



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104712374 B

(45)授权公告日 2018.07.17

(21)申请号 201410790121.0

(22)申请日 2014.12.17

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104712374 A

(43)申请公布日 2015.06.17

(30)优先权数据

14/109526 2013.12.17 US

(73)专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 R.E.迪伦巴赫 R.P.奈尔

D.A.卢皮

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 李强 周心志

(51)Int.Cl.

F01D 5/32(2006.01)

F01D 5/22(2006.01)

F01D 5/34(2006.01)

(56)对比文件

CN 1550642 A, 2004.12.01, 说明书第4-6页及附图1-4.

US 5226784 A, 1993.07.13, 全文.

US 5302085 A, 1994.04.12, 全文.

US 5478207 A, 1995.12.26, 全文.

CN 102817640 A, 2012.12.12, 全文.

CN 1497131 A, 2004.05.19, 全文.

US 4767247 A, 1988.08.30, 说明书第2-4栏及附图1-5.

审查员 靳文强

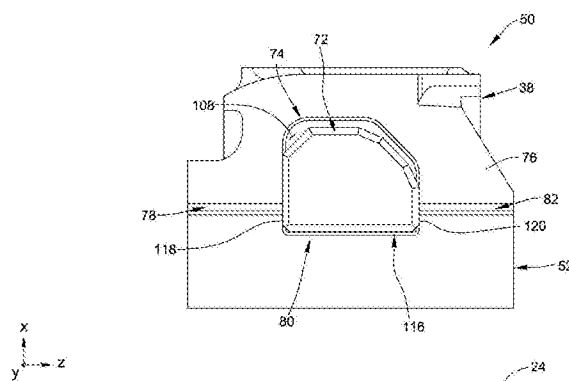
权利要求书3页 说明书7页 附图8页

(54)发明名称

转子轮组件及其组装方法和对应的涡轮发动机

(57)摘要

本发明提供一种转子轮组件及其组装方法和对应的涡轮发动机。所述转子轮组件包括具有多个鸠尾槽的转子轮,所述多个鸠尾槽围绕转子轮的外周表面周向隔开。所述转子轮还包括形成于所述外周表面内的多个槽口。所述转子轮组件包括至少一轮叶,所述至少一轮叶具有整体围带、翼型、鸠尾榫和平台,所述平台具有第一表面和相对的第二表面。所述平台第一表面包括键槽。所述键槽具有相对于所述平台第一表面以第一角度定向的相对的锥形表面。此外,所述转子轮组件包括楔形键,所述楔形键具有:定向为与所述平台第一表面大体平行的第一表面;以及相对的第二表面,所述第二表面相对于所述第一表面以所述第一角度定向,以使所述第二表面与所述锥形表面大体平行。



1. 一种转子轮组件,其特征在于,所述转子轮组件包括:

转子轮,所述转子轮包括围绕所述转子轮的外周表面周向隔开的多个鸠尾槽以及形成于所述外周表面中的多个槽口;

连接到所述转子轮的第一轮叶,所述第一轮叶包括整体围带、翼型、鸠尾榫和平台,所述第一轮叶的平台包括第一周向表面和相对的第二周向表面,所述第一周向表面包括限定于其中的键槽,所述键槽在所述第一周向表面限定空腔,并且所述键槽包括前表面、后表面和相对于所述平台的第一周向表面以第一角度定向的相对的周向锥形表面;

连接到所述转子轮并与第一轮叶相邻的第二轮叶,所述第二轮叶包括平台,所述第二轮叶的平台包括面向所述第一周向表面的第三周向表面;以及

楔形键,所述楔形键包括定向为与所述第一轮叶的平台的第一周向表面平行的第一表面以及相对于所述第一表面以所述第一角度定向的相对第二表面,所述第二表面与所述周向锥形表面平行,所述楔形键设置在所述键槽中将以所述第一轮叶固定到所述转子轮并且所述楔形键可定位在第一位置和第二位置之间,在第一位置中所述楔形键不与所述第二轮叶接触,并且在第二位置中,所述楔形键与周向锥形表面和第三周向表面面对面地接触,其中所述楔形键连接所述第一轮叶到所述第二轮叶,并且其中摩擦接触力在所述第一轮叶与楔形键、所述第二轮叶和楔形键之间产生。

