



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110709583 B

(45) 授权公告日 2022.04.26

(21) 申请号 201880035189.4

野中吉纪

(22) 申请日 2018.05.30

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

(65) 同一申请的已公布的文献号

公司 11021

申请公布号 CN 110709583 A

代理人 海坤

(43) 申请公布日 2020.01.17

(51) Int.CI.

(30) 优先权数据

F01D 5/28 (2006.01)

2017-108379 2017.05.31 JP

F01D 5/30 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2019.11.27

US 4040770 A, 1977.08.09

(86) PCT国际申请的申请数据

US 2013247586 A1, 2013.09.26

PCT/JP2018/020779 2018.05.30

US 2012308391 A1, 2012.12.06

(87) PCT国际申请的公布数据

US 2016245100 A1, 2016.08.25

W02018/221596 JA 2018.12.06

US 5240375 A, 1993.08.31

(73) 专利权人 三菱重工业株式会社

US 2016341052 A1, 2016.11.24

地址 日本东京

CN 105518256 A, 2016.04.20

审查员 刘京

(72) 发明人 冈部良次 新藤健太郎 神谷昌美

权利要求书2页 说明书14页 附图7页

(54) 发明名称

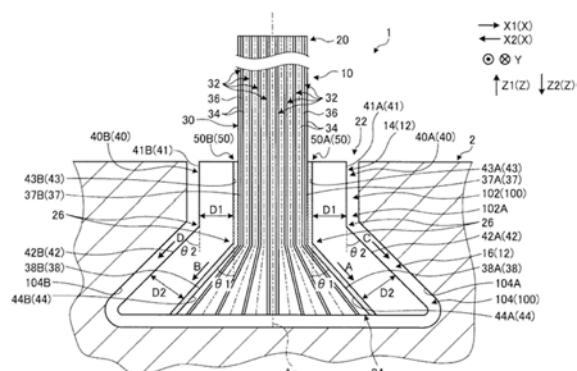
式延伸。

复合材料叶片以及复合材料叶片的制造方

法

(57) 摘要

本发明在将复合材料应用于动叶的情况下，抑制动叶的叶根部以及涡轮盘的磨损。复合材料叶片(1)具有：叶片部(10)；以及叶根部(12)，其具有直线部(14)以及支承部(16)，且复合材料叶片(1)具有：层叠体(30)，其层叠复合材料层(32)而形成，设置于从叶片部(10)到叶根部(12)的整个范围内；以及金属体(40)，其设置于叶根部(12)。层叠体(30)在叶片部(10)以及直线部(14)中沿着长尺寸方向延伸，在支承部(16)中以随着朝向末端部(24)而向远离叶片部(10)的沿着长尺寸方向的中心轴(Ax)的方向倾斜的方式延伸。金属体(40)设置于叶根部(12)中的层叠体(30)的一个表面及另一个表面，在直线部(14)中沿着长尺寸方向延伸，在支承部(16)中以随着朝向末端部(24)而向远离中心轴(Ax)的方向倾斜的方



1. 一种复合材料叶片，其具有：叶片部，其沿长尺寸方向延伸；以及叶根部，其具有直线部和支承部，所述直线部是从所述叶根部与所述叶片部的连接位置即叶端部至所述叶端部与末端部之间的位置即倾斜开始部为止的部位，所述支承部是从所述倾斜开始部至所述末端部为止的部位，其中，

所述复合材料叶片具有：层叠体，其通过层叠对强化纤维浸渍树脂而成的复合材料层而形成，设置于从所述叶片部到所述叶根部的整个范围内；金属体，其设置于所述叶根部；以及粘接剂层，其设置于所述金属体与所述层叠体之间，将所述金属体与所述层叠体接合，

所述层叠体在所述叶片部中沿着所述长尺寸方向延伸，在所述直线部中沿着所述长尺寸方向延伸，在所述支承部中以随着朝向所述叶根部的末端部而向远离所述叶片部的沿着所述长尺寸方向的中心轴的方向倾斜的方式延伸，

所述金属体设置于所述叶根部中的所述层叠体的一个表面以及另一个表面，且在所述直线部中沿着所述长尺寸方向延伸，在所述支承部中以随着朝向所述末端部而向远离所述中心轴的方向倾斜的方式延伸，

所述金属体的所述支承部中的与所述层叠体相反一侧的表面相对于所述长尺寸方向的角度，比所述金属体的所述支承部中的所述层叠体侧的表面相对于所述长尺寸方向的角度大，

所述金属体在直线部中的所述粘接剂层侧的表面上设置有切口部，该切口部设置于从所述倾斜开始部与所述叶端部之间的切口开始部到所述叶端部的整个范围内，随着从所述切口开始部朝向所述叶端部而深度变深。

2. 根据权利要求1所述的复合材料叶片，其中，

所述粘接剂层具有设置于所述直线部的所述叶端部侧的软质粘接剂层、以及设置于所述支承部的高强度粘接剂层，所述高强度粘接剂层的断裂强度以及弹性模量比所述软质粘接剂层高。

3. 根据权利要求1所述的复合材料叶片，其中，

所述粘接剂层设置于所述叶片部中的所述层叠体的表面，且设置于从所述叶端部到所述叶片部的前端部与所述叶端部之间的粘接端部的整个范围内，所述前端部是所述叶片部的与所述叶端部相反一侧的端部，随着从所述叶根部中的切口开始部朝向所述叶端部而所述粘接剂层的厚度变大，随着从所述叶片部中的所述叶端部朝向所述粘接端部而所述粘接剂层的厚度变小。

4. 根据权利要求3所述的复合材料叶片，其中，

所述复合材料叶片还具有片状的构件即覆盖部，该覆盖部将从所述叶端部中的所述金属体的端面起、经过所述粘接剂层的从所述叶端部至所述粘接端部为止的表面、直至比所述粘接端部更靠所述前端部侧处的所述层叠体的表面的范围覆盖。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的复合材料叶片，其中，

所述金属体在所述直线部中的与所述层叠体相反一侧的表面上具有减薄部，该减薄部减薄至所述层叠体相反一侧的表面与所述层叠体侧的表面之间的位置的深度。

6. 根据权利要求5所述的复合材料叶片，其中，

所述减薄部是设置于从所述倾斜开始部与所述叶端部之间的减薄开始部到所述叶端部的整个范围内、且随着从所述减薄开始部朝向所述叶端部而深度变深的槽。

7. 根据权利要求1至4中任一项所述的复合材料叶片,其中,

所述叶根部安装于涡轮盘,该涡轮盘具有:直线槽部,其沿着长尺寸方向延伸;以及支承槽部,其与所述直线槽部的端部连接,且随着远离所述直线槽部的端部而向远离所述直线槽部的中心轴的方向扩宽,所述直线部配置于所述直线槽部内,所述支承部配置于所述支承槽部内。

8. 根据权利要求5所述的复合材料叶片,其中,

所述叶根部安装于涡轮盘,该涡轮盘具有:直线槽部,其沿着长尺寸方向延伸;以及支承槽部,其与所述直线槽部的端部连接,且随着远离所述直线槽部的端部而向远离所述直线槽部的中心轴的方向扩宽,所述直线部配置于所述直线槽部内,所述支承部配置于所述支承槽部内。

9. 根据权利要求6所述的复合材料叶片,其中,

所述叶根部安装于涡轮盘,该涡轮盘具有:直线槽部,其沿着长尺寸方向延伸;以及支承槽部,其与所述直线槽部的端部连接,且随着远离所述直线槽部的端部而向远离所述直线槽部的中心轴的方向扩宽,所述直线部配置于所述直线槽部内,所述支承部配置于所述支承槽部内。

10. 一种复合材料叶片的制造方法,所述复合材料叶片具有:叶片部,其沿长尺寸方向延伸;以及叶根部,其具有直线部和支承部,所述直线部是从所述叶根部与所述叶片部的连接位置即叶端部至所述叶端部与末端部之间的位置即倾斜开始部为止的部位,所述支承部是从所述倾斜开始部至所述末端部为止的部位,其中,

所述复合材料叶片的制造方法包括:层叠体形成步骤,在该层叠体形成步骤中形成层叠体,该层叠体通过层叠对强化纤维浸渍树脂而成的复合材料层而形成,设置于从所述叶片部到所述叶根部的整个范围内;金属体形成步骤,在该金属体形成步骤中形成金属体,该金属体设置于所述叶根部;以及接合步骤,在该接合步骤中将所述金属体与所述层叠体通过粘接剂层接合,

在所述层叠体形成步骤中,将所述层叠体形成为,所述层叠体在所述叶片部中沿着所述长尺寸方向延伸,在所述直线部中沿着所述长尺寸方向延伸,在所述支承部中以随着朝向所述叶根部的与所述叶片部相反一侧的末端部而向远离所述叶片部的沿着所述长尺寸方向的中心轴的方向倾斜的方式延伸,

在所述金属体形成步骤中,将所述金属体形成为,所述金属体设置于所述叶根部中的所述层叠体的一个表面以及另一个表面,且在所述直线部中沿着所述长尺寸方向延伸,在所述支承部中以随着朝向所述末端部而向远离所述中心轴的方向倾斜的方式延伸,并且

在所述金属体形成步骤中,将所述金属体形成为,所述金属体的所述支承部中的与所述层叠体相反一侧的表面相对于所述长尺寸方向的角度,比所述金属体的所述支承部中的所述层叠体侧的表面相对于所述长尺寸方向的角度大,

所述金属体在直线部中的所述粘接剂层侧的表面上设置有切口部,该切口部设置于从所述倾斜开始部与所述叶端部之间的切口开始部到所述叶端部的整个范围内,随着从所述切口开始部朝向所述叶端部而深度变深。

## 复合材料叶片以及复合材料叶片的制造方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及复合材料叶片以及复合材料叶片的制造方法。

### 背景技术

[0002] 燃气轮机的动叶具有承受气体的叶片部、以及在叶片部的末端设置的叶根部(榫头部)。叶根部嵌合于在涡轮盘上设置的槽中。由于叶根部的厚度比叶片部大,因此成为即使在动叶作用有离心力也不会从涡轮盘的槽拔出的结构。

[0003] 作为这样的燃气轮机的动叶的原材料,近年来存在使用复合材料的情况。该复合材料通过层叠对强化纤维浸渍树脂而成的复合材料层而形成。在将复合材料应用于动叶时,存在使复合材料层(强化纤维)从叶片部延伸至叶根部的情况。另外,在专利文献1中也记载了将复合材料层与金属基材接合从而形成动叶的技术。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:专利第5331368号公报

