问题是,为了适应心轴沿其长度的几何形状的变化,这可能需要在制造过程中进行高水平的人工干预,因使得自动化水平低。这增加了制造成本和复杂性,并降低了多个管状产品的一致性和均匀性。

[0012] 第三个技术问题是,由于必须个别地切割或裁剪预浸料带或片材以从心轴上移除多余材料,或者由于在模制步骤之后必须从管状产品上移除多余材料,或者由于制造的管状产品因未能满足期望的品质而不合格,这种已知的过程会产生大量的预浸料废料。

[0013] 此外,由纤维增强树脂基体复合材料,特别是碳纤维复合材料制造诸如高尔夫球杆轴杆、鱼竿、球拍等体育用品是公知的。然而,碳纤维复合材料的细长管状轴杆往往存在表现出不均匀性质,特别是不均匀的壁厚的问题,这导致沿轴杆的抗挠刚度的不期望的变化,特别是当挠曲力围绕轴杆轴线以不同的旋转取向施加时。管状体育用品通常需要包含受控的可变厚度,以便局部地控制该体育用品的刚度;然而,很难使制造过程自动化以可靠地和可重复地为多个产品制造具有高度均匀性和一致性的这种受控的可变厚度。

[0014] GB-A-2177062公开了复合材料构件的制造,其中预浸料带缠绕在截头圆锥形心轴上。缠绕该带使得缠绕带的每一次相继绕转与缠绕带的前一次绕转重叠大约50%的带宽度。带宽度(W)由表达式 $W=nt/\tan\alpha$ 限定,其中t是带厚度, $\alpha$ 是心轴的锥角(以度为单位),n是一次缠绕中缠绕的带层或带的数量,因此随着n的增加,带宽度必须成比例增加。尽管陈述了在截头圆锥形表面上缠绕细丝的方法避免了如果带以边缘对边缘接触而不是重叠的方式缠绕在其上时将会发生的扭曲并且在缠绕的材料内没有形成大的间隙,但是该方法不能确保对于管状构件的任何显著长度或任何显著数量的细丝缠绕准确的细丝对准。因此,这种制造方法存在一个问题,即心轴的直径增加,预浸料中的纤维以及最终复合材料中的纤维将逐渐失准,导致构件的机械性质降低,并且机械性质沿着构件的长度发生变化。此外,沿着构件的长度,任何纤维相对于心轴的纵向轴线的角度以及因此相对于构件的纵向轴线的角度发生变化,并且随着心轴和构件直径的增加,纤维相对于纵向轴线逐渐失准或扭曲。在预缠绕预浸料中,纤维定向可以沿着预浸料中的期望轴线一致地笔直且准确地对准;然而,在最终的缠绕构件中,纤维定向可能不一致地定向,并且可能不是沿着构件中的期望轴线而准确对准。此外,除了几何截头圆锥形管之外,没有公开如何准确地制造复杂形状。

[0015] US-A-2011/0097526公开了一种编织纤维预成型件,用于形成包含该预成型件的纤维增强复合材料。编织预成型件包括多根经纱和纬纱或交织形成连续螺旋织物的纤维。螺旋织物可以呈现阿基米德螺旋的形状。预成型件中的纬纱可以具有均匀或可变的纬纱间距,或者均匀或可变的角度间隔。阿基米德螺旋的螺旋织物可以被组装或包裹以形成圆锥形壳体结构,圆锥形壳体结构可以是旋转器或出口椎管的一部分。该公开存在一个问题,即预成型件具有复杂的特定螺旋几何形状,并且只能用于制造圆锥形壳体的特定几何结构。此外,如果纬纱具有均匀的间距和均匀的角度间隔,那么在圆锥形壳体中,纱线变得失准;然而,如果纬纱具有可变的间距和/或可变的角度间隔,那么尽管在圆锥形壳体中纱线可以成圆锥形对准,但是用可变的纤维结构编织预成型件是非常复杂的,并且每个预成型件只能用于制造特定的几何形状。没有公开如何在实践中制造预成型件的如此复杂的织物。此外,没有公开如何准确地制造除了几何圆锥形壳体之外的复杂形状。

[0016] US-A-2003/0056846公开了一段具有可变宽度的织物,以形成可变直径的管。该公

开存在一个问题,即个别管具有特定的经纬纤维布置,该布置只能用于制造可变直径管的特定几何结构。这种使用可变纤维结构的织物编织起来非常复杂。没有公开如何控制管的外部几何形状。

[0017] WO-A-2004/067264公开了一种将倾斜纤维层从连续的缠绕条带沉积到可具有可变直径的支撑物上的方法。该公开存在方法非常复杂的问题。此外,没有公开如何准确地用倾斜纤维层制造除了圆柱形或截头圆锥形管状形状之外的复杂形状。没有公开如何提供沿管的大部分长度,特别是沿管的整个长度在纵向方向上定向的纤维。

[0018] 因此,本发明的目的是至少部分地克服制造复合材料管状轴杆的已知方法遇到的上述问题中的一个或更多个。

[0019] 因此,本发明旨在提供一种用于由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆的改进的制造方法,特别是其中细长管状轴杆可以表现出高品质的机械性质,即使该轴杆可以沿着轴杆的长度具有不均匀的厚度、截面和/或外部或内部形状和尺寸。

[0020] 更具体地,本发明旨在提供一种用于由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆的改进制造方法,该方法可以自动化进行,以便可靠地、一致地和可重复地以低成本生产方法提供具有高度同心壁结构的管状轴杆,该管状轴杆具有围绕轴杆轴线的均匀受控的壁厚和围绕轴杆轴线的纤维对准的准确控制,这种均匀受控的壁厚和对纤维对准的准确控制又可以提供围绕轴杆轴线表现出恒定挠曲性质的轴杆。

[0021] 本发明还旨在提供一种用于由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆的改进的制造方法,该方法通过能够一致地制造复杂的管几何形状,优选通过使用自动化或可自动化的制造方法,能够增进最后的管状产品的设计可能性。

[0022] 最后,本发明还旨在提供一种由纤维增强树脂基体复合材料构成的改进的细长管状轴杆,该管状轴杆具有非圆柱形的内周向表面和截面。特别地,本发明还旨在提供一种由纤维增强树脂基体复合材料构成的改进的细长管状轴杆,该细长管状轴杆还可以表现出围绕轴杆轴线的高度准确和一致的纤维对准,这种高度准确和一致的纤维对准又可以沿着轴杆的长度提供高品质的机械性质,即使在轴杆包含复杂的管几何形状的情况下。

## 发明内容

[0023] 本发明提供了一种制造由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆的方法。所述方法包括以下步骤:

[0024] a) 提供细长心轴,所述心轴具有:纵向轴线、沿所述纵向轴线相互间隔开的相对的第一端和第二端、以及外周向表面,所述外周向表面的沿心轴的沿纵向轴线延伸的长度的至少一部分呈非圆柱形;

[0025] b) 提供包括纤维增强物的预成型件层,所述预成型件层具有相互间隔的第一端部和第二端部以及相互间隔的内边缘和外边缘,所述内边缘和外边缘从所述第一端部向所述第二端部延伸,其中当所述预成型件层处于平面构型时,至少所述内边缘是非线性的,并且所述内边缘与外边缘之间的间距沿着在所述第一端部和第二端部之间延伸的所述预成型件层的长度而变化;

[0026] c) 在起始构型中将所述预成型件层的所述第一端部定位成邻近所述心轴的第一端,在所述起始构型中,所述内边缘朝向所述心轴定向,所述外边缘远离所述心轴定向;

[0027] d) 围绕所述心轴包裹所述预成型件层,使得所述心轴的所述外周向表面逐渐被所包裹的预成型件层覆盖,以形成细长管,由此在所述细长管中,所述内边缘接触所述心轴的外周向表面,所述外边缘位于所述细长管的外周向表面,其中在所述包裹步骤期间,所述心轴和所述预成型件层围绕沿着所述心轴的纵向轴线的旋转轴线相对旋转,并且所述预成型件层沿着垂直于所述心轴的纵向轴线的进给路径从所述预成型件层的所述第一端部到所述第二端部连续地进给到所述心轴上;以及

[0028] e) 在所述心轴上模制所述细长管以形成由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆,所述纤维增强树脂基体复合材料由所述预成型件层形成;

[0029] 其中在步骤e) 之前或期间,提供与所述预成型件层的纤维增强物接触的树脂材料,并且在步骤e) 期间,所述树脂材料形成包含所述纤维增强物的树脂基体;

[0030] 其中在步骤b) 中,所述预成型件层的内边缘的形状和尺寸被设置为使得在步骤d) 中所述内边缘与所述心轴的所述外周向表面连续重合,并且所述细长管包括围绕所述纵向轴线形成螺旋体的多个包裹层,其中每个包裹层平行于所述纵向轴线。

[0031] 本发明优选实施例的方法提供了每根纤维相对于围绕心轴旋转轴线的圆柱坐标系的恒定定向。

[0032] 在上述方法中,优选地,每个包裹层是无褶皱的,并且包裹层的每个区域都与纵向轴线一致地对准。

[0033] 在上述方法中,优选地,在步骤d) 中,沿着所述细长管的长度的至少一部分,所述内边缘的至少一部分与所述心轴的外周向表面的非圆柱形区域之间的接触形成连续的内盘绕线,所述连续的内盘绕线沿着多个包裹层延伸,其与所述心轴的外周向表面重合。

[0034] 在上述方法中,优选地,所述连续的内盘绕线在所述包裹层的相继盘绕旋转匝之间具有均匀的螺距。

[0035] 在上述方法中,优选地,所述连续的内盘绕线沿着所包裹的预成型件层的至少2个包裹层延伸。

[0036] 在上述方法中,优选地,在步骤b) 中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,所述内边缘的至少一部分是弯曲的。

[0037] 在上述方法中,优选地,在步骤b) 中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,所述内边缘的所述部分是凸形弯曲的。

[0038] 在上述方法中,优选地,所述非圆柱形的外周向表面是截头圆锥形的。

[0039] 在上述方法中,优选地,所述外周向表面还包括在所述截头圆锥形表面的至少一端邻近所述截头圆锥形表面的圆柱形表面,并且在步骤b) 中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,在步骤d) 中接触所述圆柱形表面的所述内边缘的第二部分在步骤c) 和d) 中是线性的并且平行于所述纵向轴线。

[0040] 在上述方法中,优选地,其中所述外周向表面还包括在与所述截头圆锥形表面相反的方向上倾斜的第二截头圆锥形表面,所述第二截头圆锥形表面邻近所述截头圆锥形表面的端部或与所述截头圆锥形表面的端部间隔开,并且在步骤b) 中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,在步骤d) 中接触所述第二截头圆锥形表面的所述内边缘的第三部分是在步骤c) 和d) 中切入所述内边缘并相对于所述纵向轴线而倾斜的凹形开口的一部分。

[0041] 在上述方法中,优选地,所述截头圆锥形表面相对于所述心轴的所述纵向轴线以一定角度 $\alpha$ 倾斜,并且在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件处于平面构型时,使用具有x轴和y轴的直角坐标系来限定所述内边缘的弯曲部分,其中所述x轴平行于所述第一端部与第二端部之间的间距,并且平行于所述旋转轴线,所述y轴平行于所述内边缘与外边缘之间的间距,其关系如下:

[0042]  $B_n = f(x_n^B, y_n^B)$ , 其中

[0043] B是所述内边缘相对于所述直角坐标系的位置;

[0044] n=所包裹的预成型件层的转数;

[0045]  $x_n^B = \sum_{i=1}^{n-1} e / \tan \alpha$ , 其中e=所述预成型件层的厚度, i = 在B处所包裹的预成型件层的总转数;并且

[0046]  $y_n^B = \sum_{i=1}^{n-1} 2\pi r_i$ , 其中 $r_n$  = 转数为n时心轴的半径。

[0047] 在上述方法中,优选地,在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,与所述内边缘相对的所述外边缘的至少一部分是弯曲的,并且其中在步骤d)中,沿着所述细长管的所述长度的至少一部分,所述外边缘的所述弯曲部分形成连续的外盘绕线。

[0048] 在上述方法中,优选地,所述外边缘的所述部分是凹形弯曲的和/或凸形弯曲的。

[0049] 在上述方法中,优选地,所述连续的外盘绕线沿着所述多个包裹层与所述连续的内盘绕线等距,使得所述细长管沿着其一部分具有恒定的厚度。

[0050] 在上述方法中,优选地,在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,所述外边缘的至少一部分是线性的,并且其中在步骤c)和d)中,所述外边缘的所述线性部分平行于在所述步骤c)和d)中的所述纵向轴线,并且由所述线性部分形成的所述细长管的所述外表面是圆柱形的。

[0051] 在上述方法中,优选地,所述外周向表面还包括在所述截头圆锥形表面的至少一端邻近所述截头圆锥形表面的圆柱形表面,并且在步骤b)中,所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,在步骤d)中接触所述圆柱形表面的所述内边缘的第二部分在步骤c)和d)中是线性的并且平行于所述纵向轴线。

[0052] 在上述方法中,优选地,所述外周向表面还包括在与所述截头圆锥形表面相反的方向上倾斜的第二截头圆锥形表面,所述第二截头圆锥形表面邻近所述截头圆锥形表面的端部或与所述截头圆锥形表面的端部间隔开,并且所述预成型件层的形状和尺寸被设置为使得当所述预成型件层处于平面构型时,在步骤d)中接触所述第二截头圆锥形表面的所述内边缘的第三部分是在步骤c)和d)中切入所述内边缘并相对于所述纵向轴线倾斜的凹形开口的一部分。

[0053] 在上述方法中,优选地,所述预成型件层具有恒定厚度或可变厚度。

[0054] 在上述方法中,优选地,所述预成型件层包括预浸料,其中所述纤维增强物至少部分被树脂浸渍。

[0055] 在上述方法中,优选地,所述预成型件层包括干纤维增强物层和由热固性树脂或热塑性树脂构成的树脂层,并且所述预成型件层和树脂层彼此堆叠。

[0056] 在上述方法中,优选地,在步骤d)之前,所述预成型件层中的树脂被部分或全部预

固化。

[0057] 在上述方法中,优选地,所述预成型件层包括干纤维增强物,并且在步骤d)和e)之间,树脂作为液体树脂被注入到所述干纤维增强物中。

[0058] 在上述方法中,优选地,所述预成型件层进一步包括芯材料和/或在所述预成型件层或所述纤维增强物的表面上的粘合材料。

[0059] 在上述方法中,优选地,所述预成型件层包括纤维增强物多个层片的堆叠。

[0060] 在上述方法中,优选地,所述纤维增强物包括结构纤维,所述结构纤维在步骤c)期间平行于所述纵向轴线对准,并且在步骤d)期间相对于围绕所述纵向轴线的圆柱坐标系维持恒定取向。