2. 根据权利要求1所述的转子轮组件,其特征在于,所述多个槽口中的每个槽口的轴向长度与所述键槽的轴向长度相等。

3. 根据权利要求1所述的转子轮组件,其特征在于,所述转子轮具有旋转轴线,所述多个鸠尾槽包括多个轴向进入鸠尾槽,以使每个所述鸠尾槽与所述旋转轴线平行地延伸。

4. 根据权利要求1所述的转子轮组件,其特征在于,所述楔形键具有使得所述楔形键能够滑动接合至所述键槽的轴向宽度。

5. 根据权利要求4所述的转子轮组件,其特征在于,所述楔形键被配置成同时滑动接合至所述键槽以及所述多个槽口中的一个槽口。

6. 根据权利要求1所述的转子轮组件,其特征在于,所述第一角度的值在1度到15度之间。

7. 一种涡轮发动机,其特征在于,所述涡轮发动机包括:

可旋转轴,所述可旋转轴具有旋转轴线;

外壳,所述外壳围绕所述可旋转轴周向延伸,所述外壳界定至少一通道,所述至少一通道被配置成沿所述可旋转轴的长度引导工作流体;

转子轮组件,所述转子轮组件连接到所述可旋转轴的一部分以与其一起旋转,所述转子轮组件被配置成膨胀所述工作流体,所述转子轮组件包括:

转子轮,所述转子轮包括围绕所述转子轮的外周表面周向隔开的多个鸠尾槽以及形成于所述外周表面中的多个槽口;

多个轮叶,所述多个轮叶围绕所述旋转轴线布置在周向阵列中,所述多个轮叶中的每个对应轮叶包括:鸠尾榫,所述鸠尾榫被配置成连接到所述多个鸠尾槽中的对应一个鸠尾槽;翼型;整体围带,所述整体围带与所述对应轮叶一体成形;以及平台,所述平台包括第一周向表面以及相对的第二周向表面,所述第一周向表面包括限定于其中的键槽,所述键槽在所述第一周向表面限定空腔,并且所述键槽包括前表面、后表面和相对于所述平台的第

一周向表面以第一角度定向的相对的锥形周向表面;以及

至少一楔形键,所述至少一楔形键包括定向为与所述平台的第一周向表面平行的第一表面以及相对于所述第一表面以所述第一角度定向的相对第二表面,所述第二表面与所述锥形周向表面平行,所述至少一楔形键设置在所述多个轮叶中的相邻的轮叶之间并且设置在所述键槽中且用于将对应的轮叶固定到所述转子轮,所述至少一楔形键还构造成在旋转时所述相邻的轮叶之间产生摩擦接触力以将所述相邻的轮叶彼此接合。

8. 根据权利要求7所述的涡轮发动机,其特征在于,所述多个鸠尾槽相对于所述旋转轴线以第二角度定向。

9. 根据权利要求8所述的涡轮发动机,其特征在于,所述多个鸠尾槽包括多个轴向进入鸠尾槽,以使所述第二角度为0度。

10. 根据权利要求7所述的涡轮发动机,其特征在于,所述楔形键第二表面被配置成与所述多个轮叶中的对应一个轮叶的所述锥形周向表面接合,并且所述楔形键的底面被配置成同时与所述多个槽口中的对应一个槽口的底面接合,以使所述多个轮叶中的相邻轮叶能够连接到所述多个鸠尾槽中的相邻对应一个鸠尾槽。

11. 根据权利要求7所述的涡轮发动机,其特征在于,所述楔形键的第二表面被配置成与所述相邻的轮叶中的第一轮叶的所述锥形周向表面接合,并且所述楔形键的第一表面被配置成与所述相邻的轮叶中的第二轮叶的所述第二周向表面配合抵靠。

