

1. 一种形成燃气轮机叶片的方法,包括:

形成具有包括凹侧壁和凸侧壁的主壁和限定在凹侧壁和凸侧壁之间的内部腔体的燃气轮机叶片的铸件,该主壁具有从主壁的外表面延伸至临近所述内部腔体的主壁的内表面的壁厚,该主壁的外径向段具有大于外径向段的最终厚度的壁厚;

使用厚度测量装置以非破坏性方式收集所述铸件的主壁的外径向段处的第一壁厚数据;

使用计算机系统把收集的第一壁厚数据与存储的模型厚度数据比较,以确定需要沿主壁的外径向段从所述铸件去除的初始壁厚材料量;

使材料去除装置与铸件彼此相对移动,从而沿主壁的外径向段在多个径向部分处从所述铸件去除第一层材料;此后,

使用所述厚度测量装置以非破坏性方式收集所述铸件的主壁的外径向段处的第二壁厚数据;

使用所述计算机系统把收集的第二壁厚数据与存储的模型厚度数据比较,以确定还需要沿主壁的外径向段从所述铸件去除的壁厚材料量;和

使所述材料去除装置与所述铸件彼此相对移动,从而沿主壁的外径向段从所述多个径向部分的组合去除第二层材料。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,所述厚度测量装置包括超声波装置、X射线检查装置、涡流测量装置和热成像装置之中的一种。

3. 如权利要求1所述的方法,其中,所述铸件限定出燃气轮机轮叶,所述主壁的外径向段从叶片铸件的基部与叶尖之间的中点位置延伸至叶尖,并具有从中点位置附近至叶尖的基本上恒定的壁厚。

4. 如权利要求3所述的方法,其中,沿主壁的外径向段的所述多个径向部分的组合延伸至叶片铸件的叶尖。

5. 如权利要求1所述的方法,其中,所述材料去除装置包括喷丸处理装置。

6. 如权利要求5所述的方法,其中,所述喷丸处理装置正对所述铸件喷射工作流体,该工作流体包括含在流体介质中的磨粒。

7. 如权利要求6所述的方法,其中,所述喷丸处理装置以不垂直于铸件主壁外表面的角度对所述铸件喷射工作流体。

8. 如权利要求1所述的方法,其中,所述铸件限定出具有从26英寸至35英寸叶片长度的燃气轮机轮叶。

9. 如权利要求1所述的方法,其中,仅从径向部分的横向段去除材料。

10. 一种形成燃气轮机叶片的方法,包括:

形成具有包括凹侧壁和凸侧壁的主壁和限定在凹侧壁和凸侧壁之间的内部腔体的燃气轮机叶片的铸件,该主壁具有从主壁的外表面延伸至临近所述内部腔体的主壁的内表面的壁厚,该主壁的外径向段从叶片铸件的基部与叶尖之间的位置延伸至叶尖,并具有大于外径向段的最终厚度的壁厚;

收集步骤:使用厚度测量装置以非破坏性方式收集所述铸件的壁厚数据;

比较步骤:使用计算机系统把收集的壁厚数据与存储的模型厚度数据比较,以确定需要沿铸件主壁的外径向段从一个或多个径向部分去除的壁厚材料量;

致动步骤:使材料去除装置与铸件彼此相对移动,从而沿铸件主壁在所述一个或多个径向部分处从所述铸件去除一层材料;和

重复前述的收集步骤、比较步骤和致动步骤一次或多次,直到铸件主壁的外径向段具有所需的厚度。

11.如权利要求10所述的方法,其中,所述厚度测量装置包括超声波装置、X射线检查装置、涡流测量装置和热成像装置中的一种。

12.如权利要求10所述的方法,其中,所述铸件限定出燃气轮机轮叶。

13.如权利要求10所述的方法,其中,所述材料去除装置包括喷丸处理装置。

14.如权利要求13所述的方法,其中,所述喷丸处理装置正对铸件喷射工作流体,该工作流体包括含在流体介质中的磨粒。

15.如权利要求14所述的方法,其中,所述喷丸处理装置以不垂直于铸件表面的角度对所述铸件喷射工作流体。

16.如权利要求10所述的方法,其中,重复前述的收集步骤、比较步骤和致动步骤一次或多次导致铸件主壁的外径向段的厚度沿外径向段的长度发生改变。

17.如权利要求16所述的方法,其中,叶尖附近的主壁的外径向段厚度小于叶片铸件的基部与叶尖之间除叶尖附近以外的区域位置处的外径向段的厚度,其中,所述基部与叶尖之间的位置不靠近叶尖。