### 发明内容

[0007] 发明所要解决的课题

[0008] 在使燃气轮机工作时,在动叶作用有离心力。叶根部由于该离心力而在与涡轮盘的槽接触的部位被按压于槽的内表面。因此,在将复合材料层应用于叶根部的情况下,存在复合材料层的树脂部分由于向槽的内表面按压的力而磨损的可能性。另外,由于存在复合材料层的强化纤维比涡轮盘硬的情况,因此有可能使涡轮盘的槽部分磨损。因此,在将复合材料应用于动叶的情况下,谋求抑制动叶的叶根部、涡轮盘的磨损。

[0009] 本公开是解决上述课题的技术,其目的在于提供一种在将复合材料应用于动叶的情况下抑制动叶的叶根部以及涡轮盘的磨损的复合材料叶片以及复合材料叶片的制造方法。

[0010] 用于解决课题的方案

[0011] 为了解决上述课题并达成目的,本发明的复合材料叶片具有:叶片部,其沿长尺寸方向延伸;以及叶端部,其具有直线部和支承部,所述直线部是从所述叶根部与所述叶片部的连接位置即叶端部至所述叶端部与末端部之间的位置即倾斜开始部为止的部位,所述支承部是从所述倾斜开始部至所述末端部为止的部位,其中,所述复合材料叶片具有:层叠体,其通过层叠对强化纤维浸渍树脂而成的复合材料层而形成,设置于从所述叶片部到所述叶根部的整个范围内;以及金属体,其设置于所述叶根部,所述层叠体在所述叶片部中沿着所述长尺寸方向延伸,在所述直线部中沿着所述长尺寸方向延伸,在所述支承部中以随着朝向所述叶根部的末端部而向远离所述叶片部的沿着所述长尺寸方向的中心轴的方向倾斜的方式延伸,所述金属体设置于所述叶根部中的所述层叠体的一个表面以及另一个表面,且在所述直线部中沿着所述长尺寸方向延伸,在所述支承部中以随着朝向所述末端部

而向远离所述中心轴的方向倾斜的方式延伸。

[0012] 优选的是,所述金属体的所述支承部中的与所述层叠体相反一侧的表面相对于所述长尺寸方向的角度,比所述金属体的所述支承部中的所述层叠体侧的表面相对于所述长尺寸方向的角度大。

[0013] 优选的是,所述复合材料叶片具有粘接剂层,该粘接剂层设置于所述金属体与所述层叠体之间,将所述金属体与所述层叠体接合。

[0014] 优选的是,所述粘接剂层具有设置于所述直线部的所述叶端部侧的软质粘接剂层、以及设置于所述支承部的高强度粘接剂层,所述高强度粘接剂层的断裂强度以及弹性模量比所述软质粘接剂层高。

[0015] 优选的是,所述金属体在直线部中的所述粘接剂层侧的表面上设置有切口部,该切口部设置于从所述倾斜开始部与所述叶端部之间的切口开始部到所述叶端部的整个范围内,随着从所述切口开始部朝向所述叶端部而深度变深。

[0016] 优选的是,所述粘接剂层设置于所述叶片部中的所述层叠体的表面,且设置于从所述叶端部到所述叶片部的前端部与所述叶端部之间的粘接端部的整个范围内,所述前端部是所述叶片部的与所述叶端部相反一侧的端部,随着从所述叶根部中的切口开始部朝向所述叶端部而所述粘接剂层的厚度变大,随着从所述叶片部中的所述叶端部朝向所述粘接端部而所述粘接剂层的厚度变小。

[0017] 优选的是,所述复合材料叶片还具有片状的构件即覆盖部,该覆盖部将从所述叶端部中的所述金属体的端面起、经过所述粘接剂层的从所述叶端部至所述粘接端部为止的表面、直至比所述粘接端部更靠所述前端部侧处的所述层叠体的表面的范围覆盖。

[0018] 优选的是,所述金属体在所述直线部中的与所述层叠体相反一侧的表面上具有减薄部,该减薄部减薄至所述层叠体相反一侧的表面与所述层叠体侧的表面之间的位置的深度。

[0019] 优选的是,所述减薄部是设置于从所述倾斜开始部与所述叶端部之间的减薄开始部到所述叶端部的整个范围内、且随着从所述减薄开始部朝向所述叶端部而深度变深的槽。

[0020] 优选的是,所述叶根部安装于涡轮盘,该涡轮盘具有:直线槽部,其沿着长尺寸方向延伸;以及支承槽部,其与所述直线槽部的端部连接,且随着远离所述直线槽部的端部而向远离所述直线槽部的中心轴的方向扩宽,所述直线部配置于所述直线槽部内,所述支承部配置于所述支承槽部内。

[0021] 为了解决上述课题并达成目的,对于本发明的复合材料叶片的制造方法,所述复合材料叶片具有:叶片部,其沿长尺寸方向延伸;以及叶端部,其具有直线部和支承部,所述直线部是从所述叶根部与所述叶片部的连接位置即叶端部至所述叶端部与末端部之间的位置即倾斜开始部为止的部位,所述支承部是从所述倾斜开始部至所述末端部为止的部位,其中,所述复合材料叶片的制造方法包括:层叠体形成步骤,在该层叠体形成步骤中形成层叠体,该层叠体通过层叠对强化纤维浸渍树脂而成的复合材料层而形成,设置于从所述叶片部到所述叶根部的整个范围内;以及金属体形成步骤,在该金属体形成步骤中形成金属体,该金属体设置于所述叶根部,在所述层叠体形成步骤中,将所述层叠体形成为,所述层叠体在所述叶片部中沿着所述长尺寸方向延伸,在所述直线部中沿着所述长尺寸方向

延伸,在所述支承部中以随着朝向所述叶根部的与所述叶片部相反一侧的末端部而向远离所述叶片部的沿着所述长尺寸方向的中心轴的方向倾斜的方式延伸,在所述金属体形成步骤中,将所述金属体形成为,所述金属体设置于所述叶根部中的所述层叠体的一个表面以及另一个表面,且在所述直线部中沿着所述长尺寸方向延伸,在所述支承部中以随着朝向所述末端部而向远离所述中心轴的方向倾斜的方式延伸。

[0022] 发明效果

[0023] 根据本公开,在将复合材料应用于动叶的情况下,能够抑制动叶的叶根部以及涡轮盘的磨损。

## 附图说明

[0024] 图1是示出第一实施方式的复合材料叶片的结构的示意图。

[0025] 图2是示出第一实施方式的复合材料叶片的详细结构的示意图。

[0026] 图3是示出本实施方式的复合材料叶片的制造方法的流程图。

[0027] 图4是示出第一实施方式的复合材料叶片的其他例子的示意图。

[0028] 图5是示出第二实施方式的复合材料叶片的详细结构的示意图。

[0029] 图6是示出第三实施方式的复合材料叶片的详细结构的示意图。

[0030] 图7是示出减薄部的一例的示意图。

[0031] 图8是示出实施例的应力分布的图。

## 具体实施方式

[0032] 以下参照附图,对本发明的优选实施方式进行详细说明。需要说明的是,本发明并不限定于该实施方式,另外,在实施方式有多个的情况下,包含将各实施方式组合而构成的方式。

[0033] (复合材料叶片的整体结构)

[0034] 图1是示出第一实施方式的复合材料叶片的结构的示意图。第一实施方式的复合材料叶片1是燃气轮机的动叶。复合材料叶片1所使用的燃气轮机用于例如航空机用发动机,但也可以用于例如发电用的燃气轮机等任意用途。

[0035] 如图1所示,复合材料叶片1从前端部20延伸至末端部24。复合材料叶片1在末端部24处安装在涡轮盘2上。以下,对方向X、Y、Z进行说明。以下,方向Z是复合材料叶片1延伸的方向、即沿着从末端部24到前端部20为止的方向。方向Z是复合材料叶片1的长尺寸方向,并且与涡轮盘2的径向(放射方向)相当。另外,方向Y是与方向Z正交的方向,且是沿着涡轮盘2的厚度方向的方向。另外,方向X是与方向Y以及方向Z正交的方向,且是沿着涡轮盘2的圆周方向的方向。

[0036] 复合材料叶片1具有叶片部10和叶根部12(榫头部)。叶片部10是承受在燃气轮机内流动的气体的叶片,叶根部12设置于叶片部10的末端。即,叶片部10从叶根部12沿着长尺寸方向(方向Z)延伸。复合材料叶片1在叶根部12处安装于涡轮盘2。涡轮盘2沿周向具有多个槽部100。复合材料叶片1通过将叶根部12嵌合在槽部100内而安装并固定在涡轮盘2上。

[0037] 以下,对复合材料叶片1的结构进行更详细地说明。图2是示出第一实施方式的复合材料叶片的详细结构的示意图。图2是从方向Y(与长尺寸方向正交的方向)观察复合材料

叶片1时的剖视图,截面为与方向Y正交的面。如图2所示,复合材料叶片1从末端部24朝向前端部20而向方向Z1延伸。需要说明的是,方向Z1是沿着方向Z的方向中的一个方向,且是从末端部24朝向前端部20的方向。方向Z2是与方向Z1相反的方向(从前端部20朝向末端部24的方向),且是沿着方向Z的方向中的另一方向。另外,将沿着方向X的方向中的一个方向设为方向X1,将沿着方向X的方向中的另一方向即与方向X1相反的方向设为方向X2。

[0038] 如图2所示,对于复合材料叶片1,从前端部20到叶端部22为止的部位成为叶片部10,从叶端部22到末端部24为止的部位成为叶根部12。叶端部22是叶片部10的末端部,且是成为叶片部10与叶根部12的边界的部位(连接部位)。叶端部22是方向Z上的前端部20与末端部24之间的位置。前端部20可以说是叶片部10的与叶端部22相反一侧的端部。另外,末端部24可以说是叶根部12的与叶片部10(叶端部22)相反一侧的端部。复合材料叶片1在叶片部10沿着方向Z(长尺寸方向)延伸。并且,复合材料叶片1在叶根部12,沿着从方向Z向方向X的两个方向倾斜的方向延伸,并向方向X的两个方向侧扩宽(突出)。