12. 根据权利要求11所述的涡轮发动机,其特征在于,所述第一角度被配置成使得所述楔形键与所述多个轮叶中的对应一个轮叶形成锁定锥形,以使所述多个轮叶中的对应一个轮叶的所述平台连接到所述多个轮叶中的相邻对应一个轮叶的所述平台,以有助于增大所述对应轮叶的固有频率。

13. 根据权利要求12所述的涡轮发动机,其特征在于,所述第一角度的值在1度到15度之间。

14. 根据权利要求7所述的涡轮发动机,其特征在于,所述至少一楔形键被配置成同时滑动接合到所述键槽中的一个键槽以及所述多个槽口中的一个槽口。

15. 一种组装转子轮组件的方法,其特征在于,所述转子轮组件包括多个轮叶和转子轮,所述转子轮具有围绕所述转子轮的外周周向隔开的多个鸠尾槽,其中所述多个轮叶中的每个轮叶包括鸠尾榫、平台、翼型和整体围带,所述方法包括:

将第一轮叶连接到所述转子轮,其包括将所述第一轮叶的所述鸠尾榫插入第一鸠尾槽内;

使用楔形键将所述第一轮叶固定到所述转子轮;

将第二轮叶连接到所述转子轮,其包括将所述第二轮叶的所述鸠尾榫插入与邻近所述楔形键的所述第一鸠尾槽相邻的第二鸠尾槽内;

旋转所述转子轮且达到工作速度;以及

使用所述楔形键将所述第一轮叶连接到所述第二轮叶,其中所述第一轮叶与所述楔形键之间、所述第二轮叶与所述楔形键之间产生摩擦接触力。

16. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,使用楔形键将所述第一轮叶固定到所述转子轮包括将所述楔形键插入形成于所述第一轮叶的所述平台中的键槽内。

17. 根据权利要求16所述的方法,其特征在于,所述第一轮叶的所述平台包括第一表

面,所述第一表面具有形成于其中的键槽,其中所述键槽包括相对的锥形表面,所述锥形表面相对于所述第一表面以第一角度定向。

18.根据权利要求17所述的方法,其特征在于,将所述第一轮叶连接到所述第二轮叶包括使用楔形键,所述楔形键具有与所述平台的第一表面平行的第一表面以及与所述相对的锥形表面平行的第二表面。

19.根据权利要求15所述的方法,其特征在于,将所述第一轮叶连接到所述第二轮叶包括将所述第一轮叶的平台连接到所述第二轮叶的平台,以有助于提高所述第一轮叶和所述第二轮叶的固有频率。

20.根据权利要求15所述的方法,其特征在于,其进一步包括将所述转子轮组件从所述工作速度减小到静止条件并且采集所述转子轮组件的静置振动测试数据以用于调节和频率验证。

转子轮组件及其组装方法和对应的涡轮发动机

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及涡轮发动机,确切地说,涉及用于将轮叶固定到涡轮发动机转子轮组件的系统和方法和对应的涡轮发动机。

背景技术

[0002] 至少一些已知的涡轮发动机中,例如在燃气涡轮机和蒸汽涡轮机,使用轴向进入轮叶(axial entry buckets),即,转子叶片,其通过与转子轴大体平行地滑动轮叶以与界定在转子轮上的鸠尾槽接合来连接到转子轮。一些已知的轮叶包括径向向内凸出的鸠尾榫(dovetail),所述鸠尾榫与形成在转子轮上的鸠尾槽(dovetail slot)接合。所述转子轮鸠尾槽围绕转子轮的周边彼此周向隔开。