[0061] 在上述方法中,优选地,所述结构纤维包含在单向纤维层片中。

[0062] 在上述方法中,优选地,在步骤d)期间,要么i)所述心轴围绕所述旋转轴线旋转,以围绕所述心轴包裹所述预成型件层;要么ii)所述心轴是旋转静态的,并且所述预成型件层围绕所述旋转轴线旋转,以围绕所述心轴包裹所述预成型件层。

[0063] 在上述方法中,优选地,所述预成型件层包括延伸穿过所述预成型件层厚度的一个或更多个孔,所述孔或每个孔位于所述第一端部和第二端部以及所述内边缘和外边缘的内侧。

[0064] 本发明还提供了一种由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆,所述轴杆包括细长管状体,所述细长管状体包括多个包裹层的堆叠,每个包裹层包括树脂基体中的纤维增强物,所述细长管状体具有内部细长周向表面和外部细长周向表面,所述内部细长周向表面的第一表面部分具有沿着所述细长管状体的长度的至少一部分的非圆柱形几何形状,其中纤维增强物的包裹层的堆叠包括纤维层,所述纤维层包括纤维增强物的至少一个层片,所述纤维层围绕所述细长管状体的纵向轴线螺旋地包裹以形成所述包裹层的堆叠,其中每个包裹层平行于所述纵向轴线,其中在周向包围所述第一表面部分的所述包裹层的堆叠的一部分中,所述纤维层具有非恒定的宽度,所述宽度随着所述部分中的所述内部细长周向表面的半径变化而非线性地变化,并且其中所述纤维增强物包括沿着所述细长管状体的长度相对于围绕所述细长管状体的所述纵向轴线的圆柱坐标系恒定地定向的纤维,任何所述部分中的纤维定向与所述部分的所述内部细长周向表面和所述外部细长周向表面的几何形状无关。

[0065] 优选地,沿着所述第一表面部分,所述纤维层的内边缘与所述内周向表面重合,并形成连续的内盘绕线,所述连续的内盘绕线沿着多个所述包裹层延伸。

[0066] 优选地,所述连续的内盘绕线在所述包裹层的相继盘绕旋转匝之间具有均匀或非均匀的螺距。

[0067] 优选地,所述连续的内盘绕线沿着至少10个包裹层延伸。

[0068] 优选地,所述内边缘的至少一部分相对于正交于所述纵向轴线的横向平面而弯曲。

[0069] 优选地,所述内边缘的弯曲部分相对于所述纤维层呈凸形弯曲。

[0070] 优选地,所述第一表面部分是截头圆锥形的。

[0071] 优选地,所述内部细长周向表面还包括圆柱形表面,所述圆柱形表面在所述第一表面部分的至少一端与所述第一表面部分相邻,并且所述纤维层具有限定所述圆柱形表面

的端部,并且具有线性的并且与所述纵向轴线平行的边缘。

[0072] 优选地,所述内部细长周向表面还包括第二表面部分,所述第二表面部分具有非圆柱形几何形状并且在与所述第一表面部分相反的方向上倾斜,所述第二表面部分邻近所述第一表面部分的端部或者与所述第一表面部分的端部间隔开。

[0073] 优选地,所述外部细长周向表面具有非圆柱形几何形状。

[0074] 优选地,所述外部细长周向表面具有圆柱形几何形状。

[0075] 优选地,所述细长管状体沿其长度的至少一部分具有非恒定的厚度。

[0076] 优选地,所述细长管状体沿其长度的至少一部分具有恒定的厚度。

[0077] 优选地,所述纤维增强物包括结构纤维,所述结构纤维相对于围绕所述管的所述纵向轴线的圆柱坐标系恒定地定向。

[0078] 优选地,所述结构纤维包含在单向纤维层中。

[0079] 优选地,还包括夹在相对的纤维增强物层之间的芯材料。

[0080] 本发明的优选实施例可以提供一种在心轴上制造细长管状轴杆的方法,其中心轴的横截面沿着心轴的长度而变化,从而具有“复杂”的形状。

[0081] 尽管心轴形状如此复杂,但纤维的定向可以在与心轴旋转轴线相关联的圆柱坐标系内保持恒定,即使当使用长度至少为50毫米的“长”纤维时也是如此,“长”纤维的长度可以超过10米,其中至少一些纤维可以沿着细长管状轴杆的整个长度个别延伸。

[0082] 本发明人认为,在由一个或更多个包裹的预成型件层形成的细长管状轴杆中实现这种长纤维的高度一致的准确纤维取向和对准的技术效果和优点在复合材料领域是独特的,并且允许提高纤维增强复合材料结构的性能,用于其中产品一致性是关键设计和性能因素的那些应用领域。此外,通过提供长度至少为50毫米,甚至超过10米的高度对准的“长”纤维,复合材料的机械性质,特别是强度和韧性得到提高。

[0083] 内管几何形状可以具有复杂的形状,并且可以包含以下几何或结构特征中的一个或任意组合:具有增大或/和减小或/和中性斜率的圆锥体;一个或更多个凸起或突起;一个或更多个凸棱;一个或更多个凹角形凹槽;或者一个或更多个凹陷;任何形状的截面并且该截面也可以沿着管的长度而变化。相应地,外管几何形状可以具有复杂的形状,并且可以包含以下几何或结构特征中的一个或任意组合:具有增大或/和减小或/和中性斜率的圆锥体;一个或更多个凸起或突起;一个或更多个凸棱;一个或更多个凹角形凹槽;或者一个或更多个凹陷。

[0084] 本发明的优选实施例可以提供一种在心轴上制造细长管状轴杆的方法,其中该轴杆具有复杂的管几何形状,并且可以模制成近净形,并且这可以在一次包裹和模制操作中以非常少的浪费并且以全自动的方式实现,从而在减少浪费的同时提高生产率和可重复性。

[0085] 此外,本发明的优选实施例可以提供一种在心轴上制造细长管状轴杆的方法,其中能够独立控制内管和外管的几何形状,这总体上增加了管状轴杆制造的设计空间。

[0086] 本发明的优选实施例可以提供一种制造细长管状轴杆的方法,其中即使心轴的截面沿着心轴的长度变化,预成型件也不会相对于期望的包裹方向偏斜。因此,在包裹的细长管中可以避免或最小化褶皱和纤维失准。由纤维增强树脂基体复合材料构成的所得细长管状轴杆可以可靠地、一致地和可重复地表现出高品质的机械性能和视觉外观。沿着管状轴

杆的整个长度的纤维取向和对准可以维持在期望的紧密公差内,以便获得高的机械性质。

[0087] 本发明的优选实施例还可以在制造过程中提供高水平的自动化和低水平的人工干预或没有人工干预,这适应了心轴沿其长度的几何形状的变化,特别是当制造具有复杂几何形状的管时。与已知的制造方法相比,特别是当制造具有复杂几何形状的管时,制造成本 and 复杂性降低,并且多个管状产品的均匀性增加,并且制造时间可以减少。

[0088] 根据细长管状轴杆的几何形状的复杂性,本发明的优选实施例还可以避免或最小化预成型件的浪费。在本发明的优选实施例中,在包裹步骤之前,基于预成型件层的厚度、心轴几何形状和管几何形状的组合参数,预先计算将要包裹在心轴周围的该预成型件层或每个预成型件层的形状和构型,以提供适于垂直地围绕复杂心轴几何形状包裹以形成复杂管几何形状的复杂预成型件几何形状。通过在包裹步骤之前预先计算这种复杂的预成型件形状,包裹可以自动化并且使浪费最小化,因为预成型件层被切割并且随后被包裹,然后被模制成“近净形”,这避免或最小化了在包裹和模制步骤期间或之后产生的浪费。包裹以形成接近最终产品形状的预成型管可因此减少浪费,并且还减少或避免用于精整最终模制管状轴杆的精整过程(例如研磨过程)所需的任何时间。

[0089] 总之,本发明的优选实施例还可以提供一种高度灵活的自动化制造方法,用于形成由复合材料构成的复杂管状轴杆。因此,本发明的优选实施例还提供了一种由复合材料构成的管状轴杆,该管状轴杆一方面可以具有复杂的几何形状,但另一方面可以具有高度一致和准确对准的纤维,并具有相关联的高机械性质。

[0090] 由本发明的优选实施例生产的管状轴杆可用于由纤维增强树脂基体复合材料,特别是玻璃或碳纤维复合材料制造体育用品,例如高尔夫球杆轴杆、钓鱼竿、球拍、船的桅杆和冲浪板等或任何其它高品质复合材料管状产品。

## 附图说明

[0091] 从附图所示的本发明的几个非限制性实施例的详细描述中,本发明的其他特征和优点将变得更加清楚,其中:

[0092] 图1是根据本发明的一个实施例适用于制造由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆的方法的预成型件层的示意性平面图;

[0093] 图2a和2b分别示意性地示出了根据本发明的一个实施例的预成型件层相对于直角坐标系的平面图,以及围绕心轴包裹后的预成型件层的截面图;

[0094] 图3是详细示出根据本发明的一个实施例在心轴上包裹的预成型件层的层结构的截面的坐标图;

[0095] 图4是详细示出图3中使用的预成型件层的平面的坐标图,指示根据本发明的一个实施例待包裹在心轴上的预成型件形状和尺寸的计算;

[0096] 图5a和5b分别示意性地示出了根据本发明第二实施例的预成型件层相对于直角坐标系的平面图,以及围绕心轴包裹后的预成型件层的截面图;

[0097] 图6a和6b分别示意性地示出了根据本发明第三实施例的预成型件层相对于直角坐标系的平面图,以及围绕心轴包裹后的预成型件层的截面图;

[0098] 图7a和7b分别示意性地示出了根据本发明第四实施例的预成型件层相对于直角坐标系的平面图,以及围绕心轴包裹后的预成型件层的截面图;

[0099] 图8a和8b分别示意性地示出了根据本发明第五实施例的预成型件层相对于直角坐标系的平面图,以及围绕心轴包裹后的预成型件层的截面图;

[0100] 图9a和9b分别示意性地示出了根据本发明第六实施例的预成型件层相对于直角坐标系的平面图,以及围绕心轴包裹后的预成型件层的截面图;

[0101] 图10a和10b分别示意性地示出了根据本发明第七实施例的预成型件层相对于直角坐标系的平面图,以及围绕心轴包裹的预成型件层的截面图;

[0102] 图11a和11b分别示意性地示出了根据本发明第八实施例的预成型件层相对于直角坐标系的平面图,以及围绕心轴包裹后的预成型件层的截面图;

[0103] 图12a和12b分别示意性地示出了根据本发明第九实施例的预成型件层相对于直角坐标系的平面图,以及围绕心轴包裹后的预成型件层的截面图;

[0104] 图13a和13b分别示意性地示出了根据本发明第十实施例的预成型件层相对于直角坐标系的平面图,以及围绕心轴包裹后的预成型件层的截面图;

[0105] 图14示意性地示出了根据本发明另一实施例的由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆的一部分的纵向剖视图。

### 具体实施方式

[0106] 图1和图2a和2b示出了适用于根据本发明的一个实施例的制造细长管状轴杆的方法的柔性预成型件层2的示例。预成型件层2是柔性的,在本说明书中,这意味着如下文所描述,预成型件层2可以围绕心轴旋转缠绕以形成期望的管状形状。柔性预成型件层2包括纤维增强物6的至少一个层片4。预成型件层2具有前主表面10。优选地,预成型件层2具有恒定的厚度。然而,在另一些实施例中,厚度可以变化,可选地以受控的方式变化,例如厚度可以沿着预成型件层2的长度线性变化。预成型件层2的厚度优选在0.015至5毫米的范围内,可选地在0.1至2毫米的范围内。

[0107] 预成型件层2具有相互间隔的第一端部12和第二端部14,以及相互间隔的内边缘16和外边缘18。内边缘16和外边缘18从第一端部12向第二端部14延伸。

[0108] 根据本发明,当预成型件层2处于平面构型时,如图1所示,至少内边缘16是非线性(或者说“非直线型”)的,并且内边缘16与外边缘18之间的间距沿着在第一端部12与第二端部14之间延伸的预成型件层2的长度而变化。

[0109] 因此,预成型件层2的内边缘16的几何形状和尺寸与第一端部12与第二端部14之间的预成型件层2长度之间存在非线性关系。相应地,内边缘16与外边缘18之间的间距与第一端部12与第二端部14之间的预成型件层2长度之间存在非线性关系。因此,当预成型件层2如下所描述包裹在非圆柱形心轴周围时,一方面内边缘16位置与内边缘16与外边缘18之间的间距之间存在非线性关系,另一方面预成型件层2沿着心轴长度方向的位置与预成型件层2在沿着心轴长度方向延伸的方向(特别是沿着心轴的纵向轴线延伸的方向)上的累计转数之间存在非线性关系。

[0110] 在图1的实施例中,第一端部12和第二端部14各自包括线性端,并且各个线性端相互平行。内边缘16和外边缘18各自包括弯曲边缘。内边缘16是凸形弯曲的,外边缘18是凹形弯曲的。因此,在该实施例中,预成型件层2的形状和尺寸被设置为使得当预成型件层2处于平面构型时,内边缘16的至少一部分是弯曲的,优选地是凸形弯曲的。然而,在另一些实施

例中,内边缘16和外边缘18可以具有不同的几何形状,例如内边缘16可以是凹形弯曲的和/或外边缘18可以是凸形弯曲的。

[0111] 如下文所描述,内边缘16和外边缘18的曲率不同,并且内边缘16和外边缘18不平行。内边缘16和外边缘18中的每一个的形状和构型是基于对心轴(柔性预成型件层2将围绕该心轴包裹以形成细长管状轴杆)的几何形状、预成型件层2的厚度以及细长管状轴杆的形状和尺寸的分析来确定的。

[0112] 纤维增强物6可以具有任何纤维构型,并且可以包括编织纤维或非编织纤维,例如以单向(UD)纤维、扩展丝束纤维、缝合织物、针织或编结织物的形式。纤维增强物6可以包括具有相同或不同取向的多根纤维。纤维增强物6可以包括单层片纤维,或者替代地可以包括多层片纤维的堆叠,这些层片具有相同或不同的纤维构型。