18.如权利要求10所述的方法,其中,仅从径向部分的横向段去除材料。

形成具有在叶尖附近带薄壁部分的主壁的长燃气轮机轮叶的方法

[0001] 本发明是根据由美国能源部授予的合同DE-FC26-05NT42644在美国政府的支持下产生的。美国政府对本发明拥有某些权利。

技术领域

[0002] 本发明涉及一种形成具有在叶尖附近带薄壁部分的主壁的长燃气轮机轮叶的方法。

背景技术

[0003] 由于工作温度很高,因此典型情况下燃气轮机轮叶由高密度的镍基高温合金构成。由于燃气轮机的流道直径通常很大,因此相应涡轮机轮叶的叶尖的线速度非常高。所以,每个叶尖处的材料在轮叶的其余部分上产生很大的离心力。在叶尖处级联至轮叶的任何附加材料都会增加轮叶的径向拉力。为了铸出较长的轮叶,需要减小叶尖处的壁厚,以减小轮叶的径向拉力。但是,很难铸出在叶尖附近具有薄壁部分的长涡轮机轮叶。这是因为,在铸造工艺中使用的陶瓷型芯在铸造过程中的工艺公差内移位,导致型芯相对于轮叶的叶尖的位置不确定。因此,在设计过程中,由于铸造过程中的型芯移位,在叶尖处或叶尖附近的壁厚减薄是受限的,若壁厚减小得过多,则在铸造过程中型芯可能穿破叶尖附近的壁。

发明内容

[0004] 根据本发明的第一方面,提供一种形成燃气轮机叶片的方法,其包括:形成具有主壁和内部腔体的燃气轮机叶片铸件,该主壁具有从主壁的外表面延伸至内部腔体的壁厚,主壁的外径向段具有大于最终厚度的壁厚;使用厚度测量装置以非破坏性方式收集铸件的主壁外段处的第一壁厚数据;使用计算机系统把收集的第一壁厚数据与存储的模型厚度数据比较,以确定待沿主壁外段从铸件去除的初始壁厚材料量;以及,使材料去除装置与铸件彼此相对移动,从而沿主壁外段在多个径向部分处从铸件去除第一层材料。此后,该方法还可包括:使用所述厚度测量装置以非破坏性方式收集铸件的主壁外段处的第二壁厚数据;使用所述计算机系统把收集的第二壁厚数据与存储的模型厚度数据比较,以确定待沿主壁外段去除的附加壁厚材料量;以及,使所述材料去除装置与铸件彼此相对移动,从而沿主壁外段从多个径向部分的组合去除第二层材料。

[0005] 所述厚度测量装置可包括超声波装置、X射线检查装置、涡流测量装置和热成像装置中的一种。

[0006] 叶片铸件可限定出燃气轮机轮叶,主壁外段可从叶片铸件的基部与叶尖之间的位置延伸至叶尖。

[0007] 沿主壁外段的多个径向部分的组合可延伸至叶片铸件的叶尖。

[0008] 所述材料去除装置可包括喷丸处理装置,该喷丸处理装置正对铸件喷射包括含在流体介质中的磨粒的工作流体。所述喷丸处理装置可以不垂直于铸件主壁外表面的角度对

铸件喷射工作流体。

[0009] 铸件可限定出具有从大约26英寸至大约35英寸叶片长度的燃气轮机轮叶。

[0010] 根据本发明的第二方面,提供一种形成燃气轮机叶片的方法,其包括:形成具有主壁和内部腔体的燃气轮机叶片铸件,该主壁具有从主壁的外表面延伸至内部腔体的壁厚,主壁的外径向段从叶片铸件的基部与叶尖之间的位置延伸至叶尖,并具有大于最终厚度的壁厚;使用厚度测量装置以非破坏性方式收集铸件的壁厚数据;使用计算机系统把收集的壁厚数据与存储的模型厚度数据比较,以确定需要沿铸件主壁外段从一个或多个径向部分去除的壁厚材料量;使材料去除装置与铸件彼此相对移动,从而沿铸件主壁在一个或多个径向部分处从铸件去除一层材料;以及,重复上述的收集、比较和致动步骤一次或多次,直到铸件主壁外段具有所需的厚度。

[0011] 其中,所述的收集、比较和致动步骤的一次或多次重复优选导致铸件主壁外段的厚度沿外段的长度发生改变,优选从基部与叶尖之间的位置至叶尖以大致平滑连续的方式改变。

[0012] 叶尖附近的主壁外段厚度可小于叶片铸件的基部与叶尖之间位置处的外段厚度。

[0013] 优选仅在主壁外段处从铸件去除材料。

附图说明

[0014] 虽然本说明书所附的权利要求书具体、明确地提出了本发明的权利要求,但是通过参照附图做出的以下说明,能够更好地理解本发明。在附图中,相似的标号标示相似的元件,其中:

[0015] 图1是利用本发明的方法形成的具有最终厚度的轮叶的透视图;

[0016] 图2-4是沿图1中的观察线2-2、3-3和4-4剖切的横截面图;

[0017] 图5和图6是从轮叶铸件主壁外段的径向部分去除材料的喷丸处理装置的示意图;