[0003] 一些已知的涡轮发动机还可以在周向相邻的轮叶之间伸展整体围带(integral cover),以阻尼轮叶的振动响应并且增大轮叶的固有频率(natural frequency)。所述轮叶各自具有在激发(excited)时共振的固有频率。随着轮叶共振,轮叶中的应力可能上升和下降。随着时间的推移,这些振荡应力可能由于材料疲劳而导致轮叶出现故障。通过增大固有频率和/或阻尼这些零件的振动响应,轮叶中的振荡应力的强度可能减小,并且轮叶寿命可能延长。但是,这些轮叶沿周向紧密连接在轮叶平台处,以增大轮叶固有频率、减小鸠尾榫中的动态应力并且准确地收集静置(standing)组装的振动测试数据以进行调谐和频率验证。

[0004] 在使用整体覆盖轮叶的至少一些已知涡轮发动机中,可以使用位于转子轮外周中的凹槽以及轮叶侧面中的凹槽内的楔将轮叶固定在鸠尾槽中。封闭轮叶(closure bucket)可以使用鸠尾榫段固定到转子轮,所述鸠尾榫段包括鸠尾榫,所述鸠尾榫沿彼此大体相反的方向延伸。所述转子轮可以包括接纳所述鸠尾榫段的传统鸠尾槽。但是,封闭轮叶可以具有接纳鸠尾榫段的鸠尾榫的鸠尾槽,而不是鸠尾榫。但是,由于轮叶使用鸠尾榫系统围绕转子轮连接,第一个和倒数第二个组装的轮叶可以导致无法插入封闭轮叶。因此,在至少一些已知的涡轮发动机中,由于插入封闭轮叶期间需要轴向移动至少一些轮叶,因此无法使用楔。

[0005] 在所述已知涡轮发动机中,扭锁(twist lock)可用于避免轮叶在组装之后在转子轮上轴向移位。扭锁可以插入形成于鸠尾榫底部内的通道中。插入封闭轮叶之前,可以松开扭锁,以选择性地分开与封闭轮叶相邻的轮叶。封闭轮叶插入转子轮之后,可以重锁所述扭锁,以免轮叶在转子轮上轴向移动。但是,使用扭锁可能增加与所述涡轮发动机相关的成本并且还可以增大转子轮组件上产生的工作应力。此外,所述扭锁无法沿周向紧密地连接在轮叶平台处,以增大轮叶的固有频率并且/或者减小鸠尾榫中的动态应力。

发明内容

[0006] 一方面,本发明提供一种转子轮组件。所述转子轮组件包括转子轮,所述转子轮具有多个鸠尾槽,所述多个鸠尾槽围绕转子轮的外周表面周向隔开。所述转子轮还包括形成

于所述外周表面内的多个槽口。此外,所述转子轮组件包括至少一轮叶,所述至少一轮叶具有整体围带、翼型 (airfoil)、鸠尾榫和平台。所述平台具有第一表面和相对的第二表面。所述第一表面包括形成于其中的键槽。所述键槽具有相对的锥形表面,所述锥形表面相对于平台第一表面以第一角度定向。此外,所述转子轮组件包括楔形键,所述楔形键具有:第一表面,所述第一表面定向为与平台第一表面大体平行;以及相对的第二表面,所述第二表面相对于所述第一表面以第一角度定向,以使第二表面与锥形表面大体平行。

[0007] 其中,所述多个槽口中的每个槽口的轴向长度与所述键槽的轴向长度大致相等。

[0008] 其中,所述转子轮具有旋转轴线 (axis of rotation),所述多个鸠尾槽包括多个轴向进入鸠尾槽 (axial entry dovetail slot),以使每个所述鸠尾槽与所述旋转轴线大体平行地延伸。