[0039] 更详细而言,复合材料叶片1在叶根部12具有直线部14和支承部16。直线部14是叶根部12的从叶端部22到倾斜开始部26为止的部位。另外,支承部16是叶根部12的从倾斜开始部26到末端部24为止的部位。倾斜开始部26是方向Z上的叶端部22与末端部24之间的位置。复合材料叶片1在直线部14中沿着方向Z(长尺寸方向)延伸。并且,复合材料叶片1在支承部16中,沿着从方向Z向方向X的两个方向倾斜的方向延伸,并且随着朝向方向Z2而向方向X的两个方向侧扩宽(突出)。这样,在复合材料叶片1中,支承部16比直线部14更朝向方向X的两侧突出。换言之,在复合材料叶片1中,支承部16中的方向X1侧的表面(表面42A)随着朝向方向Z2而向方向X1侧扩宽。另外,在复合材料叶片1中,支承部16中的方向X2侧的表面(表面42B)随着朝向方向Z2而向方向X2侧扩宽。

[0040] 另外,如图2所示,涡轮盘2的槽部100具有直线槽部102和支承槽部104。直线槽部102是沿方向Z延伸的槽,换言之,直线槽部102从涡轮盘2的外周部朝向中心而沿放射方向延伸。支承槽部104是与直线槽部102的端部102A连接的槽。端部102A是直线槽部102的方向Z2侧的端部,且是直线槽部102的最靠放射方向内侧的部位。支承槽部104是随着远离端部102A而朝向方向X的两侧扩宽的槽。即,支承槽部104以随着朝向方向Z2而朝向远离直线槽部102的中心轴Ax的方向扩宽的方式延伸。即,直线槽部102的方向X1侧的端面104A随着朝向方向Z2而向方向X1扩宽。另外,直线槽部102的方向X2侧的端面104B随着朝向方向Z2而向方向X2扩宽。这样,槽部100成为与复合材料叶片1的直线部14以及支承部16对应的形状。需要说明的是,涡轮盘2是金属制,且是例如铁素体钢、Ni基锻造合金等耐热合金。

[0041] 如图2所示,复合材料叶片1的叶根部12安装在涡轮盘2的槽部100内。对于复合材料叶片1,直线部14配置于直线槽部102内,支承部16配置于支承槽部104内。对于复合材料叶片1,直线部14中的表面(表面41)与直线槽部102的内表面接触,支承部16中的表面(表面42)与支承槽部104的内表面接触。即,对于复合材料叶片1,叶片部10(从前端部20到叶端部22为止的部位)不配置于槽部100内而从槽部100露出,叶根部12(从叶端部22到末端部24为止的部位)配置于槽部100内。需要说明的是,在图2中,为了便于说明,设为复合材料叶片1的表面不与槽部100的内表面接触的状态,但实际上如上述那样接触的。

[0042] 另外,复合材料叶片1具有层叠体30、金属体40以及粘接剂层50。首先,对层叠体30进行说明。

[0043] (层叠体的结构)

[0044] 层叠体30是层叠复合材料层32而形成的层叠体。复合材料层32是包含强化纤维36和树脂34的复合材料的层,进一步而言,是对强化纤维36浸渍树脂34而成的复合材料的层。本实施方式中的复合材料是使用碳纤维作为强化纤维36的碳纤维增强塑料(CFRP:Carbon Fiber Reinforced Plastic)。但是,强化纤维36并不限于碳纤维,也可以是其他塑料纤维、玻璃纤维或金属纤维。另外,树脂34例如是热固化性树脂或热塑性树脂。作为热固化性树脂,例如是环氧树脂。作为热塑性树脂,例如是聚醚醚酮(PEEK)、聚醚酮酮(PEKK)以及聚苯硫醚(PPS)等。需要说明的是,树脂34并不限于这些材料,也可以使用其他树脂。需要说明的是,在本实施方式中,在层叠体30中层叠有8个复合材料层32,但层叠数量是任意的,只要是多个即可。

[0045] 在复合材料层32中,沿方向Y设置有多个强化纤维36,在这些强化纤维36的周围填充有树脂34。复合材料层32通过将相邻的(层叠的)复合材料层32与树脂34彼此粘接,从而将树脂34的部分与其他复合材料层32一体化。层叠体30中的一个复合材料层32可以说是强化纤维36与其周围的树脂34所在的层。并且,层叠体30可以说是将由强化纤维36与其周围的树脂34构成的层层叠而成的。

[0046] 如图2所示,层叠体30设置于从叶片部10到叶根部12的整个范围内。在叶片部10中,即在从前端部20到叶端部22为止的部位中,层叠体30的层叠的复合材料层32沿着方向Z(长尺寸方向)延伸。另外,在叶片部10中,层叠体30的多个复合材料层32沿着方向X层叠。

[0047] 换言之,在叶片部10中,层叠体30的各复合材料层32内的强化纤维36沿着方向Z(长尺寸方向)延伸。另外,在叶片部10中,复合材料层32的沿方向Y设置有多个的强化纤维36所延伸的层沿着方向X层叠。需要说明的是,在本实施方式中,强化纤维36在叶片部10中沿着方向Z延伸,但并不限于此,强化纤维36也可以从方向Z朝向方向Y倾斜的方式延伸。即,强化纤维36只要在叶片部10中沿着与方向Z平行的平面朝向方向Z2侧延伸即可。另外,复合材料层32还可以具有沿与强化纤维36不同的方向延伸的其他强化纤维,或者也可以例如将该其他强化纤维编入到强化纤维36中。

[0048] 另外,在叶根部12中,层叠体30的层叠的复合材料层32以随着朝向方向Z2而向远离中心轴Ax的方向倾斜的方式延伸。中心轴Ax是叶片部10以及叶根部12中的沿着方向Z的层叠体30的中心轴。即,在叶根部12中,层叠体30随着朝向方向Z2而向方向X的两侧(方向X1、X2)扩宽。由此,在层叠体30中,叶根部12比叶片部10更向远离中心轴Ax的方向(方向X的两侧)突出。

[0049] 更详细而言,在叶根部12的直线部14中,即在从叶端部22到倾斜开始部26为止的部位中,层叠体30的层叠的复合材料层32沿着方向Z(长尺寸方向)延伸。另外,在直线部14中,层叠体30的多个复合材料层32沿着方向X层叠。在层叠体30中,直线部14中的方向X1侧的表面37A、以及直线部14中的方向X2侧的表面37B沿着方向Z。需要说明的是,以下,在不区分表面37A、37B的情况下,记为表面37。

[0050] 换言之,在直线部14中,层叠体30的各复合材料层32内的强化纤维36沿着方向Z(长尺寸方向)延伸。但是,强化纤维36只要在直线部14中沿着与方向Z平行的平面朝向方向Z2侧延伸即可。

[0051] 另外,在叶根部12的支承部16中,即在从倾斜开始部26到末端部24为止的部位中,

层叠体30的层叠的复合材料层32以随着朝向方向Z2而向远离中心轴Ax的方向倾斜的方式延伸。中心轴Ax是直线部14中的层叠体30的中心轴。即，在支承部16中，层叠体30随着朝向方向Z2而向方向X的两侧(方向X1、X2)扩宽。由此，在层叠体30中，支承部16比直线部14更向远离中心轴Ax的方向突出。

[0052] 更详细而言，在支承部16中，层叠体30的比中心轴Ax更靠方向X1侧的复合材料层32随着朝向方向Z2而朝向方向X1倾斜。层叠体30的支承部16中的方向X1侧的表面38A朝向末端部24而沿着第一倾斜方向A延伸。第一倾斜方向A是相对于方向Z2以规定的角度向方向X1侧倾斜的方向。

[0053] 另外，在支承部16中，层叠体30的比中心轴Ax更靠方向X2侧的复合材料层32随着朝向方向Z2而朝向方向X2倾斜。层叠体30的支承部16中的方向X2侧的表面38B朝向末端部24而沿着第二倾斜方向B延伸。第二倾斜方向B是相对于方向Z2向与第一倾斜方向A相反的一侧倾斜的方向，且是相对于方向Z2以规定的角度向方向X2侧倾斜的方向。需要说明的是，以下，在不区分表面38A、38B的情况下，记为表面38。在该情况下，层叠体30的表面38随着朝向方向Z2而向远离中心轴Ax的方向延伸，换言之，可以说是，表面38随着朝向方向Z2而向方向X的两侧(方向X1、X2)扩宽。

[0054] 另外，可以说是，在支承部16中，层叠体30的各复合材料层32内的强化纤维36以随着朝向方向Z2而向远离中心轴Ax的方向倾斜的方式延伸。即，在支承部16中，层叠体30的比中心轴Ax更靠方向X1侧的强化纤维36随着朝向方向Z2而向方向X1倾斜。另外，在支承部16中，层叠体30的比中心轴Ax更靠方向X2侧的强化纤维36随着朝向方向Z2而向方向X2倾斜。

[0055] 这样构成的层叠体30的复合材料层32从前端部20经由叶端部22以及倾斜开始部26而连续地延伸至末端部24。即，在从前端部20到叶端部22中以及从叶端部22到倾斜开始部26的范围内，复合材料层32(强化纤维36)沿着方向Z延伸。并且，复合材料层32(强化纤维36)在倾斜开始部26中向方向X的两侧(远离中心轴Ax的方向)倾斜，并延伸至末端部24。

[0056] (粘接剂层的结构)

[0057] 接下来，对粘接剂层50进行说明。粘接剂层50是粘接剂的层，设置于层叠体30的表面。粘接剂层50设置于金属体40与层叠体30之间，将金属体40与层叠体30接合。粘接剂层50将金属体40与层叠体30固定为一体。更详细而言，粘接剂层50具有粘接剂层50A和粘接剂层50B。粘接剂层50A设置于层叠体30的方向X1侧的表面，即粘接剂层50A设置于从表面37A到表面38A的整个范围内，且粘接于层叠体30的方向X1侧的表面(表面37A、38A)。另外，粘接剂层50B设置于层叠体30的方向X2侧的表面，即粘接剂层50B设置于从表面37B到表面38B的整个范围内，且粘接于层叠体30的方向X2侧的表面(表面37B、38B)。以下，在不区分粘接剂层50A、50B的情况下，将它们记为粘接剂层50。

[0058] 作为粘接剂层50的粘接剂，例如可以使用环氧树脂系粘接剂、丙烯酸系粘接剂等，但可以使用任意的粘接剂，只要能够将层叠体30与金属体40粘接即可。

[0059] (金属体的结构)