[0018] 图7是常规测量装置、计算机系统和轮叶铸件的示意图。

具体实施方式

[0019] 在以下优选实施例的详细说明中,将参照构成本说明书的一部分的附图以示例性方式而非限定性方式说明可实施本发明的具体优选实施例。应理解,也可以利用其它实施例,并且,在不脱离本发明的精神和范围的前提下可以做出各种变化。

[0020] 现在请参考图1,其中示出了按照本发明的方法形成的涡轮机轮叶10。轮叶10适合于在燃气轮机(未示出)的涡轮段(未示出)中使用。在涡轮段内,有一系列成排的固定导叶和转动轮叶。典型情况下,在涡轮段中有四排轮叶。可以设想的是,图1中所示的轮叶10可限定出涡轮段中的第三或第四排轮叶的轮叶构造。

[0021] 轮叶结合至轮轴和轮盘组件(未示出)。来自于燃气轮机中的燃烧段(未示出)的高温工作气体流至成排轮叶。随着工作气体在涡轮段中膨胀,工作气体导致轮叶旋转,从而导致轮轴和轮盘组件旋转。

[0022] 涡轮机轮叶10包括叶片20、根部30和平台40,在所示的实施例中,这些部件可以由合金材料(例如金属合金247)构成的一体构件。根部30用于把轮叶10结合至涡轮段中的轮轴和轮盘组件。叶片20包括从根部30径向延伸的主壁120。主壁120限定大体为凹状的第

一加压侧壁122和大体为凸状的第二抽吸侧壁124,参见图2。第一和第二侧壁122和124在前缘126和后缘128处结合在一起。在所示的实施例中,主壁120还限定多个内部腔体130。腔体130附近的主壁120具有从主壁120的外表面120A延伸至内部腔体130的壁厚。

[0023] 在所示的实施例中,主壁120包括位于叶片20的基部20A和叶片20的叶尖20B之间的中点MP,参见图1。主壁120还包括从中点MP附近的位置延伸至叶尖20B的外径向段OS。在图1所示的实施例中,外径向段OS限定为包括第一、第二和第三径向部分 RP_1 - RP_3 。每个径向部分可限定本发明的机械加工方法的解析度。为了便于示例,在图1的实施例中仅提供了三个径向部分 RP_1 - RP_3 。但是,可以设想的是,更高解析度是可取的,这样可限定远多于三个径向部分。在任何情况下,径向部分的数目可限定为包括少于三个部分或多于三个部分。

[0024] 外段OS具有大致沿其长度变化的最终壁厚,从而最终厚度在中点MP附近最大(参见图2中的厚度 T_A),并在叶尖20B附近逐渐减小至最小厚度(参见图4中的厚度 T_C)。图3中示出了处于沿外段OS的中间位置的厚度 T_B ,该厚度小于厚度 T_A ,但是大于叶尖20B附近的厚度 T_C ,即, $T_A > T_B > T_C$ 。对于具有从大约26英寸至大约35英寸的长度L的叶片,叶尖20B附近的厚度 T_C 可在从大约0.7毫米至大约1.5毫米范围之内。

[0025] 如上所述,很难铸出具有较长长度L并且主壁厚度在叶尖附近很薄的叶片。根据本发明,叶片被铸造为在外段OS处的主壁厚度大于最终厚度,即,主壁厚度被铸造为过厚。例如,外径向段OS可铸造为从中点MP附近至叶尖20B在径向上具有基本恒定的厚度,从而额外的主壁材料从中点MP附近至叶尖20B在径向上以大体连续的方式逐渐增加。优选地,从基部20A延伸至中点MP的叶片20的内径向段IS的主壁厚度被铸造为该内段IS的最终厚度,从而不需要从该内段IS去除材料。随后,把叶片铸件的外段OS加工至最终的所需厚度,并考虑到在铸造操作过程中通过陶瓷型芯形成的内部腔体130的位置。

[0026] 在图7中,示出了轮叶的铸件C。提供一种常规的厚度测量装置TMD,在所示的实施例中,该厚度测量装置TMD包括超声波测量装置50,该超声波测量装置50具有用于测量主壁120的外段OS的任何一点处的厚度的声波厚度探头50A,从而能够以非破坏性的方式从铸件C收集壁厚数据,并把壁厚数据提供至计算机系统60。可以设想的是,厚度测量装置可包括任何其它已知的装置,例如X射线检查测量装置、涡流测量装置、或热成像测量装置。计算机系统60在其存储器中存储有叶片20的外段OS的所有位置的模型厚度数据。因此,计算机系统60把采集的主壁外段OS的壁厚数据与存储的模型厚度数据比较,以确定需要从主壁外段OS去除的壁厚材料数量。计算机系统60还考虑了内部腔体130相对于主壁外表面120A的位置,以便在外表面120A和内部腔体130之间始终保持期望的最小主壁厚度。