[0009] 其中,所述楔形键具有使得所述楔形键能够滑动接合至所述键槽的轴向宽度。

[0010] 其中,所述楔形键被配置成同时滑动接合至所述键槽以及所述多个槽口中的一个槽口。

[0011] 其中,所述第一角度的值在 1° 到 15° 之间。

[0012] 另一方面,本发明提供一种涡轮发动机。所述涡轮发动机包括具有旋转轴线的可旋转轴 (rotatable shaft)。所述涡轮发动机还包括外壳,所述外壳围绕所述可旋转轴周向延伸。所述外壳界定至少一通道,所述至少一通道被配置成沿可旋转轴的长度引导工作流体。所述涡轮发动机还包括转子轮组件,所述转子轮组件附接到所述可旋转的一部分以与其一起旋转。所述转子轮组件被配置成膨胀所述工作流体。所述转子轮组件包括转子轮,所述转子轮具有多个鸠尾槽,所述多个鸠尾槽围绕转子轮的外周周向隔开。所述转子轮还包括形成于所述外周表面内的多个槽口。此外,所述转子轮组件包括围绕所述旋转轴线布置在周向阵列中的多个轮叶。每个所述轮叶包括:鸠尾榫,所述鸠尾榫被配置成附接到所述多个鸠尾槽中的对应一个鸠尾槽;平台;翼型;以及与所述轮叶一体成形的整体围带。所述平台具有第一表面和相对的第二表面。所述第一表面包括形成于其中的键槽。所述键槽具有相对的锥形表面,所述锥形表面相对于平台第一表面以第一角度定向。此外,所述转子轮组件包括至少一楔形键,所述至少一楔形键具有:第一表面,所述第一表面定向为与平台第一表面大体平行;以及相对的第二表面,所述第二表面相对于第一表面以第一角度定向,以使第二表面与锥形表面大体平行。

[0013] 其中,所述多个鸠尾槽相对于所述旋转轴线以第二角度定向。

[0014] 其中,所述多个鸠尾槽包括多个轴向进入鸠尾槽,以使所述第二角度为 0° 。

[0015] 其中,所述楔形键第二表面被配置成与所述多个轮叶中的对应一个轮叶的所述锥形表面接合,并且所述楔形键的底面被配置成同时与所述多个槽口中的对应一个槽口的底面接合,以使所述多个轮叶中的相邻轮叶能够连接到所述多个鸠尾槽中的相邻对应一个鸠尾槽。

[0016] 其中,所述楔形键第二表面被配置成与所述多个轮叶中的对应一个轮叶的所述锥形表面接合,并且所述楔形键第一表面被配置成与所述多个轮叶中的相邻对应一个轮叶的所述第二表面配合抵靠。

[0017] 其中,所述第一角度被配置成使得所述楔形键与所述多个轮叶中的对应一个轮叶形成锁定锥形,以使所述多个轮叶中的对应一个轮叶的所述平台连接到所述多个轮叶中的

相邻对应一个轮叶的所述平台,以有助于增大所述对应轮叶的固有频率。

[0018] 其中,所述第一角度的值在 1° 到 15° 之间。

[0019] 其中,所述至少一楔形键被配置成同时滑动接合到所述键槽中的一个键槽以及所述多个槽口中的一个槽口。

[0020] 另一方面,本发明提供了一种组装转子轮组件的方法。所述转子轮组件包括多个轮叶和转子轮,所述转子轮具有多个鸠尾槽,所述多个鸠尾槽围绕转子轮的外周周向隔开。每个轮叶包括鸠尾榫、平台、翼型和整体围带。所述方法包括将第一轮叶连接到所述转子轮,其包括将所述第一轮叶的鸠尾榫插入第一鸠尾槽内。所述方法还包括使用楔形键将所述第一轮叶固定到所述转子轮。此外,所述方法包括将第二轮叶连接到转子轮,其包括将第二轮叶的鸠尾榫插入与邻近楔形键的第一鸠尾槽相邻的第二鸠尾槽内。此外,所述方法包括旋转转子轮组件且达到工作速度(up to an operating speed)。所述方法还包括使用所述楔形键将所述第一轮叶连接到所述第二轮叶,其中所述第一轮叶与楔形键之间、所述第二轮叶与楔形键之间产生摩擦接触力。