[0113] 当存在多个层片时,尽管整个预成型件层2具有限定前主表面10、第一端部12和第二端部14以及内边缘16和外边缘18的形状和尺寸,但是与任何其他层片相比,每个层片可以可选地具有不同的形状和尺寸。此外,每个层片可以包括彼此相邻布置的两个或更多个层片部分的组合。预成型件层2或预成型件层2中多个层片中的一个或更多个层片可以在其中包括至少一个孔,该一个或更多个孔被预成型件层2包围。

[0114] 纤维增强物6的纤维可以包括任何天然和/或合成纤维。典型地,纤维增强物6包括玻璃、碳和/或芳族聚酰胺纤维,或者棉花或黄麻纤维。

[0115] 预成型件层2可包括干纤维增强物6,即不含树脂材料的纤维材料,所述树脂材料例如热固性和/或热塑性树脂材料,树脂材料随后用于形成复合材料的树脂基体。在如下所描述缠绕预成型件层2之后,在模制步骤之前或期间,干纤维增强物6可以被树脂材料涂覆、浸渍或灌注。例如,液体树脂可以在模制步骤之前或期间灌注到干纤维增强物6中。在另一个实施例中,在模制步骤之前或期间,可以在干纤维增强物6附近沉积粘结的固体树脂层。组合纤维和树脂以形成纤维增强树脂基体复合材料的其他技术对本领域技术人员来说是显而易见的。

[0116] 替代地,预成型件层2可以包括至少部分地、可选地完全地被树脂浸渍的预浸材料。

[0117] 树脂8可以是热塑性或热固性树脂。可以使用已知适用于制造纤维预成型件的任何热塑性或热固性树脂。典型地,诸如环氧树脂的热固性树脂与玻璃和/或碳纤维一起用于纤维增强物6中。当使用热固性树脂时,预成型件层2可以包括预浸料,其中纤维增强物6被树脂完全浸渍。在一些实施例中,单个预成型件层可以具有包含不同树脂的不同区域,不同树脂可以包括热塑性树脂和/或热固性树脂的混合物。

[0118] 在本发明的一些替代实施例中,预成型件层2可以包括由热固性树脂或热塑性树脂组成的干纤维增强物层和树脂层,并且预成型件层和树脂层彼此堆叠。在本发明的另外一些实施例中,由热固性树脂或热塑性树脂组成的预成型体层2中的树脂可以在如下所描述的后续包裹步骤之前部分或全部预固化。在本发明的另一些实施例中,预成型件层2可以包括芯材料(未示出)和/或位于预成型件层2或纤维增强物6的上表面上的粘合材料(未示出)。芯材料可以包括微孔材料层,例如微孔泡沫,典型地由聚合物(如聚烯烃或聚酯)或蜂窝材料组成。当提供芯材料时,在包裹步骤之后,在根据本发明制造的最终细长管状轴杆中,芯材料被夹在相对的纤维增强物层之间。

[0119] 在本发明的方法中,也如图1所示,提供了细长心轴20。心轴20可以由单个部件或连接或组装在一起的多个部件组成。心轴20典型地由金属(例如钢)构成,但是也可以由复合材料(例如纤维增强树脂基体复合材料)构成。

[0120] 心轴20具有纵向轴线L-L和相对的第一端22和第二端24,它们沿着纵向轴线L-L相互间隔开。心轴20具有外周向表面26,该外周向表面26沿着心轴20沿着纵向轴线L-L延伸的长度的至少一部分是非圆柱形的。在图1的实施例中,非圆柱形的外周向表面26是截头圆锥形的。然而,如下文所描述,心轴20可以具有任何期望的截面形状和尺寸,此外,截面形状和尺寸可以沿着心轴的长度而变化。心轴外表面26可以具有复杂的形状,并且可以包含以下几何或结构特征中的一种,或各个特征的任意组合:具有增大或/和减小或/和中性斜率的锥体;一个或更多个凸起或突起;一个或更多个凸棱;一个或更多个凹角形凹槽;或者一个或更多个凹陷;任何形状的截面并且所述形状也可以沿着心轴20长度而变化。

[0121] 本发明根据心轴和最终细长管的形状和尺寸使预成型件层预成形,从而在通过围绕心轴的纵向轴线旋转将预成型件层围绕心轴包裹之后,不管心轴的具体个别几何形状如何,都生产出所期望的细长管。因此,预成型件层的这种预成形允许使用多种不同的心轴几何形状,并且生产类似的很多种细长管几何形状。

[0122] 如下文参照本发明的各种实施例所描述,预成型件层2的第一端部12和第二端部14以及内边缘16和外边缘18可以具有各种不同的形状和尺寸,以使预成型件层2能够围绕各种不同的心轴形状和尺寸包裹,从而制造各种不同形状和尺寸的细长管。这些实施例中的共同特征是,预成型件层,特别是至少在包裹期间接触心轴外周向表面的预成型件层的内边缘,被预成形以控制相对于个别心轴的包裹。

[0123] 为了制造细长管状轴杆,在起始构型中,预成型件层2的第一端部12位于心轴20的第一端22附近。在起始构型中,内边缘16朝向心轴20定向,外边缘18远离心轴20定向。

[0124] 然后,预成型件层2围绕心轴20而包裹,使得心轴20的外周向表面26逐渐被所包裹的预成型件层2覆盖,以形成细长管28。

[0125] 在该包裹步骤期间,心轴20和预成型件层2围绕旋转轴线R-R相对旋转,该旋转轴线R-R沿着心轴20的纵向轴线L-L。典型地,心轴20围绕旋转轴线R-R旋转,以围绕心轴20包裹预成型件层2,并且预成型件层2是旋转静态的。替代地,心轴20是旋转静态的,并且预成型件层2围绕旋转轴线R-R旋转,以围绕心轴20包裹预成型件层2。

[0126] 同样在该包裹步骤期间,预成型件层2沿着进给路径32从预成型件层2的第一端部12到第二端部14连续进给到心轴20上,该进给路径32垂直于心轴20的纵向轴线L-L,从而也垂直于旋转轴线R-R。

[0127] 前主表面10旋转地包裹以与外周向表面26进行表面接触。在第一次包裹旋转之后,前主表面10优选地至少部分地与心轴20上的预成型件层2的先前包裹的部分重叠。由于包裹步骤,在细长管28中,内边缘16接触心轴20的外周向表面26,外边缘18位于细长管28的外周向表面30处。

[0128] 具体而言,预成型件层2的内边缘16的形状和尺寸被设置为使得在包裹步骤期间内边缘16与心轴20的外周向表面26连续重合,由此如图3所示,细长管28包括多个包裹层34,包裹层34形成围绕纵向轴线L-L的螺旋42,其中每个包裹层34相对于围绕纵向轴线L-L的圆柱坐标系而恒定地定向。

[0129] 优选地,在包裹步骤期间,沿着细长管28的长度的至少一部分,在其内表面29处,内边缘16的至少一部分与心轴20的外周向表面26的非圆柱形区域之间的接触形成连续的内盘绕线HL1,其沿着的多个(即至少2个)包裹层34(例如至少10个包裹层34)而延伸,与心轴20的外周向表面26重合。

[0130] 由于弯曲内边缘16的特定几何形状与心轴20的相对于纵向轴线L-L具有恒定倾斜角度的规则截头圆锥形周向表面26的组合,连续的内盘绕线HL1在包裹层34的相继盘绕旋转匝之间具有均匀的螺距。然而,在例如具有如下所描述的不规则的非圆柱形心轴表面的另一些实施例中,包裹层的相继盘绕旋转匝之间的螺距可以是可变的和非线性的。

[0131] 在一个实施例中,外边缘18的至少一部分在细长管28的外表面30处形成连续的外盘绕线HL2,该外盘绕线HL2沿着多个包裹层34与连续的内盘绕线HL1等距,使得细长管28沿着细长管28长度的至少所述部分具有恒定的厚度。

[0132] 由于预成型件层2以特定的定向位于心轴上,并围绕心轴20的纵向轴线L-L包裹,该纵向轴线因此也是细长管28的纵向轴线,因此可以通过在起始构型中提供纤维增强物的起始取向来控制纤维增强物在细长管28中的取向。

[0133] 在一个典型的实施例中,纤维增强物包括结构纤维,例如包含在单向(UD)纤维层片中的结构纤维,其在定位步骤期间平行于纵向轴线L-L而对准,并且在包裹步骤期间相对于围绕纵向轴线L-L的圆柱坐标系维持恒定取向。

[0134] 在本发明的这些优选实施例中,预成型件层2的形状和尺寸被设置为使得当预成型件层2围绕与心轴20的纵向轴线L-L重合的旋转轴线缠绕在心轴20上,并且预成型件层2沿着垂直于心轴20的纵向轴线L-L的进给路径32连续进给时,除了第一次包裹旋转匝之外,预成型件层2围绕心轴20的每次包裹旋转匝至少部分地覆盖(并且对于一些包裹旋转匝而言可以完全覆盖)紧邻的先前包裹旋转匝。

[0135] 然而,在本发明的一些实施例中,预成型件层2的形状和尺寸可以使得当预成型件层2围绕与心轴20的纵向轴线L-L重合的旋转轴线缠绕在心轴20上时,除了第一次包裹旋转匝之外,预成型件层2围绕心轴20的包裹旋转匝中的至少一些可以与紧邻先前的包裹旋转匝相邻或间隔开。

[0136] 一个或更多个预成型件层可以由多于一个预成型部件组成,这些预成型部件沿着心轴长度彼此相邻或间隔开。多个预成型部件可以顺序地或者至少部分地同时被包裹。多个预成型部件可以由相同或不同的预成型组合物(例如相同或不同的织物和/或树脂和/或取向)组成。

[0137] 在预成型件层2已经完全包裹在心轴20上之后,在本发明的一些优选实施例中,第二预成型件层(未示出)可以相应地包裹在第一预成型件层2上。可选地,第二预成型件层可以以与第一预成型件层2相同或相反的旋转方向包裹,和/或第二预成型件层可以以与第一预成型件层2相同或相反的平移方向包裹。另外的预成型件层可以包裹在第二预成型件层上。这些实施例提供了多层管状结构,与单层管状结构相比,该多层管状结构在最终的复合材料产品中可以表现出增强的机械性能。

[0138] 例如,制造诸如高尔夫球杆轴杆的体育用品的优选实施例是两层片或三层片的预成型件,轴杆包括两层片或三层片预成型件的叠层,以形成四层片或六层片多叠层结构。在每个两层片或三层片预成型件中,第一层片可包括平行定向的UD纤维,其在如上所描述的

包裹步骤之后基本上沿着轴杆沿纵向定向,一个或两个相邻的第二层片各自包括平行定向的纤维,其在如上所描述的包裹步骤之后围绕轴杆螺旋地定向,例如相对于轴杆的纵向轴线成30至45度的角度。例如,三层片预成型件可提供与轴杆的纵向轴线成 $0^{\circ}$ 、 $+45^{\circ}$ 和 $-45^{\circ}$ 的纤维。

[0139] 在包裹步骤中,典型地,(一个或更多个)预成型件层在张力下被包裹,使得初始包裹使(一个或更多个)预成型件层完全接触下面的表面,例如用于第一或唯一预成型件层的心轴的外周向表面。当预成型件的表面具有一定程度的粘性(例如在室温下典型的含热固性树脂的预浸料所表现出的粘性)时,这种包裹布置具有特殊的应用。然而,在一些替代实施例中,特别是当预成型件的表面无粘性时,例如典型的干纤维增强物所表现出的无粘性,在包裹步骤中,(一个或更多个)预成型件层可以在不对(一个或更多个)预成型件层施加张力的情况下被包裹,使得初始包裹是略微松弛的,并且将(一个或更多个)预成型件层定位成仅部分地与下面的表面接触和/或不完全处于最终细长管中的期望位置。在这样的实施例中,在包裹步骤之后,张力可以被施加到(一个或更多个)预成型件层,以使(一个或更多个)预成型件层在张力下滑动到最终细长管中的期望位置。

[0140] 此后,细长管20被模制在心轴20上,以形成由纤维增强树脂基体复合材料38组成的细长管状轴杆36,纤维增强树脂基体复合材料38由预成型件层2形成。在模制步骤之前或期间,提供树脂材料与预成型件层2的纤维增强物6接触,并且在模制步骤期间,树脂材料形成包含纤维增强物6的树脂基体。

[0141] 如上文所描述,在一些实施例中,预成型件层2可以包括预浸料,在这种情况下,(一个或更多个)包裹的预成型件层2可以经受高温,并且可选地经受施加到细长管20的外表面的外部压力,以形成模制的细长管状轴杆36。

[0142] 在另一些实施例中,干纤维增强物6包裹在心轴20周围,此后,在模制步骤之前或期间,添加树脂材料,以便与预成型件层6的纤维增强物6接触,例如通过液体树脂灌注或通过干纤维增强物附近提供粘结的固体树脂层,该固体树脂层在模制过程中液化并浸渍纤维增强物6。因此,在模制步骤中,树脂材料形成包含纤维增强物6的树脂基体。

[0143] 在模制步骤之后,细长管状轴杆36可以与心轴20分离以形成中空管;替代地,心轴20或其一部分可以保持在细长管状轴杆36的中心纵向腔40内,以形成实心构件。在任一种情况下,细长管状轴杆36可被进一步加工以形成期望的产品,例如高尔夫球杆轴杆、鱼竿或可由纤维增强树脂基体复合材料有效组成的任何其他细长管状物品。

[0144] 通过设置为预成型件层2的内边缘16的形状和尺寸被设置为使得在包裹步骤期间内边缘16连续地与心轴20的外周向表面26重合,由此细长管28包括围绕纵向轴线L-L形成螺旋体42的多个包裹层34,其中每个包裹层34平行于纵向轴线L-L,预成型件层2的形状和构型是基于细长管的几何形状预先确定的,这可以使得每个包裹层34是无褶皱的,并且包裹层34的每个区域与纵向轴线L-L一致地对准。

[0145] 这提供了高品质的复合材料结构,其中模制管状产品中的纤维取向和层构型被高度准确地控制,并且沿着细长管状轴杆36的整个长度一致地实现。

[0146] 根据本发明的优选实施例,预成型件层2的形状和尺寸被设置为使得当预成型件层2处于平面构型时,使用具有x轴和y轴的直角坐标系来限定内边缘16的至少一部分。x轴平行于第一端部12与第二端部14之间的间距,并且平行于旋转轴线R-R,从而也平行于包裹