[0027] 根据所示的实施例,材料去除装置包括喷丸处理装置70,参见图5和图6。喷丸处理装置70可正对铸件C喷射工作流体F,该工作流体包括含在流体介质中的磨粒,例如氧化铝、砂粒等。喷丸处理装置70优选在铸件C处以不垂直于铸件C的主壁外表面的角度喷射工作流体。可以设想的是,喷丸处理工作流体F可在具有从大约0.125英寸至大约1英寸直径的圆形区域或覆盖区中击打铸件C。也可以设想的是,可使用其它已知的材料去除装置来代替喷丸处理装置70,例如皮带砂光机。

[0028] 优选使用喷丸处理装置70从主壁120的外段OS逐层去除材料。可使喷丸处理装置70相对于铸件C移动,而通过夹具(未示出)使铸件C保持固定不动,或者,可使铸件C相对于喷丸处理装置70移动。可使用常规的移动装置来实现喷丸处理装置70和/或铸件C的移动,

并且该移动装置可通过计算机系统60控制。可以设想的是,从铸件C去除的每层材料可具有从大约0.05毫米至大约0.25毫米的厚度。

[0029] 如上所述,在图1中示出了三个径向部分 RP_1 – RP_3 ,但是,为了提高材料去除操作的解析度,可提供多于三个径向部分。每个径向部分可限定为具有基本上等于击打铸件C的喷丸处理工作流体F的直径或覆盖面积的径向尺寸。因此,可反复地在横截径向的方向上移动喷丸处理工作流体F,以从一个或多个径向部分去除一层或多层材料。

[0030] 如图5所示,可通过喷丸处理装置从外段OS的第一、第二和第三径向部分 RP_1 – RP_3 之中的每一个上的多个或所有点或位置去除第一层材料,“层”一词在此涵盖在横截径向的方向上厚度一致或有变化的层,例如,在从前缘126延伸至后缘128的方向上。因此,当从第一、第二和第三径向部分 RP_1 – RP_3 之一去除一层材料时,在该层中去除的材料量在横截径向的方向上的厚度可以是一致的或有变化的,还可以设想的是,可以仅从径向部分的一个横向段去除一层材料,而不从该径向部分的一个或多个其余横向段去除材料。径向部分的横向段可从前缘126延伸至后缘128。在从第一、第二和第三径向部分 RP_1 – RP_3 去除第一层材料之后,超声波测量装置50测量主壁120的外段OS的各点的厚度,并向计算机系统60提供更新壁厚数据。计算机系统60把更新实测壁厚数据与存储的模型厚度数据比较,以确定还需要从外段OS去除的任何材料。例如,由于最终壁厚在从中点MP附近至叶尖20B的径向上变薄,因此可能不需要再进一步从第一径向部分 RP_1 去除材料,但是仍需要从第二和第三径向部分 RP_2 和 RP_3 去除一层或多层材料。在图6中,所示的喷丸处理装置70从第二和第三径向部分 RP_2 和 RP_3 去除另一层材料,而不再从第一径向部分 RP_1 去除材料。测量主壁120的外段OS的厚度、把实测厚度数据与存储的模型厚度数据比较、并从主壁120去除另一层材料的过程可重复多次,直到沿外段OS(即,沿第一、第二和第三径向部分 RP_1 – RP_3)的所有点都具有所需的最终厚度。

[0031] 虽然在上文中本发明是通过具体实施例来说明的,但是本领域技术人员能够理解,在不脱离本发明的精神和范围的前提下,能够做出各种其它的变化和修饰。因此,在本发明的范围之内做出的所有此类变化和修饰都应涵盖在由所附权利要求限定的范围之内。