[0060] 接下来，对金属体40进行说明。金属体40是设置于叶根部12的金属制的构件。优选金属体40的硬度大于层叠体30的树脂34。另外，优选金属体40与涡轮盘2为相同材料。需要说明的是，优选金属体40是例如铁素体钢、Ni基锻造合金等耐热合金，但其材质是任意的，只要是金属制即可。

[0061] 在叶根部12中,金属体40以随着朝向方向Z2而向远离中心轴Ax的方向倾斜的方式延伸。即,在叶根部12中,金属体40随着朝向方向Z2而向方向X的两侧(方向X1、X2)扩宽。由此,在金属体40中,叶根部12比叶片部10更向远离中心轴Ax的方向(方向X的两侧)突出。

[0062] 更详细而言,在直线部14中,金属体40设置于层叠体30的表面37,且沿着方向Z(长尺寸方向)延伸。另外,在支承部16中,金属体40设置于层叠体30的表面38,且在从倾斜开始部26到末端部24为止的范围内以随着朝向方向Z2而向远离中心轴Ax的方向倾斜的方式延伸。即,在支承部16中,金属体40随着朝向方向Z2而向方向X的两侧扩宽。

[0063] 具体而言,金属体40经由粘接剂层50设置于叶根部12中的层叠体30的方向X1侧的表面(一个表面)、以及叶根部12中的层叠体30的方向X2侧的表面(另一个表面)。即,金属体40具有方向X1侧的金属体40A、以及方向X2侧的金属体40B。但是,在不区分金属体40A、40B的情况下,记为金属体40。

[0064] 在直线部14中,金属体40A沿着方向Z(长尺寸方向)延伸。在直线部14中,金属体40A经由粘接剂层50A设置于层叠体30的表面37A上,即设置于表面37A的方向X1侧。金属体40A具有表面41A和表面43A。表面41A是金属体40A的直线部14中的方向X1侧的表面,且是与粘接剂层50A(层叠体30)相反一侧的表面。表面43A是金属体40A的直线部14中的方向X2侧的表面(与表面41A相反一侧的表面),且是粘接剂层50A(层叠体30)侧的表面。金属体40A的表面43A与粘接剂层50A粘接,且沿着方向Z。金属体40A的表面41A沿着方向Z。

[0065] 另外,在支承部16中,金属体40A以随着朝向方向Z2而朝向方向X1倾斜的方式延伸。在支承部16中,金属体40A经由粘接剂层50A设置于层叠体30的表面38A上,即设置于表面38A的方向X1侧。金属体40A具有表面42A和表面44A。表面42A是金属体40A的支承部16中的方向X1侧的表面,且是与粘接剂层50A(层叠体30)相反一侧的表面。表面44A是金属体40A的支承部16中的方向X2侧的表面(与表面42A相反一侧的表面),且是粘接剂层50A(层叠体30)侧的表面。

[0066] 金属体40A的表面44A粘接于粘接剂层50,且沿着第一倾斜方向A延伸。金属体40A的表面42A沿着第三倾斜方向C延伸。第三倾斜方向C是相对于方向Z2以规定的角度向方向X1侧倾斜的方向。

[0067] 在直线部14中,金属体40B沿着方向Z(长尺寸方向)延伸。在直线部14中,金属体40B经由粘接剂层50B设置于层叠体30的表面37B上,即设置于表面37B的方向X2侧。金属体40B具有表面41B和表面43B。表面41B是金属体40B的直线部14中的方向X2侧的表面,且是与粘接剂层50B(层叠体30)相反一侧的表面。表面43B是金属体40B的直线部14中的方向X1侧的表面(与表面41B相反一侧的表面),且是粘接剂层50B(层叠体30)侧的表面。金属体40B的表面43B与粘接剂层50B粘接,且沿着方向Z。金属体40B的表面41B沿着方向Z。

[0068] 另外,在支承部16中,金属体40B以随着朝向方向Z2而朝向方向X2倾斜的方式延伸。在支承部16中,金属体40B经由粘接剂层50B设置于层叠体30的表面38B上,即设置于表面38B的方向X2侧。金属体40B具有表面42B和表面44B。表面42B是金属体40B的支承部16中的方向X2侧的表面,且是与粘接剂层50B(层叠体30)相反一侧的表面。表面44B是金属体40B的支承部16中的方向X1侧的表面(与表面42B相反一侧的表面),且是粘接剂层50B(层叠体30)侧的表面。

[0069] 金属体40B的表面44B粘接于粘接剂层50,且沿着第二倾斜方向B延伸。金属体40B

的表面42B沿着第四倾斜方向D延伸。第四倾斜方向D是相对于方向Z2向与第三倾斜方向C相反的一侧倾斜的方向,且是相对于方向Z2以规定的角度向方向X2侧倾斜的方向。

[0070] 以下,在不区分表面41A、41B的情况下,记为表面41,在不区分表面43A、43B的情况下,记为表面43。表面41可以说是金属体40的、直线部14中的与粘接剂层50(层叠体30)相反一侧的表面。表面43可以说是金属体40的、直线部14中的粘接剂层50(层叠体30)侧的表面。在该情况下,在直线部14中,金属体40通过将表面43粘接于粘接剂层50,从而能够安装在层叠体30的表面37上。另外,金属体40的表面41沿着方向Z(长尺寸方向)。在直线部14中,金属体40设置于层叠体30的表面37,且沿着方向Z(长尺寸方向)延伸。

[0071] 以下,在不区分表面42A、42B的情况下,记为表面42,在不区分表面44A、44B的情况下,记为表面44。表面42是金属体40的、支承部16中的与粘接剂层50(层叠体30)相反一侧的表面。表面44是金属体40的、支承部16中的粘接剂层50(层叠体30)侧的表面。在该情况下,在支承部16中,金属体40通过将表面44粘接于粘接剂层50,从而能够安装在层叠体30的表面38上。另外,金属体40的表面42以随着朝向末端部24(方向Z2)而向远离中心轴Ax的方向倾斜的方式延伸。由此,在金属体40中,支承部16比直线部14更向远离中心轴Ax的方向(方向X的两侧)突出。

[0072] 这样构成的金属体40从叶端部22经由倾斜开始部26而连续地延伸至末端部24。即,在从叶端部22到倾斜开始部26为止的范围内,金属体40沿着方向Z延伸。并且,金属体40在倾斜开始部26中向方向X的两侧(远离中心轴Ax的方向)倾斜,并延伸至末端部24。

[0073] 这样,关于复合材料叶片1,在叶根部12中,经由粘接剂层50将金属体40安装(固定)在层叠体30的两侧的表面上。在复合材料叶片1中,叶根部12比叶片部10更向远离中心轴Ax的方向(方向X的两侧)突出。

[0074] 在此,将金属体40的支承部16中的表面44相对于方向Z(长尺寸方向)的角度设为角度θ1。角度θ1可以说是从倾斜开始部26到末端部24为止的部位中的表面44、与从倾斜开始部26到末端部24为止的区间中的方向Z之间的角度。另外,角度θ1也可以说是第一倾斜方向A(第二倾斜方向B)与方向Z之间的角度。并且,将金属体40的支承部16中的表面42相对于方向Z(长尺寸方向)的角度设为角度θ2。角度θ2可以说是从倾斜开始部26到末端部24为止的部位中的表面42、与从倾斜开始部26到末端部24为止的区间中的方向Z之间的角度。另外,角度θ2也可以说是第三倾斜方向C(第四倾斜方向D)与方向Z之间的角度。

[0075] 在该情况下,角度θ1是锐角,且优选为34度以上且44度以下。另外,角度θ2是锐角,且优选为42度以上且52度以下。并且,优选角度θ2大于角度θ1。但是,角度θ1、θ2并不限定于此,可以是任意的角度。

[0076] 另外,将直线部14中的金属体40的厚度、即沿着方向X的长度设为厚度D1。换言之,厚度D1是方向X上的表面41与表面43之间的长度。另外,将支承部16中的金属体40的厚度、即与第三倾斜方向C(第四倾斜方向D)正交的方向上的长度设为厚度D2。换言之,厚度D2是与第三倾斜方向C正交的方向上的表面42与表面44之间的长度。在该情况下,优选厚度D2大于厚度D1。

[0077] (复合材料叶片的制造方法)

[0078] 复合材料叶片1成为以上说明的结构。接下来,对复合材料叶片1的制造方法进行说明。图3是示出本实施方式的复合材料叶片的制造方法的流程图。如图3所示,在制造复合

材料叶片1时,执行层叠体形成步骤(步骤S10)。在层叠体形成步骤中,形成层叠体30。在层叠体形成步骤中,以使层叠体30在叶片部10中沿着方向Z(长尺寸方向)延伸的方式形成层叠体30。并且,在层叠体形成步骤中,以如下方式形成层叠体30:使层叠体30在叶根部12中以随着朝向末端部24而向远离中心轴Ax的方向(方向X的两侧)倾斜的方式延伸。

[0079] 接下来,执行金属体形成步骤(步骤S12)。在金属体形成步骤中,形成金属体40。在金属体形成步骤中,以将金属体40设置于叶根部12中的层叠体30的一个表面以及另一个表面上的方式形成金属体40。并且,在金属体形成步骤中,以如下方式形成金属体40:使金属体40以随着朝向末端部24而向远离中心轴Ax的方向(方向X的两侧)倾斜的方式延伸。需要说明的是,步骤S12可以与步骤S10同时进行,也可以在步骤S10之前进行。

[0080] 接下来,执行接合步骤(步骤S14)。在接合步骤中,在层叠体30的表面、或金属体40的表面上涂敷固化前的粘接剂层50,使层叠体30与金属体40粘接。并且,通过使粘接剂层50固化,将层叠体30与金属体40接合。由此,层叠体30与金属体40成为一体,复合材料叶片1的制造结束。需要说明的是,接合步骤并不限于使用粘接剂层50,只要将层叠体30与金属体40接合即可。

[0081] 如以上说明的那样,本实施方式的复合材料叶片1具有沿长尺寸方向(方向Z)延伸的叶片部10和叶根部12。叶根部12具有从叶端部22到倾斜开始部26为止的部位的直线部14、以及从倾斜开始部26到末端部24为止的部位的支承部16。叶端部22是叶片部10与叶根部12的连接位置。末端部24是叶根部12的与叶端部22(叶片部10)相反一侧的端部。倾斜开始部26是叶端部22与末端部24之间的位置。并且,复合材料叶片1具有层叠体30和金属体40。层叠体30是通过层叠对强化纤维36浸渍树脂34而成的复合材料层32而形成的,且层叠体30设置于从叶片部10到叶根部12的整个范围内。层叠体30在叶片部10中沿着方向Z延伸,在直线部14中沿着方向Z延伸,在支承部16中以随着朝向末端部24而向远离中心轴Ax的方向倾斜的方式延伸。金属体40设置于叶根部12,且设置于叶根部12中的层叠体30的一个表面以及另一个表面上。金属体40在直线部14中沿着方向Z延伸,在支承部16中以随着朝向末端部24而向远离中心轴Ax的方向倾斜的方式延伸。