预成型件层2所围绕而包裹的心轴20的纵向轴线L-L。y轴平行于内边缘16与外边缘18之间的间距。内边缘16的至少一部分由以下关系限定：

[0147]  $B_n = f(x_n^B, y_n^B)$ , 其中

[0148] B是内边缘相对于直角坐标系的位置；

[0149] n=包裹的预成型件层的转数；

[0150]  $x_n^B = f(c_i, e)$ , 其中 $c_i$  = 在 $B_n$ 处包裹的预成型件层的周长,  $e$  = 预成型件层的厚度；并且

[0151]  $y_i = \sum_{n=1}^i c_n$ , 其中i = 在B处包裹的预成型件层的总转数。

[0152] 换句话说, 内边缘16沿其相对于纵向轴线L-L的长度的形状和尺寸是预成型件层2 (特别是预成型件层2的厚度) 和所形成的细长管28 (特别是包裹的预成型件层34的转数和包裹的预成型件层34的周长) 在沿内边缘16相对于纵向轴线L-L的长度的任何给定位置的函数。

[0153] 实际上, 对于任何给定的心轴几何形状, 可以通过计算内边缘16的位置来确定这种关系, 该内边缘的位置从内边缘16邻接预成型件层2的第一端部12的位置开始, 该位置是内边缘16在包裹步骤期间最初接触心轴20的外周向表面26的部分。

[0154] 从该起始位置开始, 计算内边缘16在心轴20的外周向表面26上的一次包裹旋转之后的期望位置, 并且该计算是零包裹时和一次包裹旋转之后心轴20的周长之差以及该周长差的变化率的函数。对于第二包裹旋转, 计算第二包裹旋转之后内边缘16在心轴20的外周向表面26上的期望位置, 并且该计算是心轴20在第一包裹旋转与第二包裹旋转之间的周长差、该周长差的变化率以及预成型件层2的厚度的函数。此后, 对于沿着内边缘16的整个长度的每次相继包裹旋转, 计算内边缘16的形状和尺寸。

[0155] 当细长管28的外周向表面30具有非圆柱形几何形状时, 例如具有与心轴20的几何形状相对应的几何形状时, 对外边缘18进行相应的计算。然而, 如果细长管28的外周向表面30具有圆柱形几何形状, 外边缘18可以包括平行于x轴, 从而平行于心轴20的纵向轴线L-L的线性边缘。

[0156] 通过基于对预成型件层2将如何逐渐包裹给定心轴几何形状的分析来预先确定预成型件层2的精确几何形状, 可以实现一致可再现的包裹层34, 其沿着心轴20长度精确地匹配心轴几何形状。

[0157] 由于包裹垂直于旋转轴线R-R, 旋转轴线R-R对应于心轴20的纵向轴线L-L, 所以可以使用简单的控制系统容易地实现并可靠地控制包裹。这是因为通过将预成型件层2的形状和构型 (包括预成型件层2的厚度) 与心轴20和所得细长管28的形状和构型进行几何匹配, 这种几何匹配可以避免复杂和有问题的包裹参数。

[0158] 相比之下, 例如, 在常规的管成型方法中, 预成型带以与纵向轴线成锐角的缠绕角度盘绕地缠绕在心轴上。心轴的外径决定了形成的管的内径。随着心轴直径的变化, 带很容易变得相对于期望的纤维取向失准。例如, 心轴和正在形成的管的直径变化导致带相对于心轴表面的角度变化。这可能会在包裹层中引起褶皱和纤维失准, 并且需要相关联控制系统对包裹过程进行复杂和仔细的控制, 以避免这种纤维失准。

[0159] 因此, 本发明提供了一种可靠和一致的制造复合材料管的方法, 该复合材料管具有高品质的纤维取向和对准, 这可以使用低成本和简单的制造设备来实现。

[0160] 在图1中,柔性预成型件层2的形状和尺寸已经确定,使得柔性预成型件层2能够包裹在截头圆锥形心轴20上,以形成截头圆锥形且具有恒定壁厚的细长管状轴杆28。

[0161] 参考图2,图2a是相对于直角坐标系的x轴和y轴示出的图1的柔性预成型件层2的平面图。图2b示出了在围绕截头圆锥形心轴20包裹以形成细长管28之后的柔性预成型件层2,该细长管随后被模制以形成细长管状轴杆36,该细长管状轴杆36是截头圆锥形的并且具有恒定的壁厚。截头圆锥形心轴20具有圆形截面。

[0162] 如上文所描述,包裹步骤从第一端部12到第二端部14逐渐将柔性预成型件层2包裹在心轴20上。在图2a中,预成型件层2上指示的水平线H分别代表每次包裹绕转匝完成时相继包裹层的开始和结束。可以看出,随着包裹从第一端部12进行到第二端部14,由于细长管28的外表面30的直径从细长管28的相对小直径端37渐变到相对大直径端39,并且每个相继包裹层34的周长相应增加,水平线H之间的分隔距离逐渐增加。

[0163] 在图1和2的实施例中,截头圆锥形表面26相对于心轴20的纵向轴线L-L以一定角度 $\alpha$ 倾斜。预成型件层2的形状和尺寸被设置为使得当预成型件层2处于平面构型时,使用如上文所描述的直角坐标系,内边缘16的弯曲部分由以下关系限定:

[0164]  $B_n = f(x_n^B, y_n^B)$ , 其中

[0165] B是内边缘相对于直角坐标系的位置;

[0166] n=包裹的预成型件层的转数;

[0167]  $x_n^B = \sum_{i=1}^n e / \tan \alpha$ , 其中e=预成型件层的厚度,i=在B处包裹的预成型件层的总转数;并且

[0168]  $y_n^B = \sum_{i=1}^n 2\pi r_n$ , 其中 $r_n$ =旋转数为n时心轴的半径。

[0169] 对于更复杂的管几何形状,可以容易地修改该公式,以仅限定预成型件层2的预期包裹在心轴20的少于一圈的一部分的形状和尺寸,例如通过计算周长 $2\pi r_n$ 的比例。

[0170] 参考图3,该图示出了围绕心轴20包裹预成型件层2以形成由多个包裹层34组成的细长管28。心轴20是截头圆锥形的,与心轴20的纵向轴线成恒定的倾斜角度 $\alpha$ 。预成型件层2具有恒定的厚度,并且所得细长管28具有恒定的壁厚。在图3中,在细长管28的图示中,水平线代表围绕心轴20包裹以形成细长管28的预成型件层2的相继包裹层34。

[0171] 当预成型件层28圆柱形地包裹在心轴20上时,每条水平线的半径因此由以下方程式确定,其中 $r_0$ 是起点处心轴的外半径,并且e是预成型件层厚度:

$$[0172] \begin{cases} r_1 = r_0 + e \\ r_{i+1} = r_i + e \end{cases}$$

[0173] 每条水平线由分别与外管直径和内管直径相交的两个点A和B限定,两个点A和B坐标如下:

$$[0174] A_i(x_i^A, r_i) \text{ 和 } B_i(x_i^B, r_i)$$

[0175] 参考图4,该图示出了当预成型件层相对于如上文所描述的直角坐标系处于平面构型时,用于形成图3的细长管28的预成型件层2的形状和尺寸。在给定数量的包裹层34处,应用于内边缘16和外边缘18的未包裹的平面预成型件层2的y坐标是通过计算先前包裹层34的周边的所有周长的总和而获得的。

[0176] 在圆形截面的情况下,这会导致:

$$[0177] \quad \begin{aligned} y_1^A &= y_1^B = y_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \\ y_i^A &= y_i^B = y_i = \sum_{n=1}^{n=i} 2 \cdot \pi \cdot r_n \end{aligned}$$

[0178] 同样,对于更复杂的管几何形状,可以容易地修改该公式,以仅限定预成型件层2的预期包裹在心轴20的少于一次绕转的一部分的形状和尺寸,例如通过计算周长 $2\pi r_n$ 的比例。

[0179] 由于包裹是垂直于心轴20的旋转轴线R-R而进行的,内边缘16的x坐标可以计算为:

[0180]  $x_n^B = \sum_{m=1}^{n=i} e / \tan \alpha$ ,其中e=预成型件层的厚度,i=在B处包裹的预成型件层的总转数。

[0181] 可以相应地计算外边缘18的x坐标。

[0182] 预成型件层2的x,y坐标因此可以限定为:

[0183]  $A_i(x_i^A, y_i)$ 和 $B_i(x_i^B, y_i)$ 。

[0184] 在图1和2的实施例中,预成型件层2的典型厚度为0.17毫米,并且典型地,细长管28具有由15个包裹层34构成的恒定厚度,即,典型的管厚度约为2.5毫米。然而,根据本发明,可以使用其他预成型件层厚度、管厚度和包裹层34的数量。

[0185] 图14示意性示出了根据本发明另一实施例的由纤维增强树脂基体复合材料302组成的细长管状轴杆300的一部分。轴杆300包括细长管状体304,该细长管状体304包括多个包裹层308的堆叠306。每个包裹层308包括树脂基体312中的纤维增强物310。

[0186] 在图14中,为了说明清楚,各种元件的尺寸不是按比例,并且被夸大了。此外,层308的盘绕边缘显示为正交于细长管状体304的纵向轴线,因此细长管状体304的内部和外部截头圆锥形表面显示为阶梯状。然而,在该实施例的物理表现形式中,典型地,包裹层308具有的厚度如此小,并且树脂在模制过程中流动,以便与心轴的整个外周向表面和任何外模具部分接触,从而在模制的细长管状轴杆300中,这些层的盘绕边缘在肉眼看来在外表面和内表面处是平滑且连续地倾斜的,以便与细长管状轴杆300的整体截头圆锥形状对准。

[0187] 细长管状体304具有内部细长周向表面314,其具有沿着细长管状体304的长度的至少一部分具有非圆柱形几何形状的第一表面部分316。在该实施例中,也如图3所示,非圆柱形几何形状是截头圆锥形。细长管状体304还具有外部细长周向表面318,在该实施例中,也如图3所示,外部细长周向表面318具有截头圆锥形的非圆柱形几何形状。

[0188] 纤维增强物310的包裹层308的堆叠306包括纤维层320。纤维层320包括纤维增强物310的至少一个层片。

[0189] 在一个优选实施例中,纤维增强物310包括相对于围绕纵向轴线1-1的圆柱坐标系恒定定向的结构纤维。优选地,结构纤维包含在单向(UD)纤维层片中。

[0190] 纤维层320围绕细长管状体304的纵向轴线L-L螺旋地包裹,以形成包裹层308的堆叠306。每个包裹层308平行于纵向轴线L-L。

[0191] 如图3所示,在周向包围第一表面部分316的包裹层308的堆叠306的一部分322中,纤维层320具有非恒定的宽度,该宽度随着部分322中的内部细长周向表面314的半径变化而非线性地变化。

[0192] 纤维增强物310包括纤维324,纤维324沿着细长管状体304的长度相对于围绕细长管状体304的纵向轴线L-L的圆柱坐标系恒定定向。任何所述部分322中的纤维取向与该部分322的内部细长周向表面314和外部细长周向表面318的几何形状无关。

[0193] 在该实施例中,沿着第一表面部分316,纤维层320的内边缘326与内周向表面314重合,并形成沿着多个包裹层308延伸的连续内盘绕线HL3。连续的内盘绕线HL3在包裹层308的相继盘绕旋转匝之间具有均匀的螺距。连续的内盘绕线HL3典型地沿着至少10个包裹层308延伸。

[0194] 在如图1至3中相对于用于形成细长管状体304的预成型件层2相对应地示出的此实施例中,内边缘326的至少一部分328相对于正交于纵向轴线L-L延伸的横向平面T-T弯曲。典型地,内边缘326的弯曲部分328相对于纤维层320凸形弯曲。

[0195] 在该实施例中,外部细长周向表面318具有非圆柱形几何形状,并且细长管状主体304沿着其长度的至少一部分具有恒定的厚度。在另一些实施例中,如下文参照图9至13所示,外部细长周向表面可以具有圆柱形几何形状和/或细长管状体可以沿着其长度的至少一部分具有不恒定的厚度。

[0196] 图5示出了本发明的另一个实施例,它是图2a和2b的实施例的修改。图5a是相对于直角坐标系的x轴和y轴示出的柔性预成型件层52的平面图,图5b显示了在围绕截头圆锥形心轴54包裹以形成细长管56之后的柔性预成型件层52,该细长管56随后被模制以形成细长管状轴杆,该细长管状轴杆是截头圆锥形的并且具有恒定的壁厚。与图2a和2b的实施例相比,唯一的修改是预成型件层52包括延伸穿过预成型件层52厚度的孔58。孔58位于第一端部12和第二端部14以及内边缘16和外边缘18的内侧。孔58是圆形的,但是可以具有任何其他形状和尺寸。如图5b所示,柔性预成型件层52可以被包裹以形成细长管56,并在细长管56中提供开口、凹陷或腔。在另一些实施例中,可以存在多个孔。

[0197] 图6示出了本发明的另一实施例,其是图2a和2b的实施例的进一步修改。图6a是相对于直角坐标系的x轴和y轴示出的柔性预成型件层62的平面图,图6b显示了在围绕截头圆锥形心轴64包裹以形成细长管66之后的柔性预成型件层62,该细长管66随后被模制以形成细长管状轴杆,该细长管状轴杆是截头圆锥形的并且具有恒定的壁厚。与图2a和2b的实施例相比,唯一的修改是预成型件层62由其第一层部分68和第二层部分70组成。如上文所描述,第一层部分68最初包裹在心轴64上,此后,第二层部分70如上文所描述随后包裹在心轴64上,并且至少部分包裹在第一层部分68上。可选地,可以提供另外的层部分。

[0198] 在所示实施例中,第一层部分68和第二层部分70具有相同的厚度,因此形成了恒定厚度的细长管66。然而,第一层部分68和第二层部分70可以具有不同的厚度,使得细长管66具有第一厚度区域和第二厚度区域,优选地在第一厚度区域和第二厚度区域之间具有过渡区域。