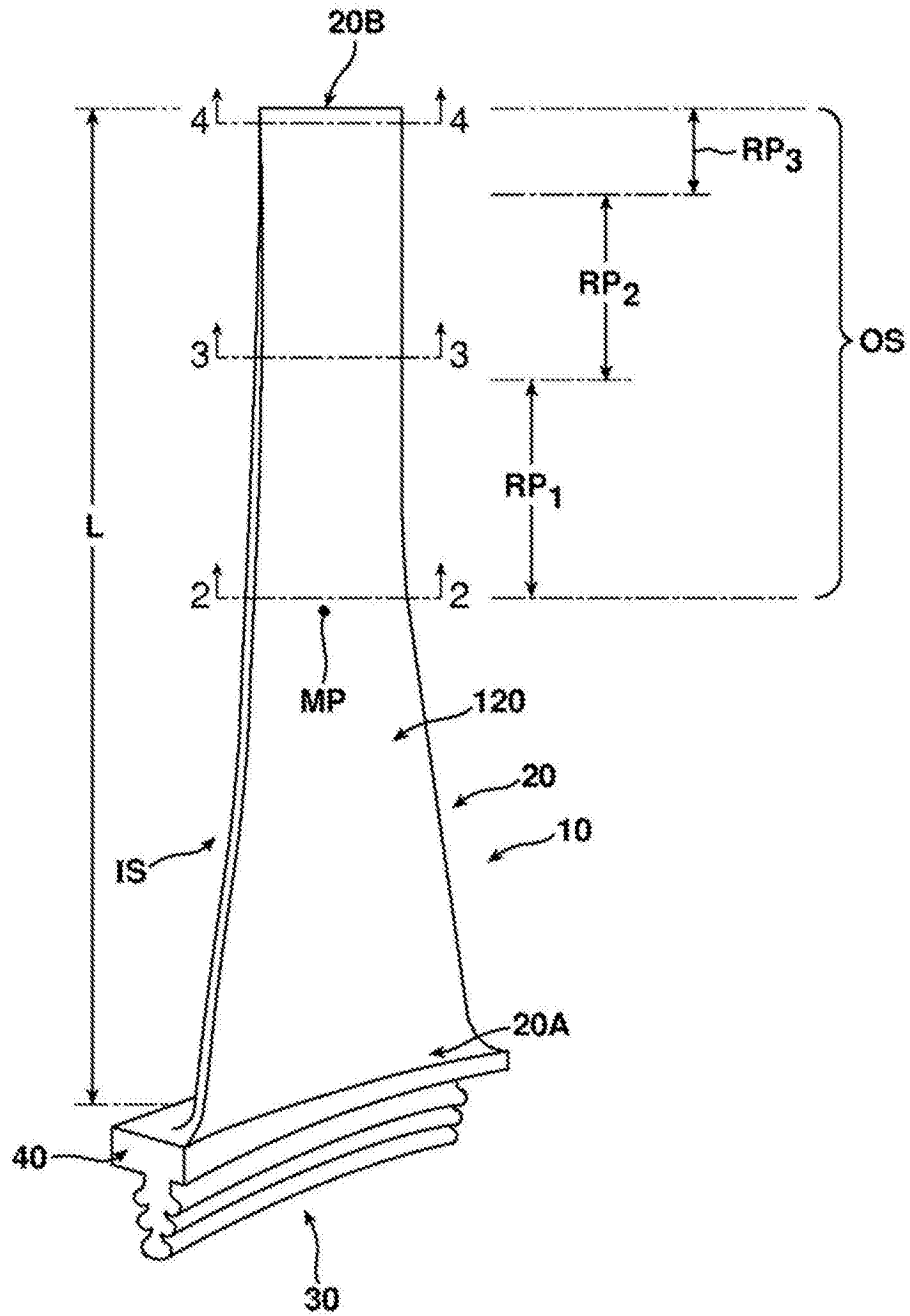


图1

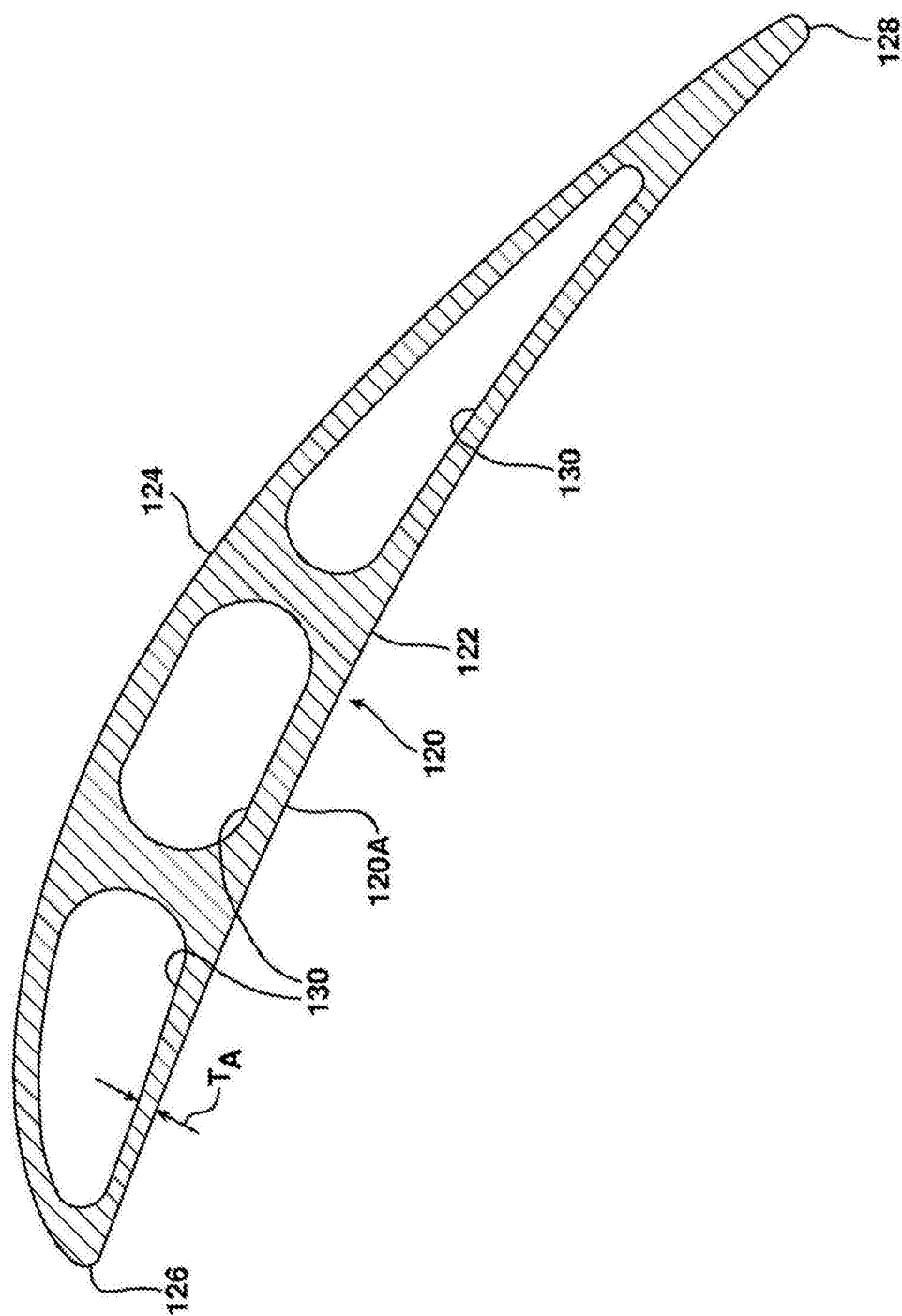