[0082] 复合材料叶片1的叶根部12嵌合在涡轮盘2的槽部100内。复合材料叶片1由于涡轮盘2的旋转而作用有朝向方向Z1侧的离心力。在复合材料叶片1中,由于该离心力,叶根部12的表面被按压于槽部100的内表面。在此,在叶根部12的最表面为层叠体30时,成为层叠体30的表面被按压于槽部100的内表面的情况。在该情况下,存在层叠体30的树脂34被按压于槽部100的内表面,从而发生磨损的可能性。另外,存在槽部100的内表面被按压于层叠体30的强化纤维36,从而发生磨损的可能性。但是,对于本实施方式的复合材料叶片1,在叶根部12中,在层叠体30的两面设置金属体40。因此,对于复合材料叶片1,在作用有离心力的情况下,金属体40的表面被按压于槽部100的内表面。在该情况下,成为金属彼此接触的结构,磨损得到抑制。这样,本实施方式的复合材料叶片1通过设置金属体40,能够抑制叶根部12以及涡轮盘2的磨损。

[0083] 另外,对于复合材料叶片1,在朝向方向Z1作用有离心力的情况下,在叶根部12中的层叠体30作用有使复合材料层32彼此剥离的力。与此相对,在本实施方式中,在叶根部12中,金属体40安装在层叠体30的两方的表面。在离心力发挥作用的情况下,该金属体40产生将层叠体30的复合材料层32彼此按压的力。因此,对于该复合材料叶片1,在朝向方向Z1作

用有离心力的情况下,能够抑制复合材料层32的剥离。另外,对于复合材料叶片1,由于设置金属体40,与之相应地将层叠体30设置得较薄,因此也能够容易地进行制造。另外,对于复合材料叶片1,例如通过将金属体40设置为与其他金属制的动叶相同的形状,从而能够将复合材料叶片1更换为其他动叶来使用。

[0084] 对于复合材料叶片1,由于朝向方向Z1的离心力,叶根部12的支承部16被按压于涡轮盘2的支承槽部104。复合材料叶片1在支承部16设置有金属体40,因此能够适当地抑制叶根部12以及涡轮盘2的磨损。另外,在复合材料叶片1,由于朝向方向Z1的离心力而产生层叠体30的复合材料层32的朝向层间的拉伸应力、以及朝向层间的剪切应力。若上述的应力增高,则存在层叠体30破损的可能性。与此相对,复合材料叶片1在直线部14中的层叠体30的表面也设置有金属体40。直线部14中的金属体40粘接于层叠体30而与其一体化,因此承受作用于层叠体30的应力的一部分,从而能够降低朝向层叠体30的应力。因此,该复合材料叶片1通过设置金属体40,能够抑制层叠体30的破损。

[0085] 另外,对于金属体40,支承部16中的表面42相对于方向Z(长尺寸方向)的角度θ2大于支承部16中的表面44相对于方向Z的角度θ1。对于该复合材料叶片1,将在金属体40的内侧倾斜的角度θ1设定得比在外侧倾斜的角度θ2小,因此由于楔形效应,能够有效地抑制由朝向方向Z2的离心力而引起的金属体40的拔出。另一方面,在将在金属体40的内侧倾斜的角度θ1设定得比在外侧倾斜的角度θ2大的情况下,在复合材料叶片面37与金属体40之间的粘接剂上产生方向X的压缩力,从而得到抑制粘接剥离的效果。在该情况下,金属体40的拔出被倾斜开始部26的弯曲部抑制。

[0086] 另外,复合材料叶片1具有粘接剂层50。粘接剂层50设置于金属体40与层叠体30之间,且将金属体40与层叠体30接合。对于该复合材料叶片1,通过粘接剂层50将金属体40与层叠体30适当地接合,因此适当地抑制金属体40与层叠体30发生磨损的情况。

[0087] 另外,叶根部12安装于涡轮盘2。涡轮盘2具有直线槽部102和支承槽部104。直线槽部102沿着长尺寸方向(方向Z)延伸。支承槽部104连接于直线槽部102的端部102A,且随着远离端部102A而向远离直线槽部102的中心轴的方向扩宽。并且,对于复合材料叶片1,直线部14配置于直线槽部102内,支承部16配置于支承槽部104内。对于该复合材料叶片1,在作用有离心力时,支承槽部104的内表面与金属体40的表面接触。因此,在将该复合材料叶片1像这样安装于涡轮盘2时,能够适当地抑制叶根部12以及涡轮盘2的磨损。

[0088] 图4是示出第一实施方式的复合材料叶片的其他例子的示意图。对于复合材料叶片1,使用粘接剂层50将层叠体30与金属体40接合,但接合方法并不限定于此。例如,如图4所示,也可以在使用粘接剂层50的同时,使用螺栓64将层叠体30与金属体40接合。在该情况下,如图4所示,金属体40在直线部14中开设有开口62。并且,层叠体30在直线部14中开设有与开口62连通的开口63。并且,对于复合材料叶片1,从该开口62、63螺合螺栓64,从而将层叠体30与金属体40接合。在该情况下,能够作用使层叠体30与金属体40接近的方向的力(压缩方向的力)。需要说明的是,在图4的例子中,除了粘接剂层50之外还使用了螺栓64来进行接合,但例如也可以不设置粘接剂层50而仅使用螺栓64来进行接合。

[0089] 接下来,对第二实施方式进行说明。对于第二实施方式中的复合材料叶片1a,金属体40a的结构以及粘接剂层50a的结构与第一实施方式不同。在第二实施方式中,对于结构与第一实施方式共通的部位,省略说明。

[0090] 图5是示出第二实施方式的复合材料叶片的详细结构的示意图。如图5所示,复合材料叶片1a具有层叠体30、金属体40a、粘接剂层50a以及覆盖部70。

[0091] 金属体40a具有切口部49。切口部49是在直线部14中的金属体40a的表面43设置的切口(槽)。切口部49在表面43设置于从切口开始部27到叶端部22为止的整个范围内。切口开始部27是叶端部22与倾斜开始部26之间的部位。对于切口部49,切口从切口开始部27开始,且沿着方向X的深度朝向叶端部22而变深。将切口部49的叶端部22中的方向X上的底部设为底部49A。底部49A位于表面43与表面41之间,且切口部49不贯穿至表面41。对于切口部49,从切口开始部27设置到叶端部22的槽成为在沿着金属体40a的方向Y的两端的范围内延伸的形状。

[0092] 在此,将金属体40a的直线部14的沿着方向Z的长度、即金属体40a的从叶端部22到倾斜开始部26为止的沿着方向Z的长度设为长度H1。并且,将切口部49的沿着方向Z的长度、即从切口开始部27到叶端部22为止的沿着方向Z的长度设为长度H2。并且,将切口部49的沿着方向X的长度(深度)、即从表面43到底部49A为止的沿着方向X的长度(深度)设为长度D3。

[0093] 在该情况下,优选长度H2为长度H1的10%以上且60%以下。另外,优选长度D3为厚度D1的10%以上且50%以下。另外,优选长度H2为5mm以上且30mm以下。并且,优选长度D3为1mm以上且5mm以下。但是,长度H2、D3的长度并不限定于此,而是任意的。

[0094] 粘接剂层50a设置于从叶根部12到叶片部10的整个范围内。具体而言,与第一实施方式同样地,粘接剂层50a在叶根部12中,设置于从末端部24到叶端部22的整个范围内。并且,粘接剂层50a在叶片部10中,设置于从叶端部22到粘接端部28的整个范围内。即,粘接剂层50a在从末端部24经过叶端部22直至粘接端部28的范围内设置。粘接端部28是叶片部10中的前端部20与叶端部22之间的部位。

[0095] 粘接剂层50a在直线部14中,即在从倾斜开始部26到叶端部22中,设置于金属体40a的表面43与层叠体30的表面37之间。并且,在表面43设置有切口部49。因此,对于粘接剂层50a,在设置有切口部49的部位中,随着从切口开始部27朝向叶端部22,厚度(沿着方向X的长度)变大。并且,粘接剂层50a设置于叶片部10中的层叠体30的表面上。对于粘接剂层50a,在叶片部10中,随着从叶端部22朝向粘接端部28,厚度(沿着方向X的长度)变小。需要说明的是,在叶片部10中,未设置有金属体40a。因此,在叶片部10中,粘接剂层50a从金属体40a露出,但被后述的覆盖部70覆盖。

[0096] 另外,粘接剂层50a具有软质粘接剂层52、以及高强度粘接剂层54。软质粘接剂层52是设置于从直线部14到叶片部10的整个范围内的粘接剂的层。即,软质粘接剂层52在从倾斜开始部26经过叶端部22直至粘接端部28的范围内设置。因此,在本实施方式中,对于软质粘接剂层52,随着从切口开始部27朝向叶端部22而厚度变大,随着从厚叶端部22朝向粘接端部28而厚度变小。另外,高强度粘接剂层54是设置于支承部16的粘接剂的层。高强度粘接剂层54在从倾斜开始部26到末端部24的整个范围内,设置于金属体40a的表面44与层叠体30的表面38之间。需要说明的是,对于直线部14,可以在全部的范围内设置软质粘接剂层52,也可以仅将在叶端部22附近刚性变化较大的部分设置为软质粘接剂层52,将其以外的部分设置为高强度粘接剂层54。即,软质粘接剂层52只要设置于直线部14的至少一部分即可,更详细而言,软质粘接剂层52只要设置于方向Z上的叶端部22侧即可,对于直线部14的其他部分,可以是软质粘接剂层52也可以是高强度粘接剂层54。