[0199] 替代地或附加地,第一层部分68和第二层部分70可以具有不同的纤维增强物、树脂、取向等。

[0200] 图7示出了本发明的另一实施例,其是图2a和2b的实施例的进一步修改。图7a是相对于直角坐标系的x轴和y轴示出的柔性预成型件层72的平面图,图7b显示了围绕心轴74包裹以形成细长管76之后的柔性预成型件层72,该细长管76随后被模制以形成具有恒定壁厚的细长管状轴杆。与图2a和2b的实施例相比,唯一的修改是心轴74以及因此的细长管76不

是具有圆形截面的截头圆锥形,而是具有方形截面的截头棱锥形。

[0201] 如图7a所示,细长管76的方形轮廓可以包含到预成型件层72的内边缘75和外边缘79上的振荡边缘轮廓77的计算中。

[0202] 在一些替代实施例中,心轴可以具有其他非圆形截面,并且可以具有任何其他规则(例如多边形、椭圆形)或非规则形状。

[0203] 图8示出了本发明的另一实施例,其是图2a和2b的实施例的进一步修改。图8a是相对于直角坐标系的x轴和y轴示出的柔性预成型件层82的平面图,图8b示出了围绕心轴84包裹以形成细长管86之后的柔性预成型件层82,该细长管86随后被模制以形成具有恒定壁厚的细长管状轴杆。与图2a和2b的实施例相比,唯一的修改是预成型件层82的厚度增加,因此对于细长管86的给定厚度,包裹层的数量减少。

[0204] 在图8的实施例中,预成型件层的典型厚度为0.215毫米,并且典型地,细长管具有由8个包裹层组成的恒定厚度,即典型管厚度约为1.7毫米。

[0205] 从图2和图8的比较中可以看出,改变预成型件厚度也改变了预成型件层82的内边缘85和外边缘89的曲率几何形状;这是因为,如上文所描述,预成型件层82的厚度在计算预成型件层82的形状和构型以产生给定的细长管几何形状时是可变的。

[0206] 图9示出了本发明的另一实施例,其是图2a和2b的实施例的进一步修改。图9a是相对于直角坐标系的x轴和y轴示出的柔性预成型件层90的平面图,图9b显示了围绕心轴91包裹以形成细长管92之后的柔性预成型件层90,该细长管92随后被模制以形成具有非恒定壁厚的细长管状轴杆。

[0207] 预成型件层90和心轴91的形状和尺寸适于形成细长管92的圆柱形外表面93。特别地,外边缘94是线性的并且平行于旋转轴线,而不是像图2至8的实施例中那样是凹形弯曲的。

[0208] 与图2a和2b的实施例相比,心轴91的外周向表面95还包括在截头圆锥形表面97的至少一端98a、98b处邻近截头圆锥形表面97的圆柱形表面96a、96b。预成型件层90的形状和尺寸被设置为使得当预成型件层90处于平面构型时,在包裹步骤中接触圆柱形表面96a、96b的内边缘100的相应第二部分99a、99b在包裹步骤中是线性的并且平行于旋转轴线和纵向轴线。

[0209] 图10示出了本发明的另一实施例,其是图2a和2b的实施例的进一步修改。图10a是相对于直角坐标系的x轴和y轴示出的柔性预成型件层102的平面图,图10b显示了围绕心轴103包裹以形成细长管104之后的柔性预成型件层102,该细长管104随后被模制以形成具有非恒定壁厚的细长管状轴杆。

[0210] 预成型件层102和心轴103的形状和尺寸被设计成在细长管104的相对端106a、106b形成第一圆柱形外表面105a和第二圆柱形外表面105b,并且圆锥形外表面105c将第一圆柱形外表面105a和第二圆柱形外表面105b相互连接。此外,第一圆柱形外表面105a和第二圆柱形外表面105b在相应的第一圆柱形壁部分101a和第二圆柱形壁部分101b的外部。第一圆柱形壁部分101a的壁厚大于第二圆柱形壁部分101b的壁厚。圆锥形外表面105c在圆锥形壁部分101c的外部,圆锥形壁部分101c的壁厚从第一圆柱形壁部分101a到第二圆柱形壁部分101b逐渐增加。

[0211] 预成型件层102的形状和尺寸被设置为使得当预成型件层102处于平面构型时,在

包裹步骤中接触心轴103的圆柱形表面109a、109b的内边缘108的相应的第二部分107a、107b在包裹步骤中是线性的,并且平行于旋转轴线和纵向轴线。此外,预成型件层102的形状和尺寸被设置为使得外边缘110包括在相对的线性部分113a、113b之间的中央弯曲部分112。在包裹步骤中远离心轴103的圆柱形表面109a、109b的外边缘110的各个相应相对的线性部分113a、113b在包裹步骤中是线性的并且平行于旋转轴线和纵向轴线。

[0212] 图11示出了本发明的另一实施例,其是图2a和2b的实施例的进一步修改。图11a是相对于直角坐标系的x轴和y轴示出的柔性预成型件层115的平面图,图11b显示了围绕心轴116而包裹以形成细长管117之后的柔性预成型件层115,该细长管117随后被模制以形成具有非恒定壁厚的细长管状轴杆。

[0213] 预成型件层115的内边缘118和心轴116的形状和尺寸与图2a和2b的实施例相同,具有截头圆锥形状的恒定倾斜角度。然而,预成型件层115的外边缘119的形状和尺寸被设计成形成具有变化几何形状和尺寸的细长管117的外表面120。特别地,外表面120具有第一圆柱形部分121、第一倾斜角度的第一倾斜部分122、第二倾斜角度的第二倾斜部分123、第三倾斜角度的第三倾斜部分124、第四倾斜角度的第四倾斜部分125、第二圆柱形部分126和第五倾斜角度的第五倾斜部分127。

[0214] 使用上述针对前述实施例的计算,预成型件层115的外边缘119的形状和尺寸设置为提供用于形成第一圆柱形部分121的第一线性部分131、用于形成第一倾斜部分122的第一弯曲部分132、用于形成第二倾斜部分123的第二弯曲部分133、用于形成第三倾斜部分124的第三弯曲部分134、用于形成第四倾斜部分125的第四弯曲部分135、用于形成第二圆柱形部分126的第二线性部分136和用于形成第五倾斜部分127的第五弯曲部分137。

[0215] 图12示出了本发明的另一实施例,其是图2a和2b的实施例的进一步修改。图12a是相对于直角坐标系的x轴和y轴示出的柔性预成型件层140的平面图,图12b显示了围绕心轴142包裹以形成细长管144之后的柔性预成型件层140,该细长管144随后被模制以形成具有非恒定壁厚的细长管状轴杆。

[0216] 除了心轴142包含向外的周向突起148,突起148在中央倾斜面154的相对边缘上具有相对倾斜的截头圆锥形面150、152,相对倾斜的截头圆锥形面150、152相对于心轴142的纵向轴线具有不同的倾斜角度之外,心轴142的形状和尺寸与图2a和2b的实施例相同,具有截头圆锥形状的恒定倾斜角度。

[0217] 使用前面实施例所描述的计算,预成型件层140的内边缘156具有相对的下弯曲部分158和上弯曲部分160,用于包裹在突起148的相对边缘上的心轴142的下倾斜部分162和上部倾斜部分164。内边缘156还具有向内定向的凹口166,用于围绕突起148而包裹。凹口166由第一弯曲部分168、第二弯曲部分170和第三弯曲部分172限定,第一弯曲部分168围绕下截头圆锥形面150而包裹,第二弯曲部分170围绕中央倾斜面154而包裹,第三弯曲部分172围绕上截头圆锥形面152而包裹。

[0218] 预成型件层140的外边缘174是线性的并且平行于旋转轴线,以形成细长管144的外表面176,该外表面176是圆柱形的,如图9的实施例所示。

[0219] 图13示出了本发明的另一实施例,其是图12实施例的进一步修改。图13a是相对于直角坐标系的x轴和y轴示出的柔性预成型件层180的平面图,图13b示出了围绕心轴182包裹以形成细长管184之后的柔性预成型件层180,该细长管184随后被模制以形成具有非恒

定壁厚的细长管状轴杆。

[0220] 除了心轴182包含具有凹角形凹槽188的向外周向突起186之外,心轴182的形状和尺寸与图12的实施例相同,具有截头圆锥形的恒定倾斜角度。突起186在中心圆柱面194的相对侧上具有相对倾斜的截头圆锥形面190、192,相对倾斜的截头圆锥形面190、192相对于心轴182的纵向轴线具有不同的倾斜角度,并且凹槽188由凹角形倾斜面196限定,凹角形倾斜面196连接在截头圆锥形面192与截头圆锥形心轴182的主要外部截头圆锥形表面198之间。

[0221] 使用前面实施例所描述的计算,预成型件层180的内边缘200具有相对的下部弯曲部分202和上部弯曲部分204,用于围绕突起186的相对侧上的心轴182的下部倾斜部分206和上部倾斜部分208包裹。内边缘200还具有向内定向的凹口210,用于围绕突起186包裹。凹口210由第一弯曲部分212、第一线性部分214、第二弯曲部分216和第三弯曲部分218限定,第一弯曲部分212围绕下截头圆锥形面190而包裹,第一线性部分214围绕中央圆柱形面194而包裹,第二弯曲部分216围绕上截头圆锥形面192而包裹,第三弯曲部分218填充凹角形倾斜面196与主外截头圆锥形面198的上部倾斜部分208之间的凹槽188。

[0222] 预成型件层180的外边缘220是线性的并且平行于旋转轴线,以形成细长管184的外表面222,该外表面222是圆柱形的,如图12的实施例所示。

[0223] 根据本发明制造由纤维增强树脂基体复合材料构成的细长管状轴杆的方法不限于上述详细实施例。具体而言,在本发明的另一些实施例(未示出)中,心轴可以具有周向形状、尺寸和截面形状的任何组合。缠绕在心轴上的预成型件层的数量也可以多于一个。此外,预成型件层的层片数可以是一层或多于一层,并且层片的纤维相对于预成型件层的平行于旋转轴线的方向的取向可以是适于提供复合材料结构的期望性能的任何角度。在本发明方法的一些优选实施例中,应当选择形成纤维增强的复合材料结构,其中有益于复合材料结构主要性能的具有沿管状轴杆轴线方向的单向纤维的比例(例如,重量)大于相对于该方向倾斜定向的、可选地为单向纤维的纤维比例(例如,重量)。