图2

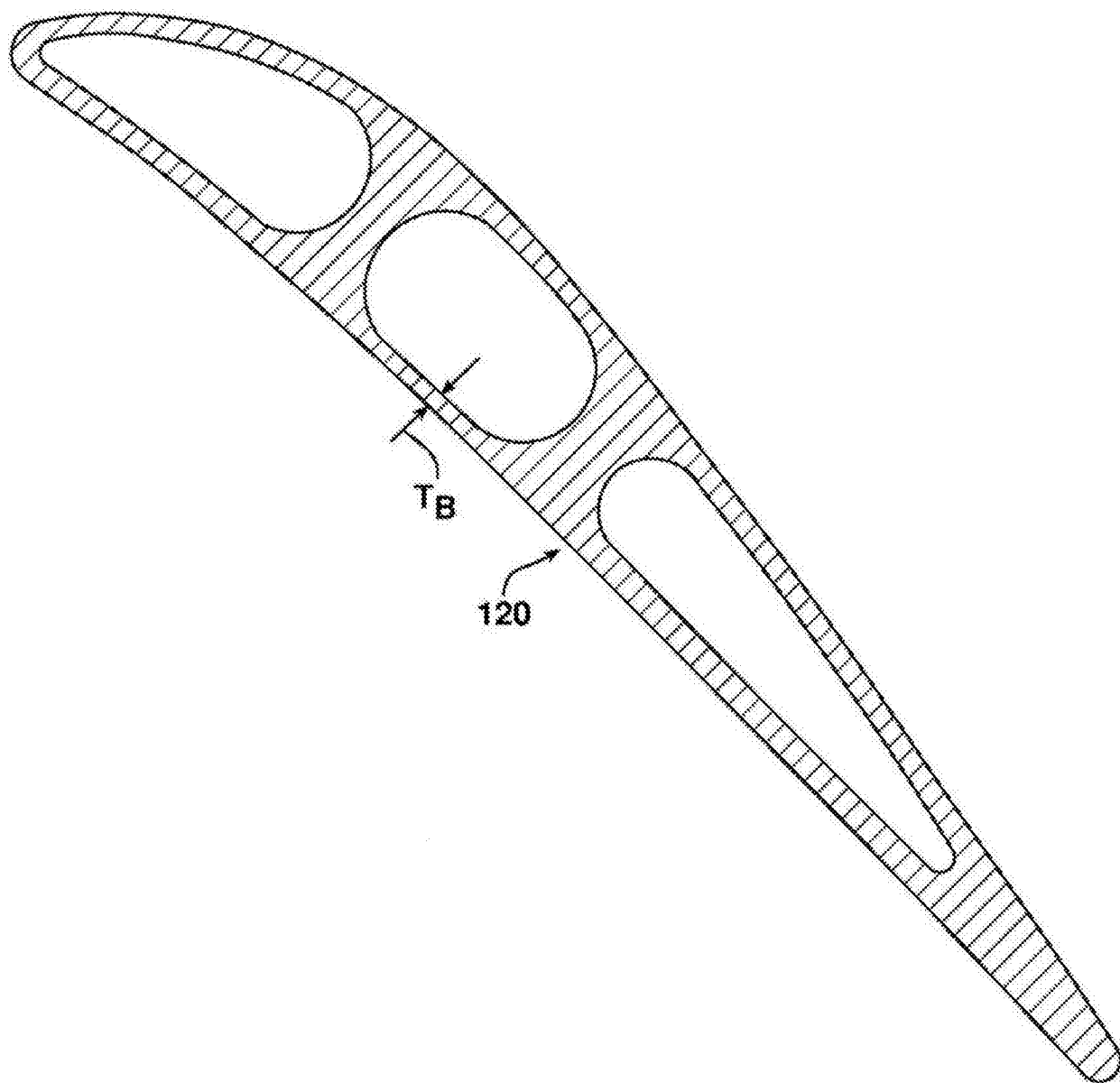


图3

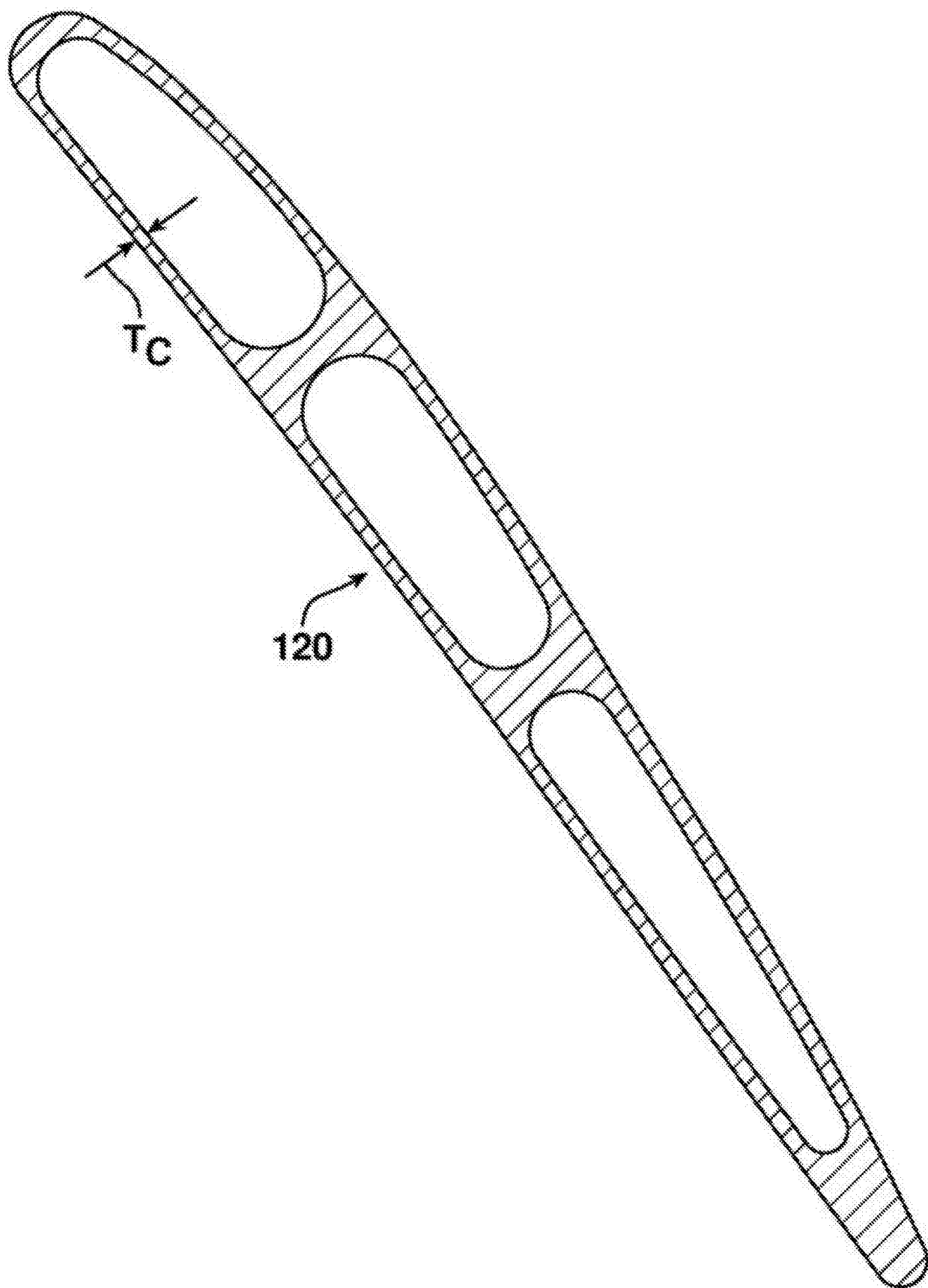