[0097] 软质粘接剂层52是由丙烯酸系的粘接剂形成的层,且弹性模量比高强度粘接剂层54低(容易弹性变形)。另外,高强度粘接剂层54是由环氧系的粘接剂形成的层,且断裂强度以及弹性模量比软质粘接剂层52高。但是,软质粘接剂层52只要是弹性模量比高强度粘接剂层54低的粘接剂即可,并不限于丙烯酸系的粘接剂的层。同样地,高强度粘接剂层54只要是断裂强度以及弹性模量软质比粘接剂层52高的粘接剂即可,并不限于环氧系的粘接剂的层。

[0098] 覆盖部70是片状的构件,且优选是复合材料层32的片状构件。覆盖部70覆盖金属体40a的端面46、叶片部10中的粘接剂层50a的表面56、以及层叠体30的从粘接端部28到覆盖端部29为止的表面,且覆盖部70接合于上述的表面。端面46是金属体40a的叶端部22中的方向Z1侧的端面。覆盖端部29是叶片部10中的前端部20与粘接端部28之间的部位。

[0099] 更详细而言,对于覆盖部70,一个端部71设置于金属体40a的端面46上,另一个端部72设置于层叠体30的覆盖端部29的表面上。即,覆盖部70从金属体40a的端面46经过粘接剂层50a的表面56、并在层叠体30的从粘接端部28到覆盖端部29为止的表面的整个范围内设置,并将它们覆盖。在此,对于覆盖部70,覆盖层叠体30的表面的区域的沿着方向Z的长度(从粘接端部28到覆盖端部29为止的沿着方向Z的长度)比覆盖金属体40a的端面46的区域的沿着方向X的长度(从一个端部71到切口部49的底部49A为止的沿着方向X的长度)长。

[0100] 如以上说明的那样,在第二实施方式中,在金属体40a设置有切口部49。切口部49在直线部14中的金属体40a的表面43中,设置于从切口开始部27到叶端部22的整个范围内。对于切口部49,随着从切口开始部27朝向叶端部22,深度变深。在第二实施方式的复合材料叶片1a中,通过设置切口部49,从而在金属体40a与层叠体30的接触部位的端部处,使由于金属体40a与层叠体30的接触而引起的局部应力降低。由此,复合材料叶片1a缓和该接触部位的端部处的层叠体30的应力集中。因此,通过该复合材料叶片1a,能够抑制层叠体30的破损。

[0101] 另外,粘接剂层50a也设置于叶片部10中的层叠体30的表面上,且设置于从叶端部22到粘接端部28的整个范围内。对于粘接剂层50a,随着从叶根部12中的切口开始部27朝向叶端部22而厚度变大,随着从叶片部10中的叶端部22朝向粘接端部28而厚度变小。对于第二实施方式的复合材料叶片1a,由于粘接剂层50a的厚度像这样倾斜,因此能够缓和叶片部10与叶根部12之间的刚性的不连续性,从而抑制层叠体30的破损。

[0102] 另外,粘接剂层50a具有在直线部14的叶端部22侧设置的软质粘接剂层52、以及在支承部16设置的高强度粘接剂层54。软质粘接剂层52的弹性模量比高强度粘接剂层54低,高强度粘接剂层54的断裂强度以及弹性模量比软质粘接剂层52高。对于层叠体30,在直线部14的叶端部22侧,即在与金属体40的接触部位的端面附近,产生局部较高的应力。与此相对,第二实施方式的复合材料叶片1a通过将弹性较高的软质粘接剂层52设置于该直线部14的叶端部22侧,能够缓和该局部应力。另外,对于复合材料叶片1a,在支承部16作用有较高的面压。在复合材料叶片1a中,通过将断裂强度以及弹性模量较高的高强度粘接剂层54设置于该支承部16,能够抑制支承部16的强度降低。这样,复合材料叶片1a通过设置软质粘接剂层52和高强度粘接剂层54,能够缓和直线部14的局部应力,并且抑制支承部16的强度降低。

[0103] 另外,复合材料叶片1a具有覆盖部70。覆盖部70是片状的构件。覆盖部70将从金属

体40a的端面46、经过从叶端部22到粘接端部28为止的粘接剂层50a的表面、至比粘接端部28更靠前端部20侧处的层叠体30的表面为止的范围覆盖。该覆盖部70连续地覆盖金属体40a的端面46、粘接剂层50a的表面以及层叠体30的表面并将它们接合,从而能够缓和由从方向X作用的力引起的使粘接剂层50a剥离的应力。

[0104] 接下来,对第三实施方式进行说明。在第三实施方式中,金属体40b的结构与第一实施方式不同。在第三实施方式中,关于结构与第一实施方式共通的部位,省略说明。

[0105] 图6是示出第三实施方式的复合材料叶片的详细结构的示意图。如图6所示,复合材料叶片1b具有金属体40b。金属体40b在直线部14中的表面41设置有减薄部80。在本实施方式中,减薄部80是设置于表面41的槽。减薄部80在从减薄开始部82到叶端部22为止的整个范围内设置于表面41。减薄开始部82是叶端部22与倾斜开始部26之间的部位。对于减薄部80,从减薄开始部82开始减薄(切口),且沿着方向X的深度朝向叶端部22而变深。将减薄部80的叶端部22中的方向X上的底部设为底部84。底部84位于表面43与表面41之间。即,减薄部80在表面41上减薄至表面43与表面41之间的深度(底部84),且减薄部80不贯穿至表面43。在本实施方式中,减薄部80是设置于从减薄开始部82到叶端部22为止的整个范围内的槽形状,但形状是任意的。减薄部80只要是在直线部14中设置于从表面41到底部84为止的整个范围内的开口即可,且优选减薄部80不贯穿至表面43。

[0106] 在此,将减薄部80的沿着方向Z的长度、即从叶端部22到减薄开始部82为止的沿着方向Z的长度设为长度H3。在该情况下,优选长度H3是长度H1的25%以上且80%以下的长度。通过将长度H3设置于该范围内,从而能够在层叠体30的复合材料层32的层间的应力从压缩方向切换为拉伸方向的部位设置减薄开始部82,在产生拉伸方向的应力的区域设置减薄部80。由此,能够更适当地缓和局部应力。

[0107] 图7是示出减薄部的一例的示意图。如图7所示,减薄部80可以以隔着壁部86的方式沿方向Y设置有多个。但是,对于减薄部80,在从减薄开始部82到叶端部22为止的范围内设置的槽也可以成为在沿着金属体40b的方向Y的两端的整个范围内延伸的形状。

[0108] 如以上所述,第三实施方式的复合材料叶片1b的金属体40b具有减薄部80。减薄部80是在金属体40b的直线部14中的表面41上,减薄至表面41与表面43之间的深度的开口(槽)。对于层叠体30,在直线部14中,在与金属体40接触的接触部位的端面附近,产生局部较高的应力。与此相对,复合材料叶片1b将金属体40b的与层叠体30相反一侧的表面41减薄。由此,对于复合材料叶片1b,使直线部14中的金属体40的刚性降低,从而能够缓和与金属体40b接触的接触部位的端面附近的局部应力。

[0109] 另外,减薄部80是设置于从减薄开始部82到叶端部22的整个范围内,且随着从减薄开始部82朝向叶端部22而深度变深的槽。对于该复合材料叶片1b,使金属体40b的与层叠体30相反一侧的表面41随着朝向叶端部22而减薄深度变深。由此,该复合材料叶片1b能够更适当地缓和与金属体40b接触的接触部位的端面附近的局部应力。

[0110] (实施例)

[0111] 接下来,对实施例进行说明。图8是示出实施例的应力分布的图。实施例使用第一实施方式的复合材料叶片1的模型,施加朝向方向Z1的离心力,对叶根部12被约束在涡轮盘2的槽部100中的状态下的应力分布进行解析。如图8所示,在复合材料叶片1的模型中,在作用有离心力F的情况下,在区域Ar1中,层叠体30的复合材料层32的层间的应力沿着拉伸方

向起作用。并且,在区域Ar2中,层叠体30的复合材料层32的层间的应力沿着压缩方向起作用。区域Ar1是从叶端部22到直线部14的正中间附近的部位为止的区域。区域Ar2是从直线部14的正中件附近的部位到整个支承部16的区域。即,根据实施例可知,在直线部14的正中间附近,层叠体30的复合材料层32的层间的应力从压缩方向切换为拉伸方向。因此可知,通过将第三实施方式所记载的长度H3设为长度H1的25%以上且80%以下的长度,能够在产生拉伸方向的应力的区域适当地设置减薄部80。

[0112] 以上对本公开的实施方式进行了说明,但实施方式并不限定于该实施方式的内容。另外,前述的构成要素包括本领域技术人员容易设想、实质上相同的所谓等同范围的要素。此外,前述的构成要素能够适当地组合。此外,能够在不脱离前述实施方式要旨的范围内进行构成要素的多种省略、置换或变更。

[0113] 附图标记说明

[0114] 1...复合材料叶片;

[0115] 2...涡轮盘;

[0116] 10...叶片部;

[0117] 12...叶根部;

[0118] 14...直线部;

[0119] 16...支承部;

[0120] 20...前端部;

[0121] 22...叶端部;

[0122] 24...末端部;

[0123] 30...层叠体;

[0124] 32...复合材料层;

[0125] 34...树脂;

[0126] 36...强化纤维;

[0127] 40、40A、40B...金属体;

[0128] 50、50A、50B...粘接剂层;