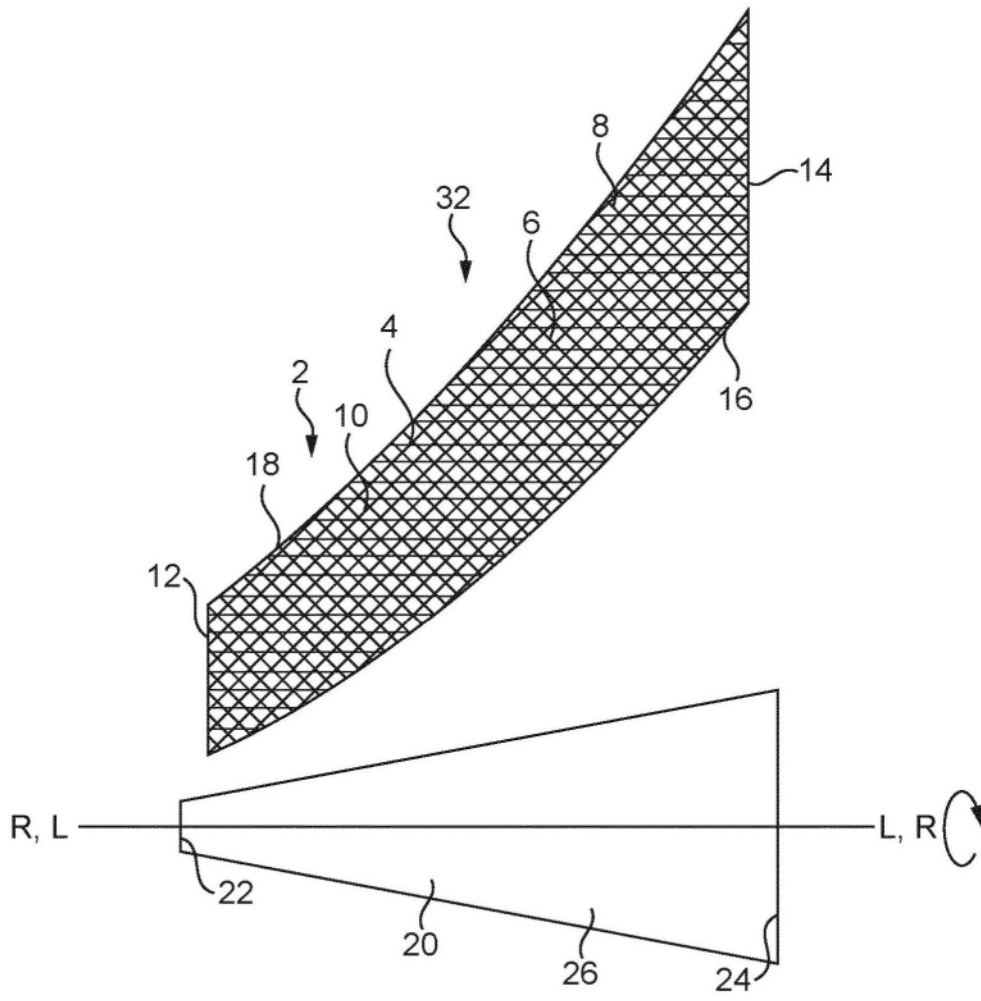


图1

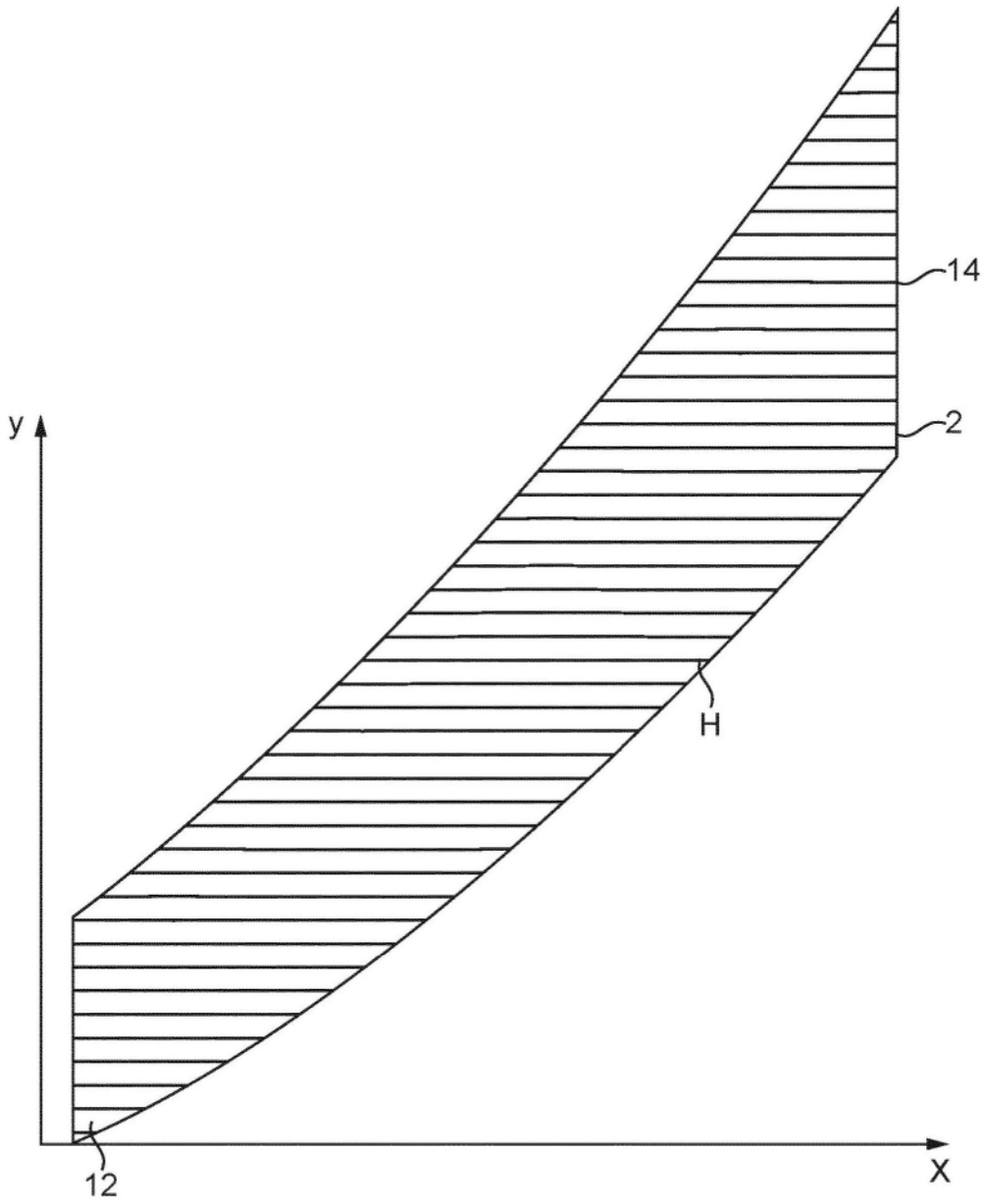


图2A

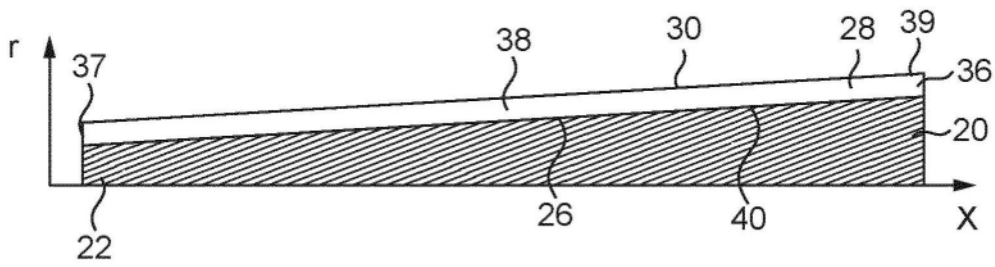


图2B

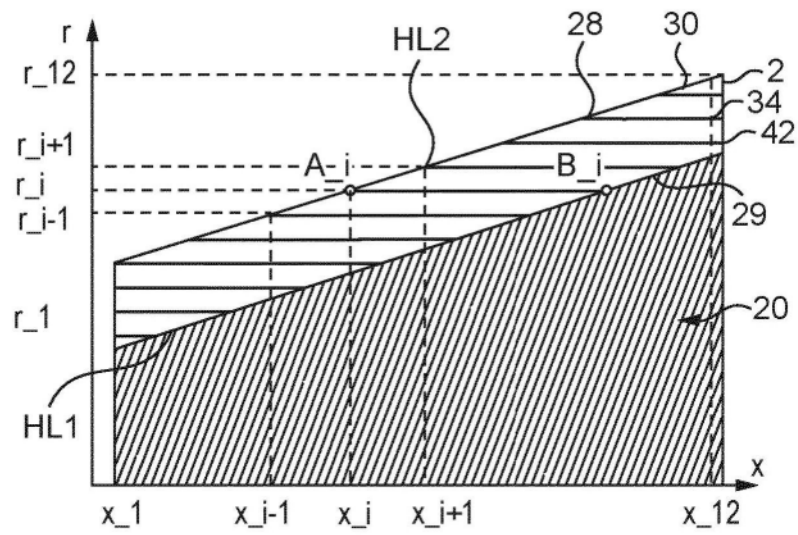


图3

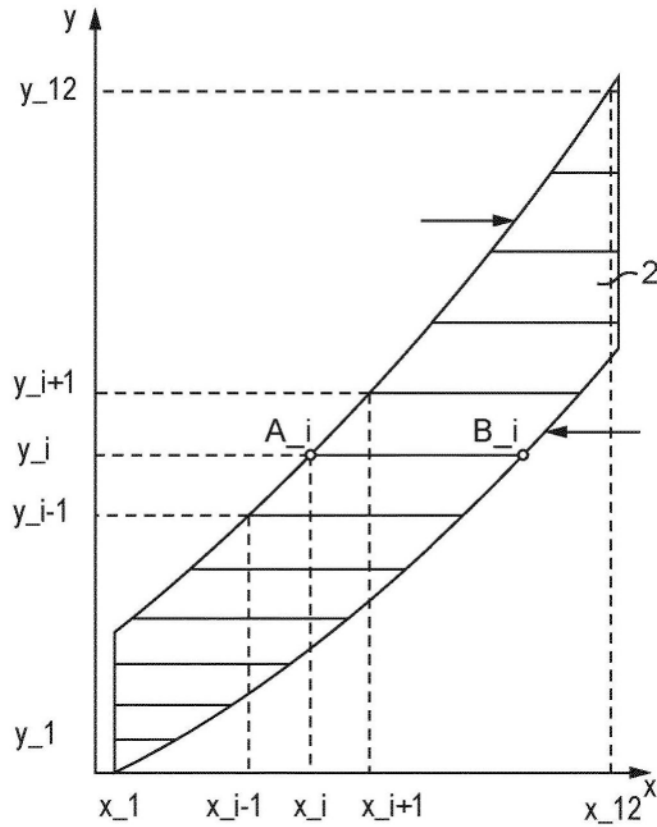


图4

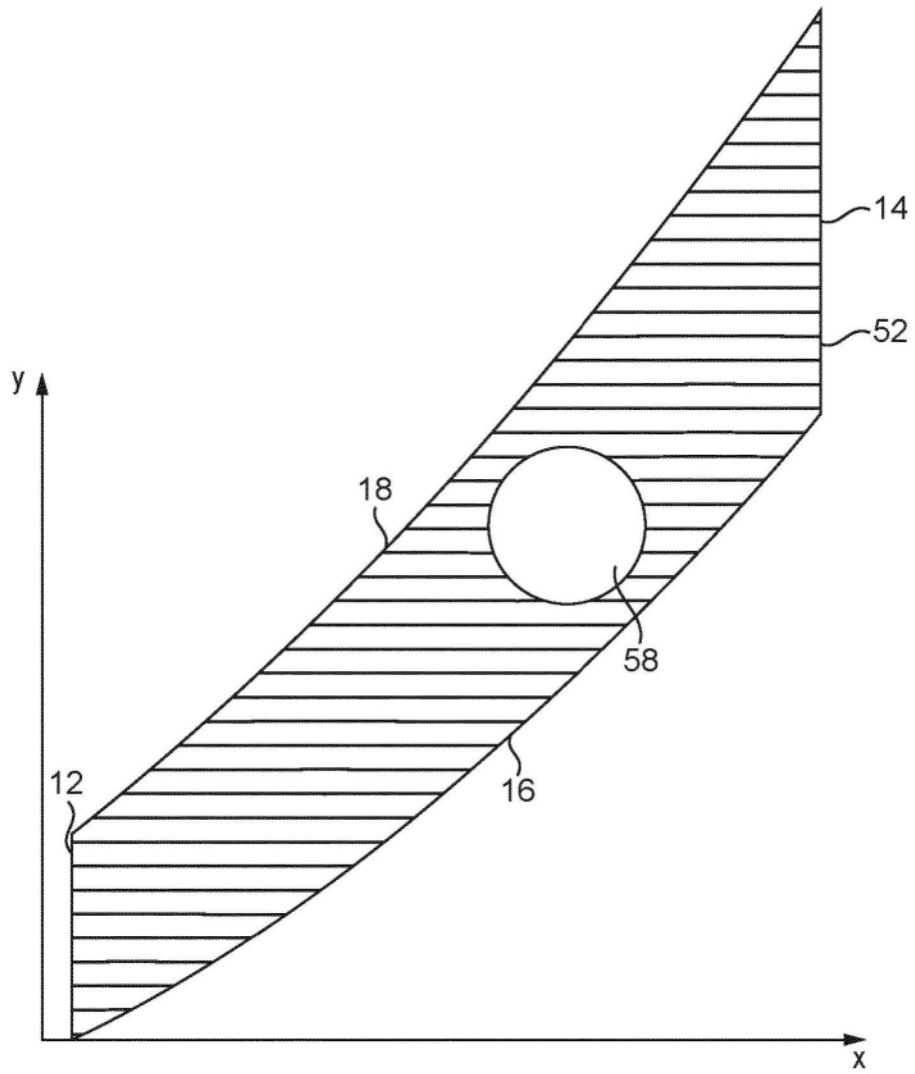


图5A

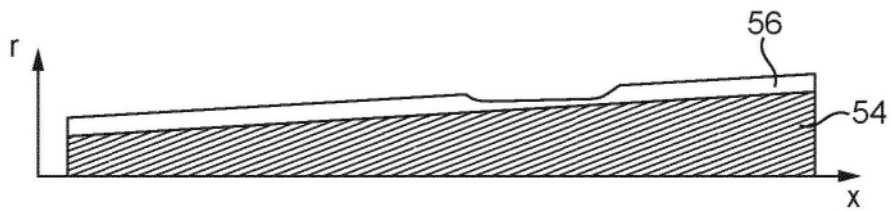


图5B

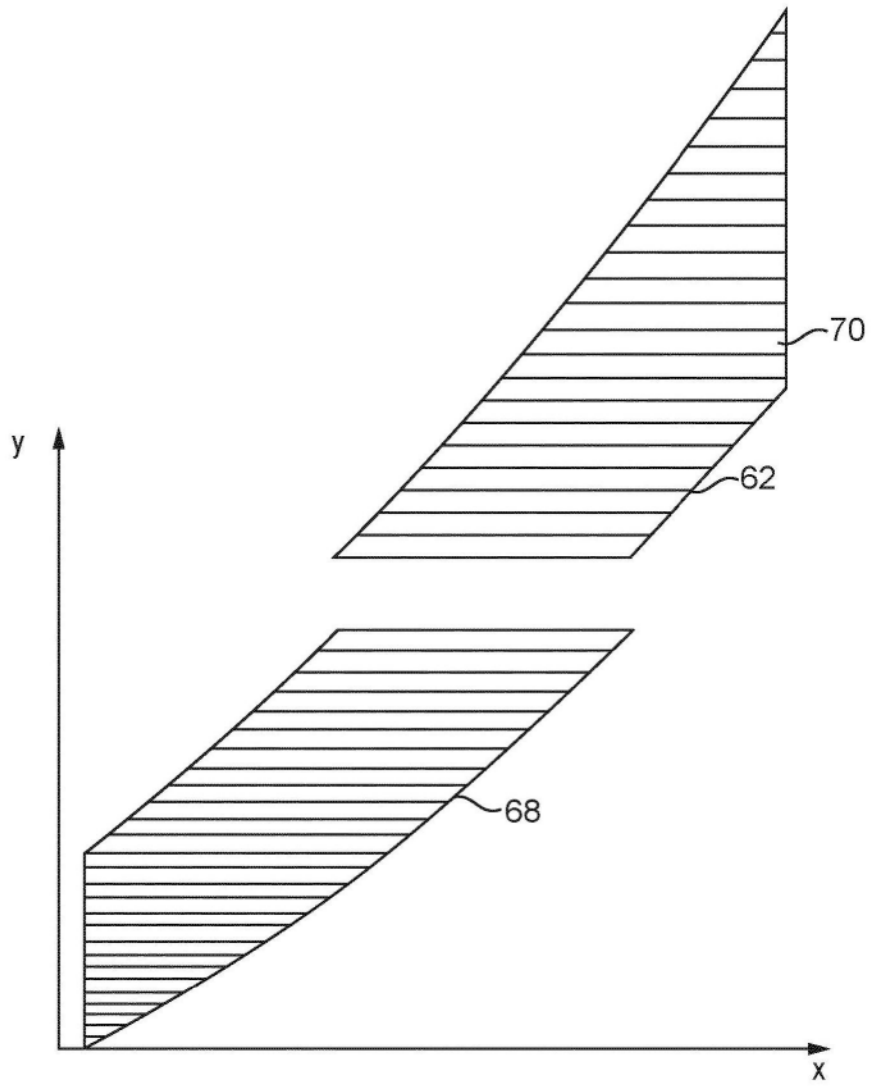


图6A