图4

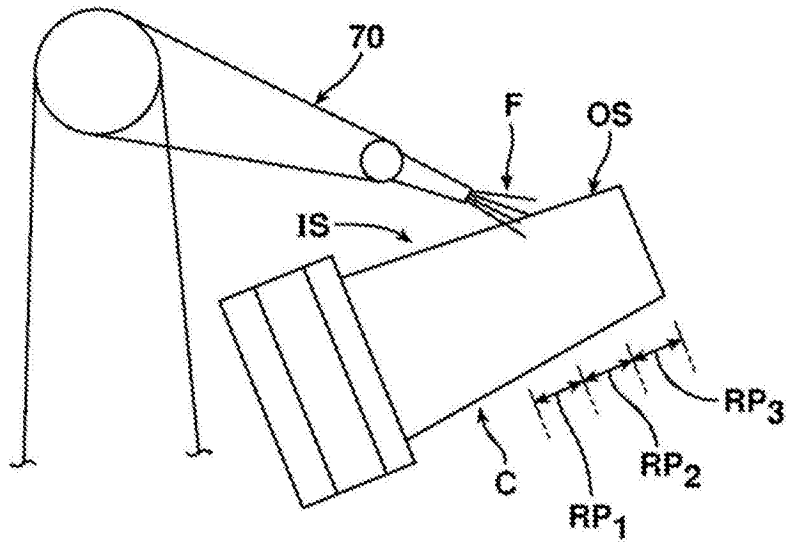


图5