[0129] Ax...中心轴。

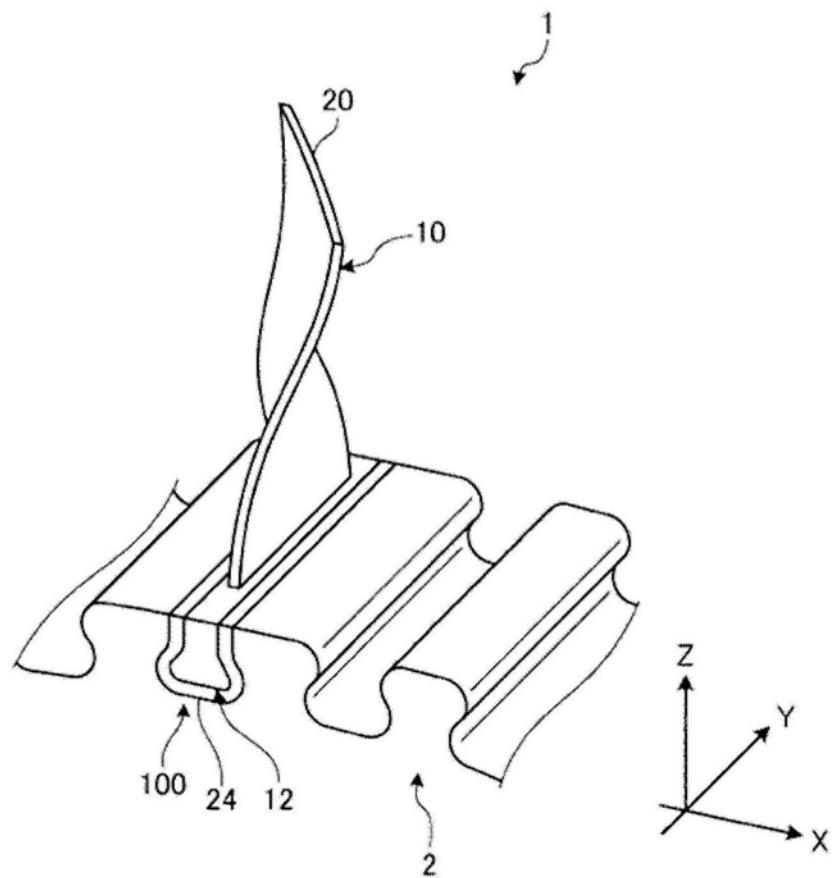


图1

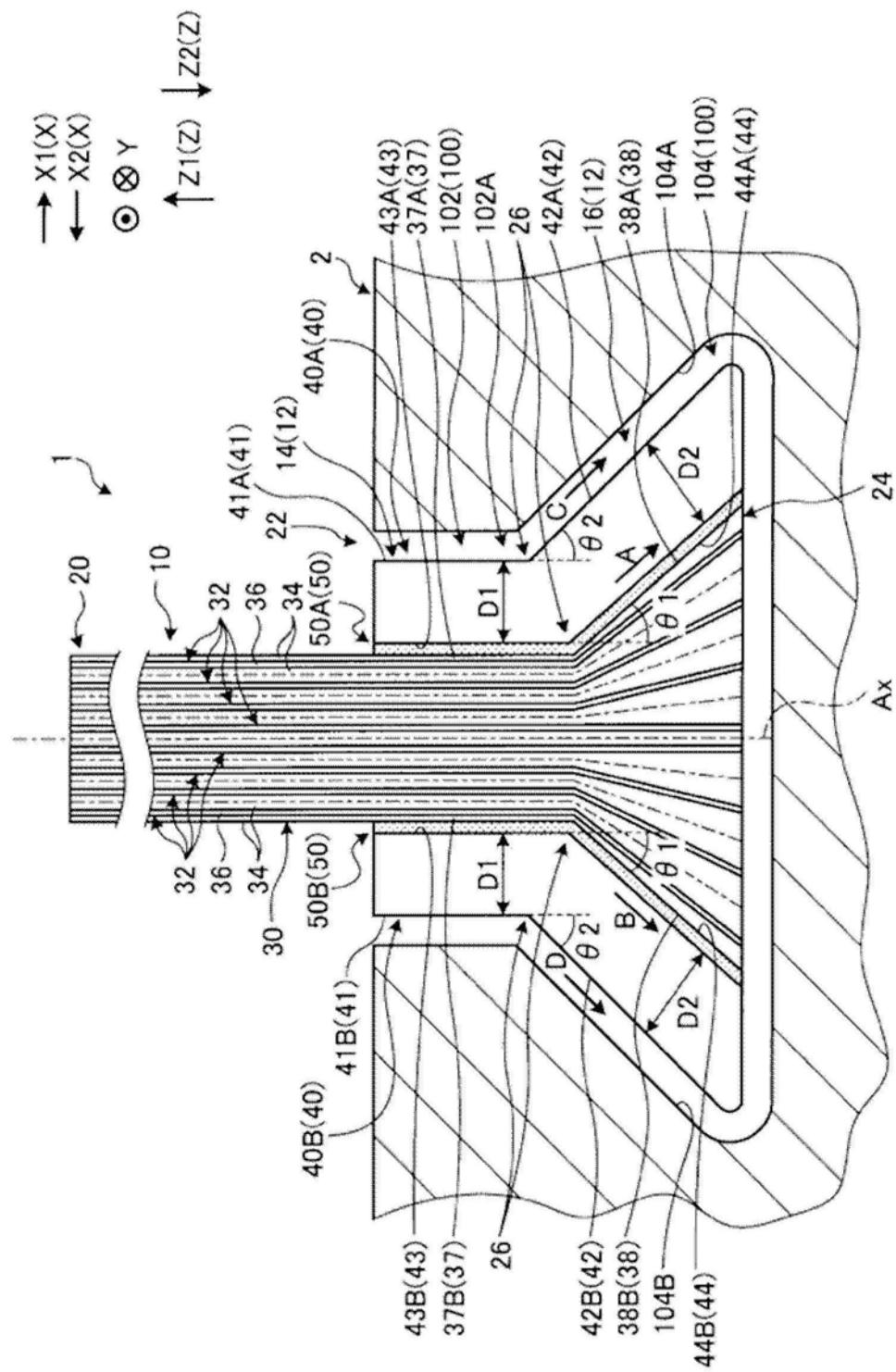


图2

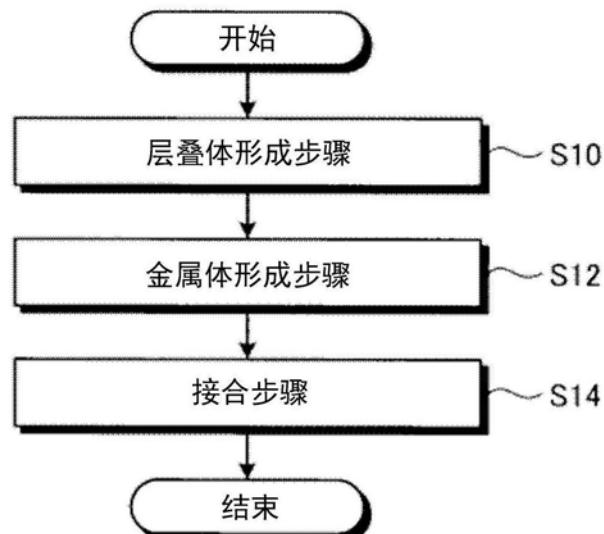


图3

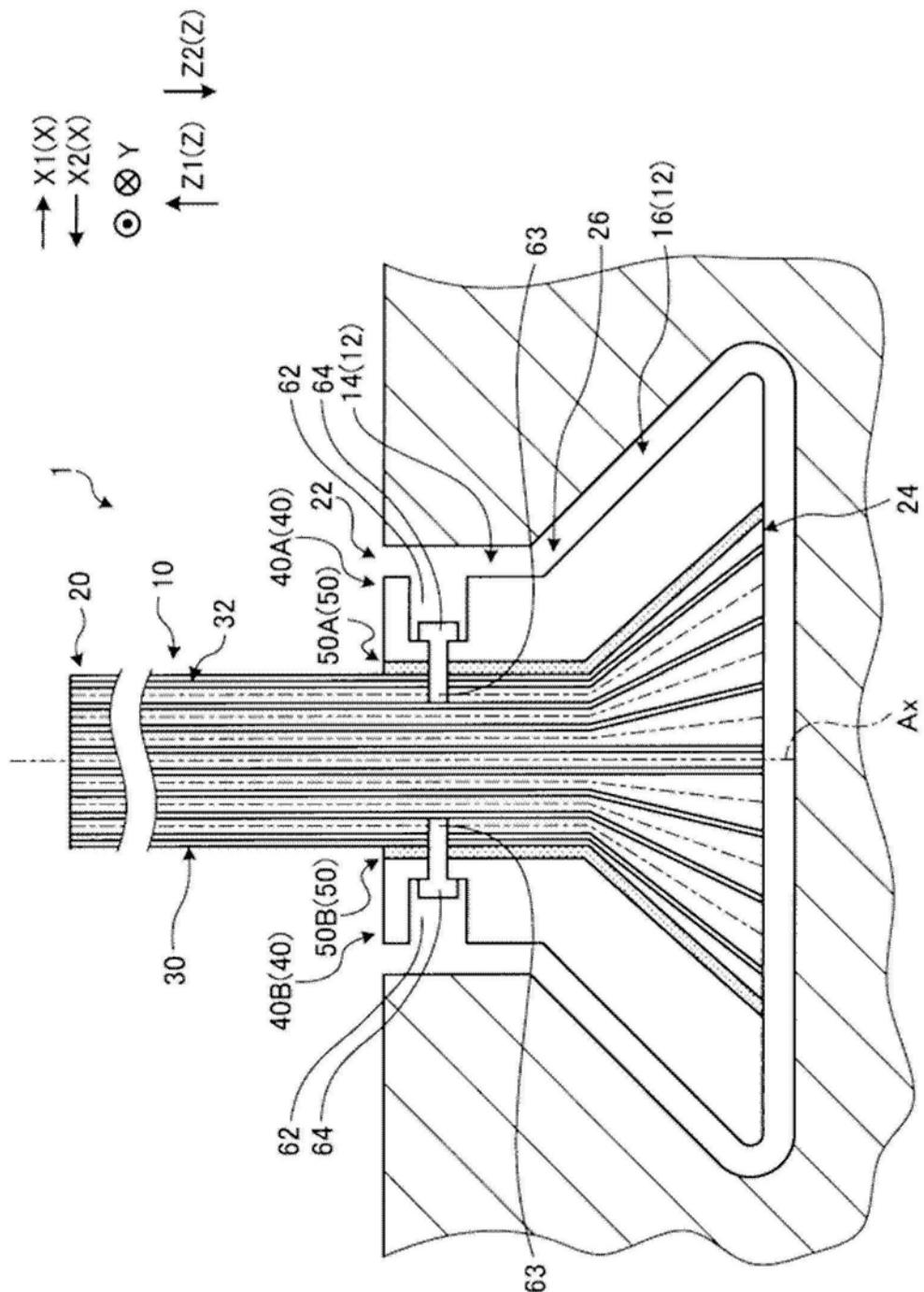