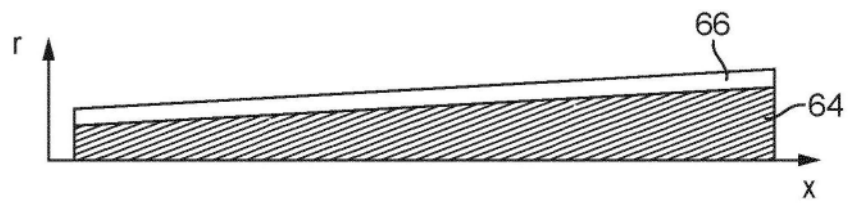


图6B

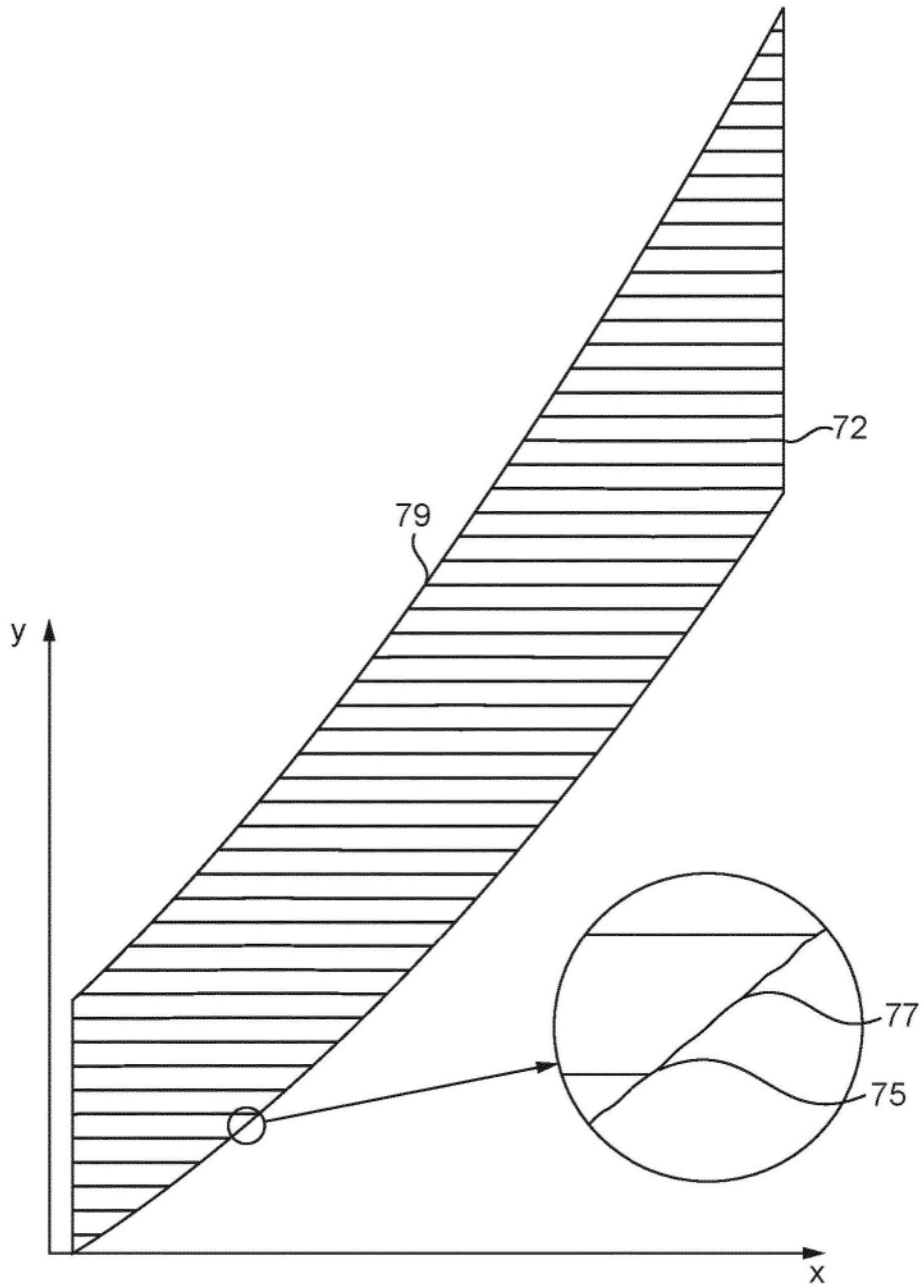


图7A

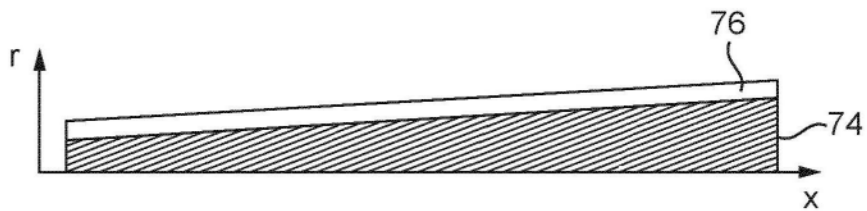


图7B

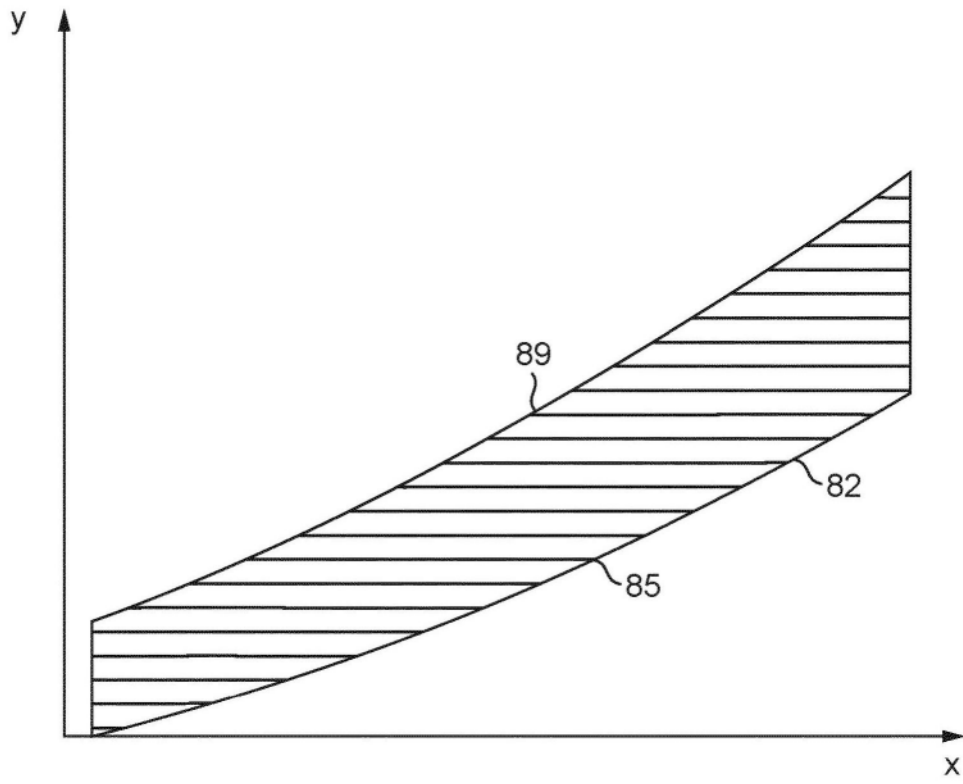


图8A

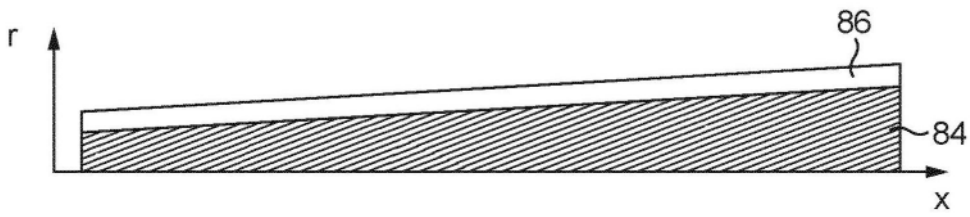


图8B

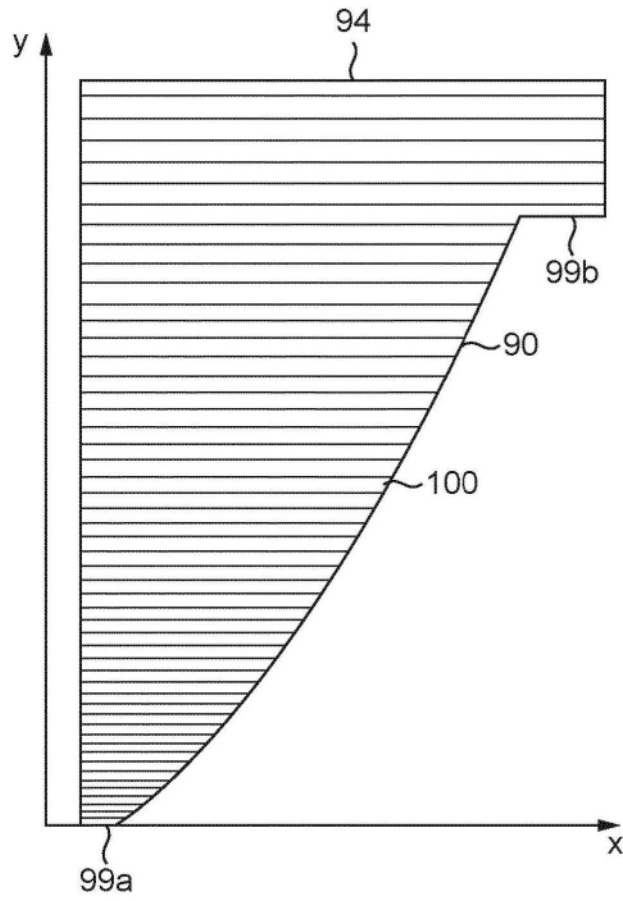


图9A

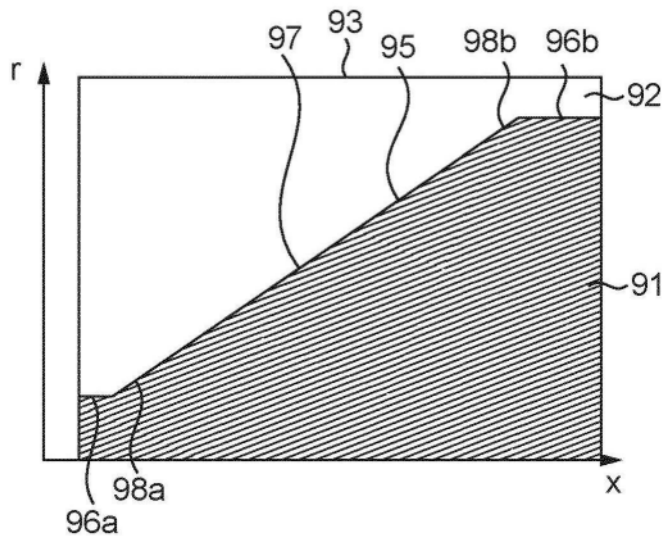


图9B

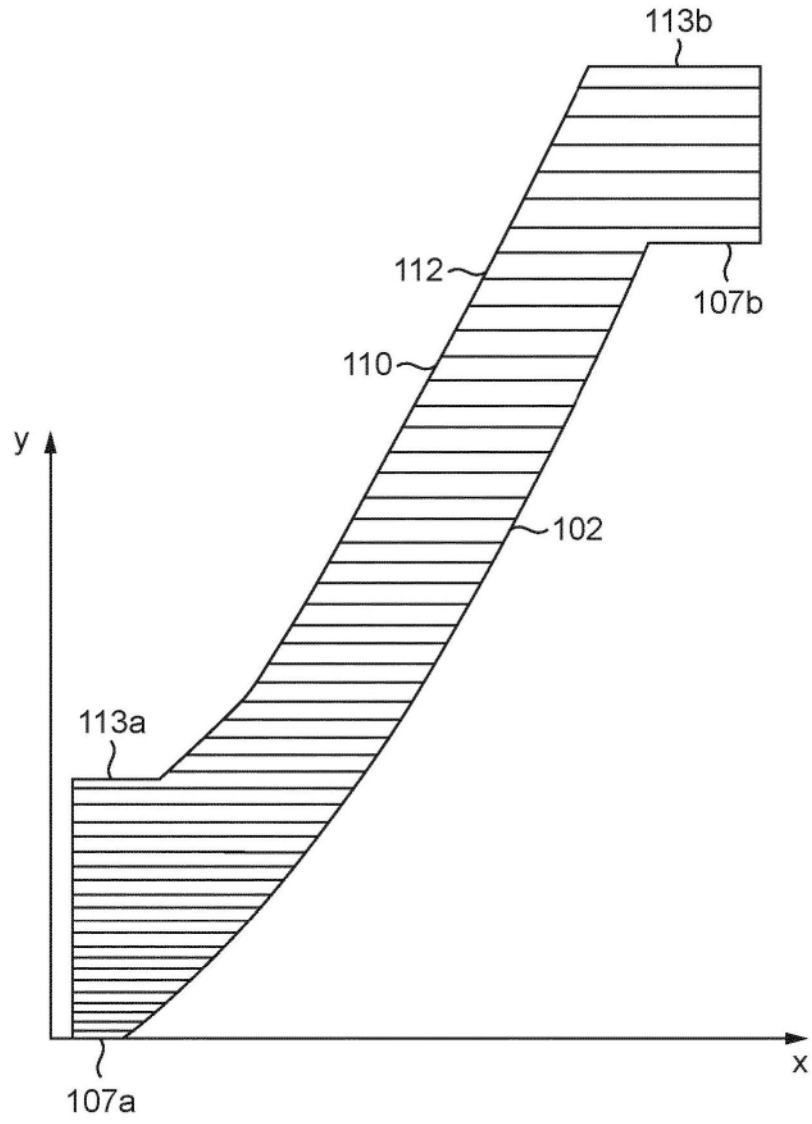


图10A