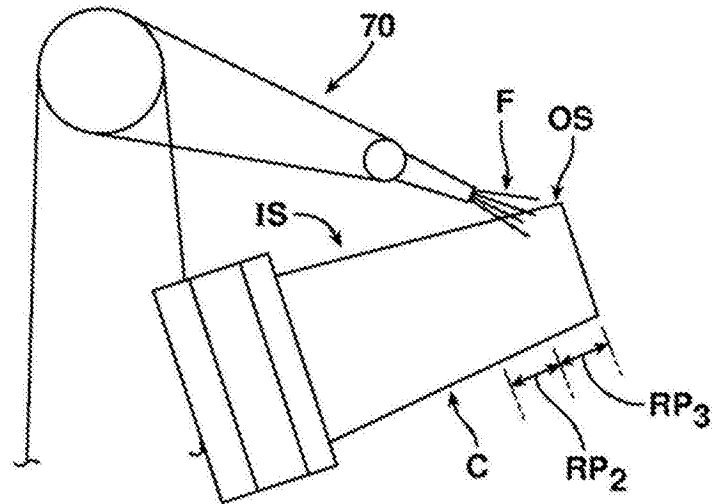


图6

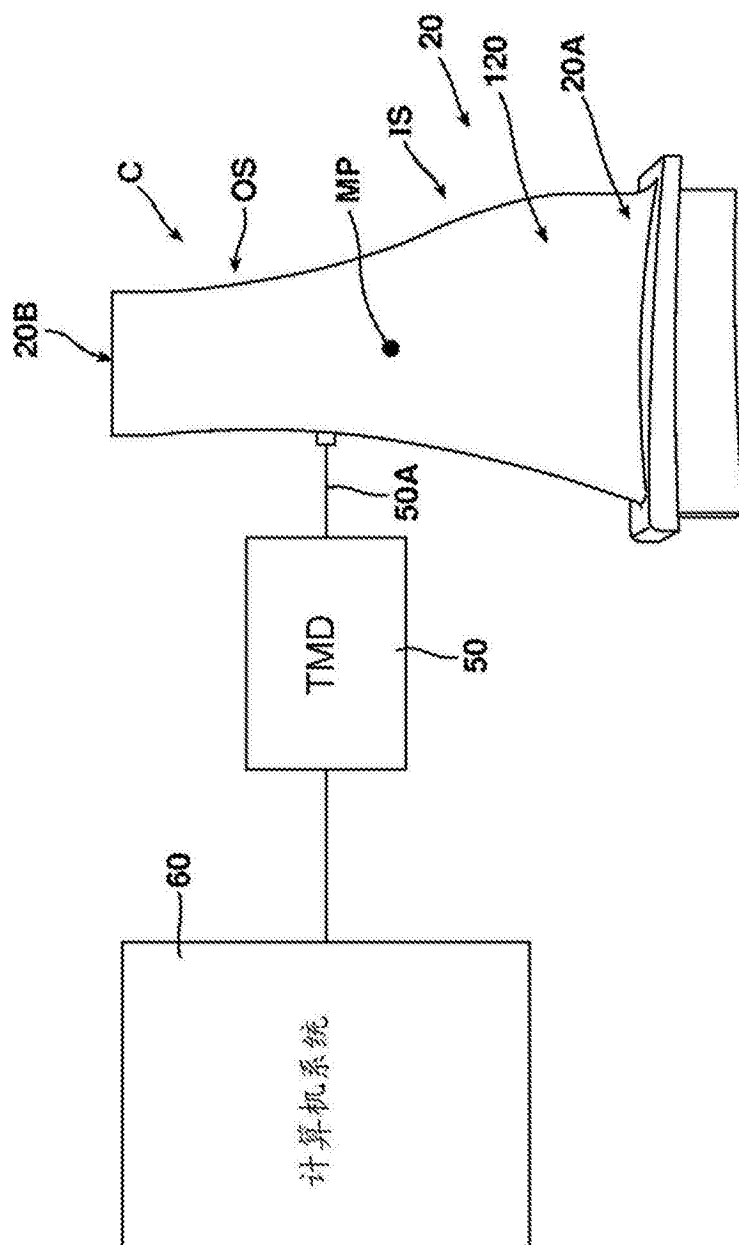


图7