图4

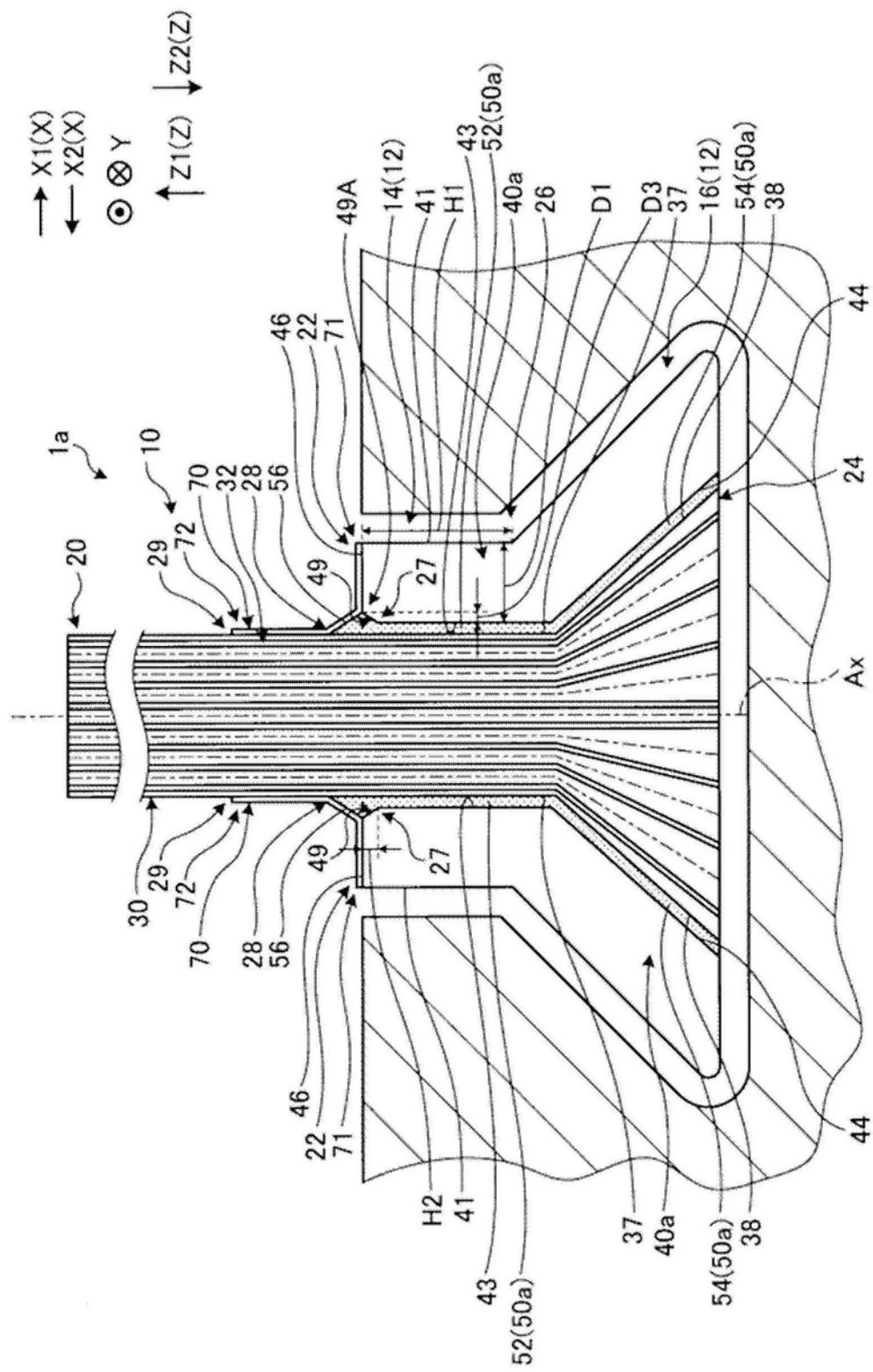


图5

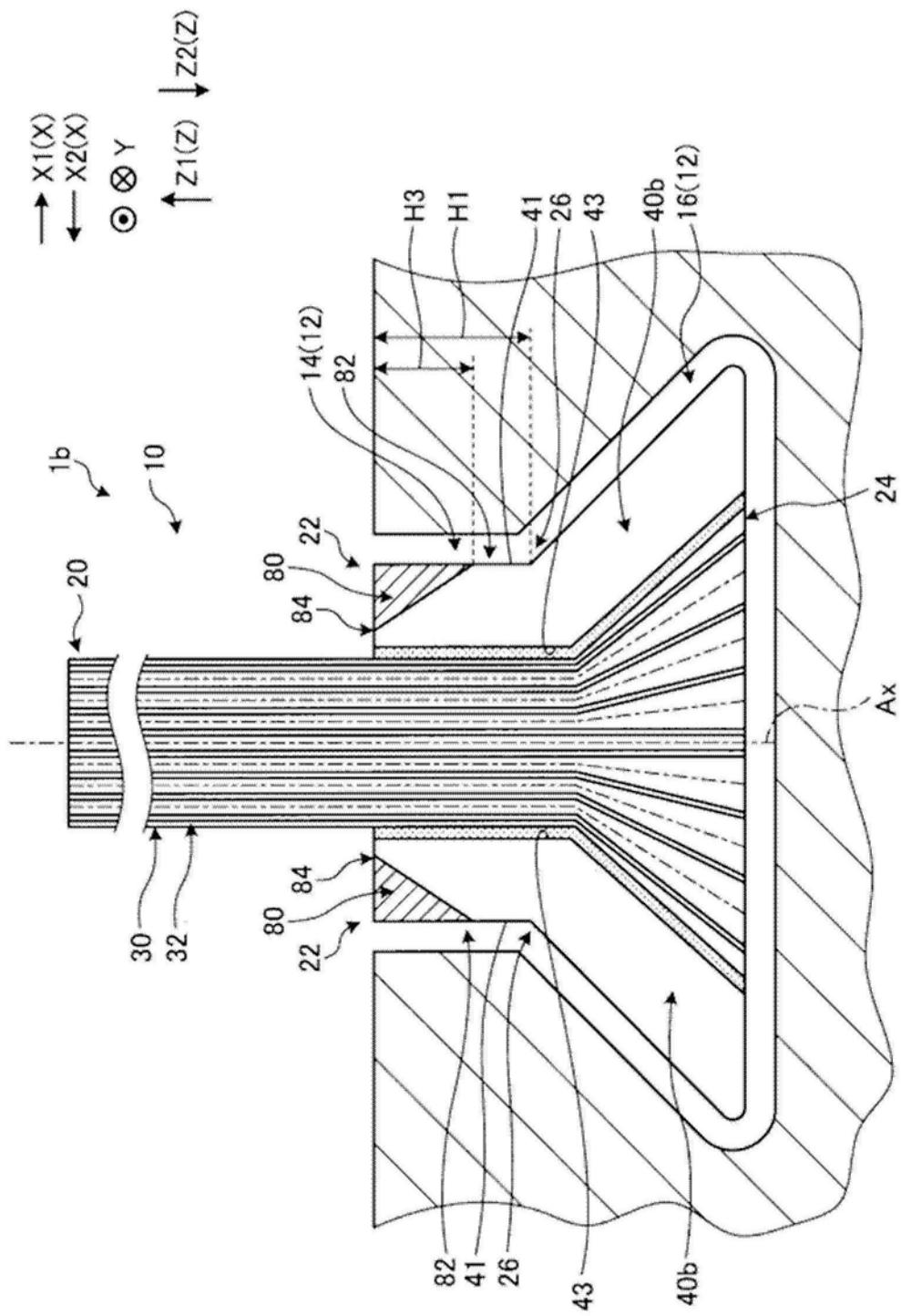


图6

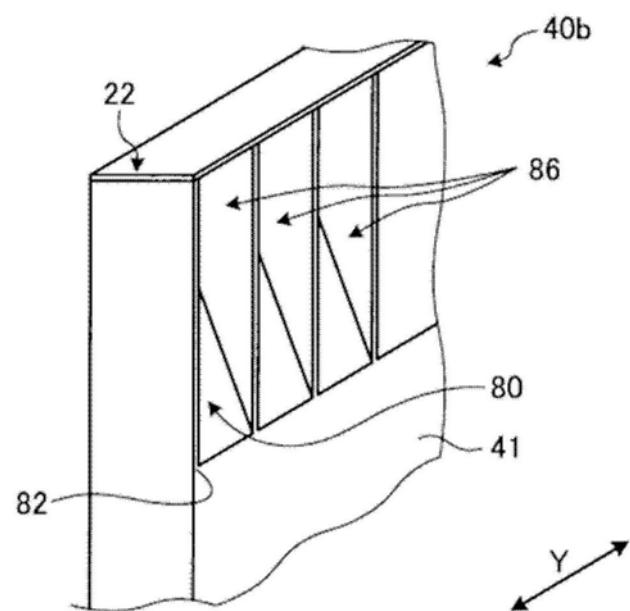


图7

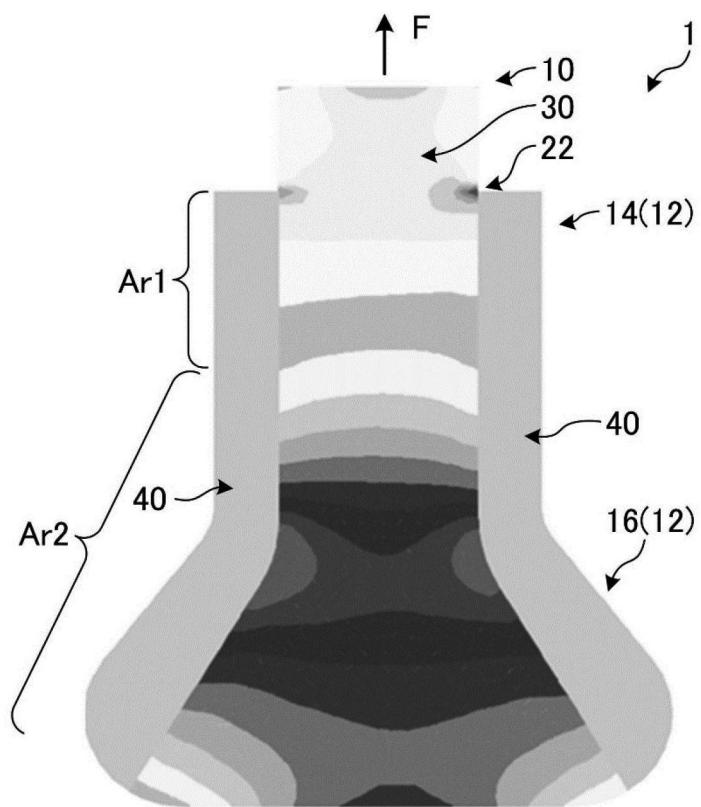


图8