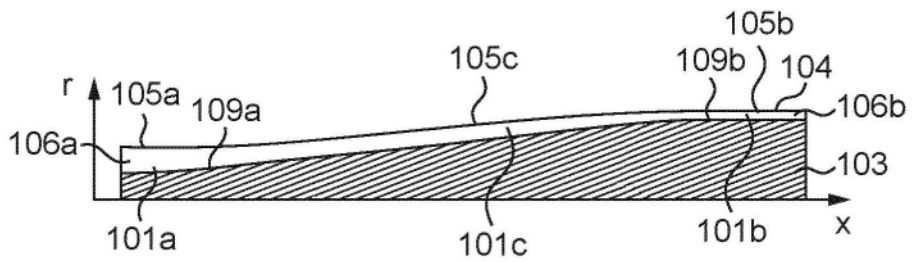


图10B

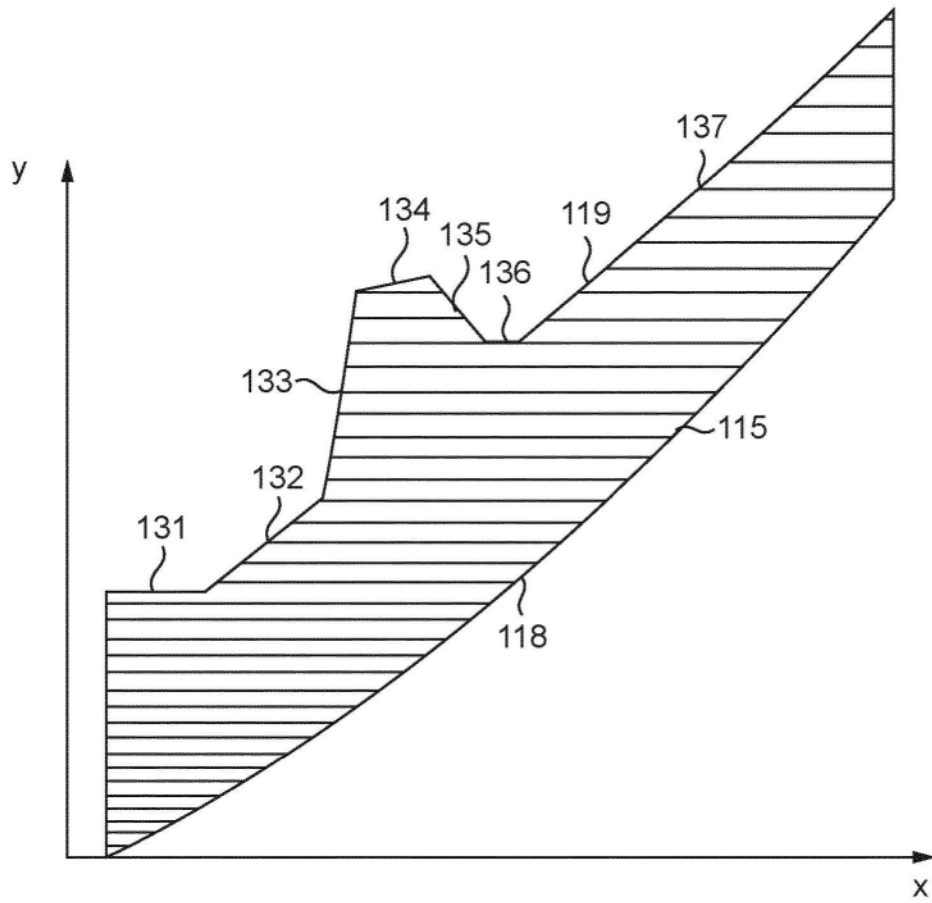


图11A

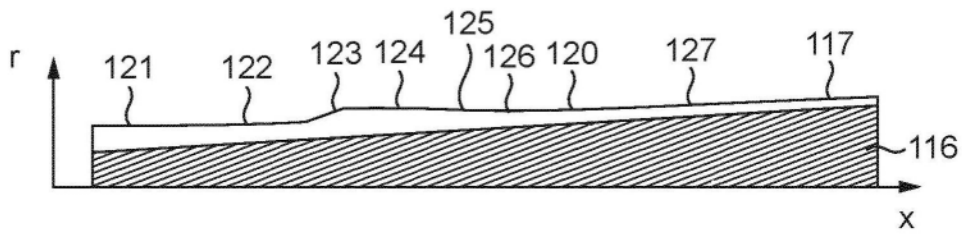


图11B

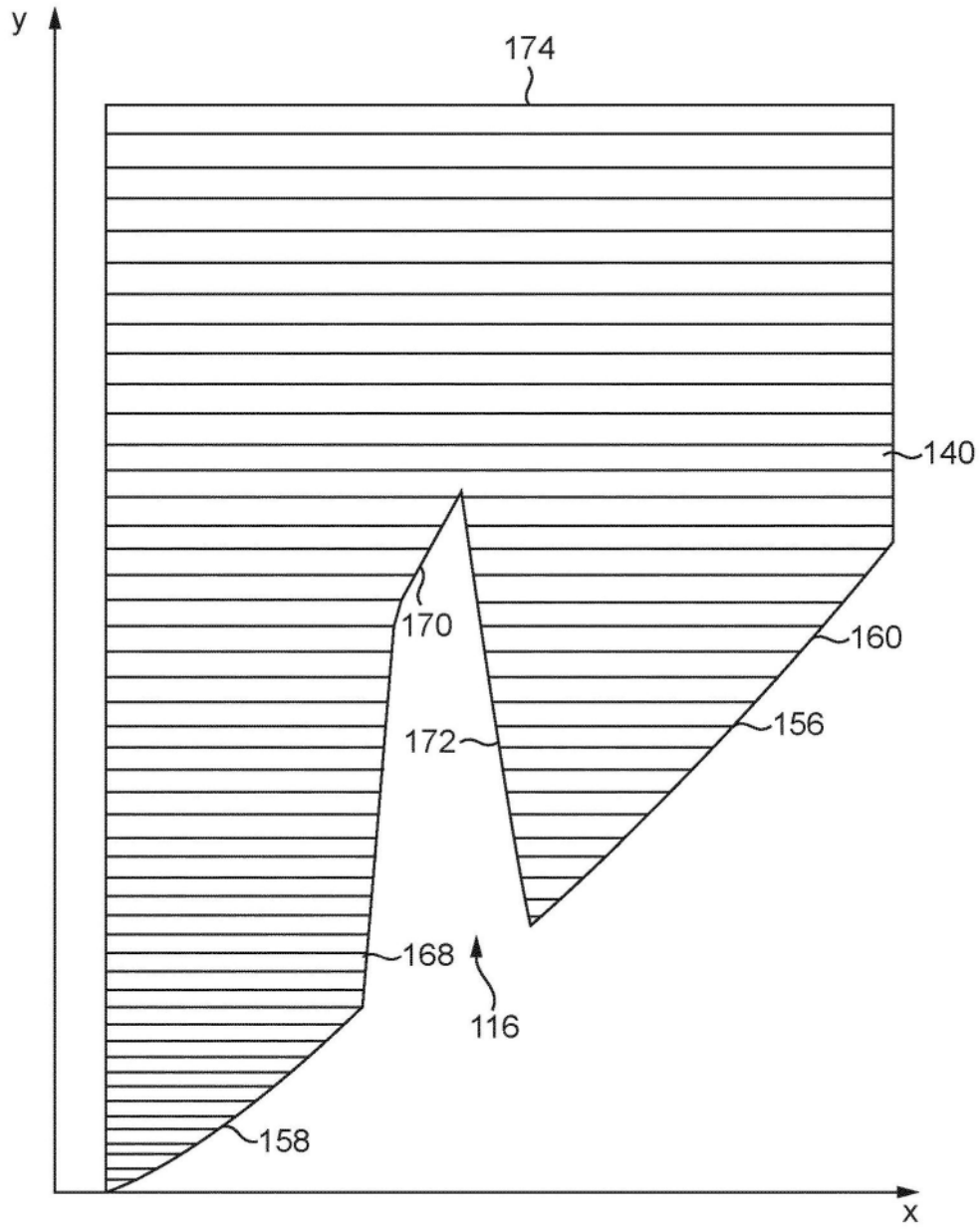


图12A

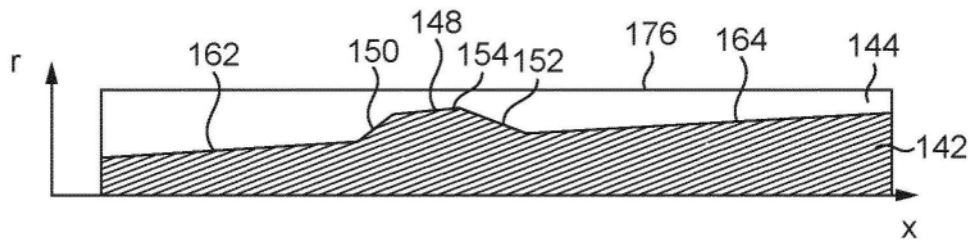


图12B

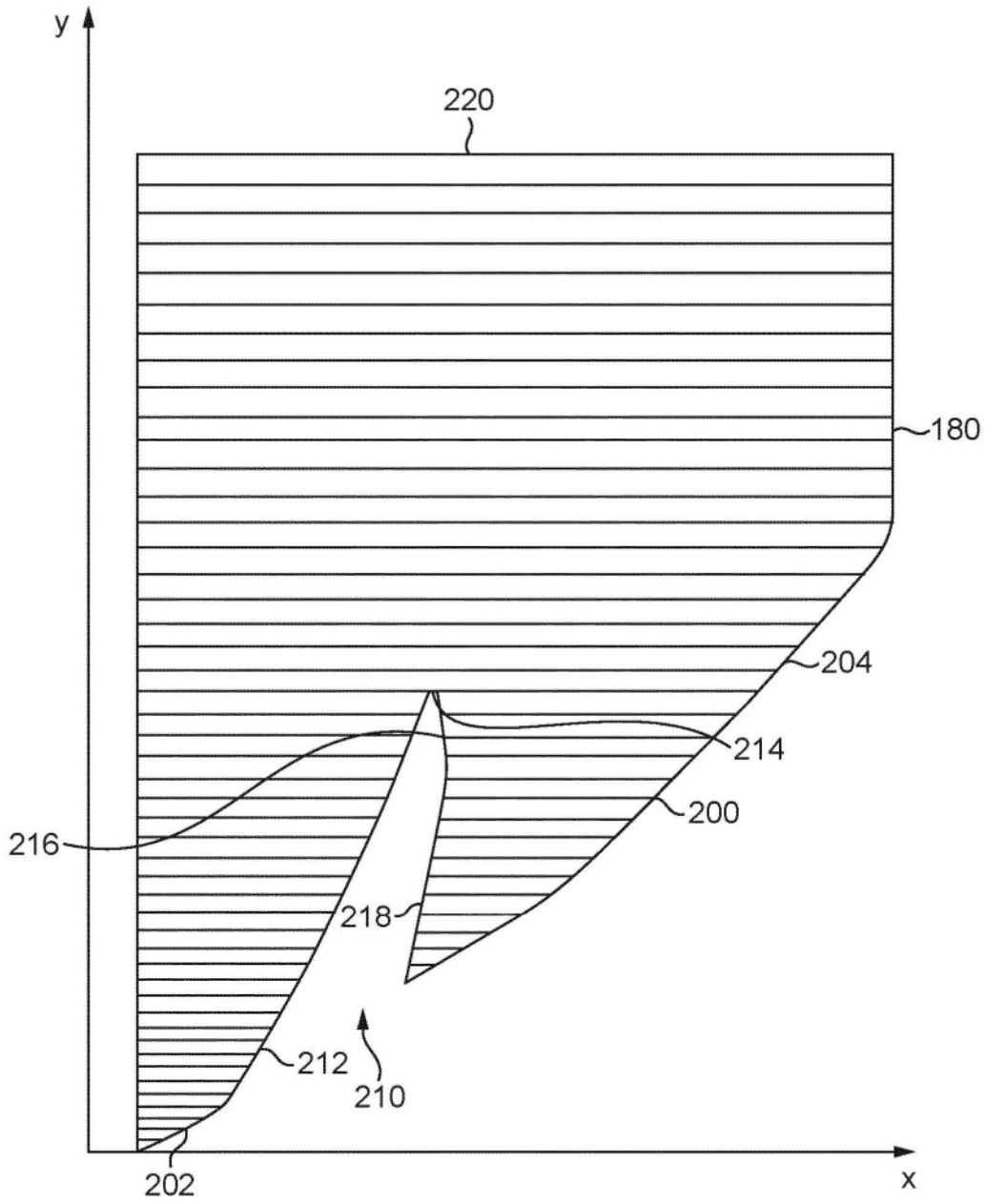


图13A

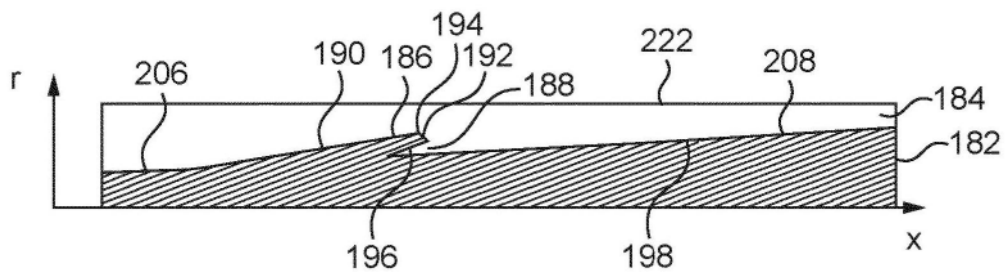


图13B

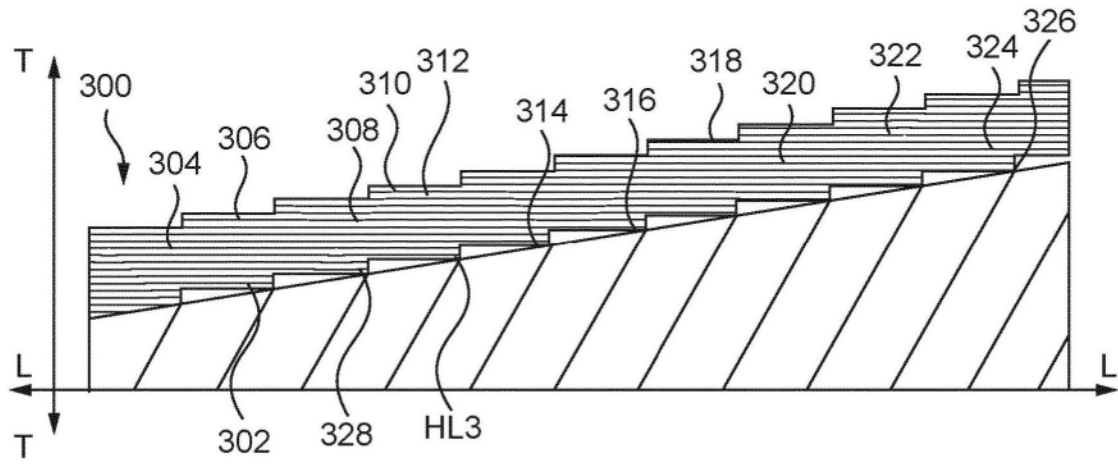


图14