[0021] 其中,使用楔形键将所述第一轮叶固定到所述转子轮包括将所述楔形键插入形成于所述第一轮叶的所述平台中的键槽内。

[0022] 其中,所述第一轮叶的所述平台包括第一表面,所述第一表面具有形成于其中的键槽,其中所述键槽包括相对的锥形表面,所述锥形表面相对于所述第一表面以第一角度定向。

[0023] 其中,将所述第一轮叶连接到所述第二轮叶包括使用楔形键,所述楔形键具有与所述平台第一表面大体平行的第一表面以及与所述相对的锥形表面大体平行的第二表面。

[0024] 其中,将所述第一轮叶连接到所述第二轮叶包括将所述第一轮叶平台连接到所述第二轮叶平台,以有助于提高所述第一轮叶和所述第二轮叶的固有频率。

[0025] 所述方法进一步包括将所述转子轮组件从所述工作速度减小到静止条件并且采集所述转子轮组件的静置振动测试数据以用于调节和频率验证。

附图说明

[0026] 图1是示例性蒸汽涡轮发动机的示意图;

[0027] 图2是可用于图1中所示的蒸汽涡轮发动机中的示例性转子轮组件的局部透视图;

[0028] 图3是大体垂直于X-Z平面看去时,图1中所示的蒸汽涡轮发动机的转子轮组件的局部侧视图;

[0029] 图4是大体垂直于X-Z平面看去时,可用于图2中所示的转子轮组件的示例性轮叶的局部侧视图;

[0030] 图5是沿图4中所示的剖面线5-5截取的轮叶的截面图;

[0031] 图6是可用于图2中所示的转子轮组件的示例性楔形键的侧视图;

[0032] 图7是图6中所示的楔形键的端视图;

[0033] 图8是图2中所示的转子轮组件的局部截面图,其示出了组装转子轮组件期间插入一对轮叶之间的楔形键;以及

[0034] 图9是图2中所示的转子轮组件的局部截面图,其示出了根据工作速度旋转转子轮组件之后插入一对轮叶之间的楔形键。

具体实施方式

[0035] 本说明书中所用的术语“轴向”和“轴向地”是指大体平行于涡轮发动机的纵轴延伸的方向和定向。此外,术语“径向”和“径向地”是指大体垂直于涡轮发动机的纵轴延伸的方向和定向。此外,本说明书中所用的术语“周向”和“周向地”是指围绕涡轮发动机的纵轴弓形延伸的方向和定向。

[0036] 图1是示例性蒸汽涡轮发动机10的示意图。尽管图1中示出了示例性蒸汽涡轮发动机,但是应注意,本说明书中所述的轮叶键接系统和方法并不限于任一种特定类型的涡轮发动机。所属领域中的普通技术人员应认识到,本说明书中所述的当前轮叶键接系统和方法可用于任何旋转式机器,包括燃气涡轮发动机,其可以是使得此类设备、系统和方法如本说明书中进一步所述运行的任何适当构造。

[0037] 在所述示例性实施例中,蒸汽涡轮发动机10是单流蒸汽涡轮发动机。或者,蒸汽涡轮发动机10可以是任何类型的蒸汽涡轮机,例如,但不限于,低压涡轮发动机;对流、高压和中压蒸汽涡轮机组合;双流蒸汽涡轮发动机;以及/或者其他蒸汽涡轮机类型。此外,如上所述,本发明并不限于仅用于蒸汽涡轮发动机,而是可用于其他涡轮机系统中,例如燃气涡轮发动机中。

[0038] 在图1中所示的示例性实施例中,蒸汽涡轮发动机10包括连接到可旋转轴14的多个涡轮机级12。外壳16轴向分为上半部分18和下半部分(未图示)。上半部分18包括高压(HP)蒸汽入口20和低压(LP)蒸汽出口22。轴14沿中心线轴线(centerline axis)24延伸穿过外壳16,并且由大体与填密端部26和28相邻的轴承支撑,所述轴承各自可旋转地连接到轴14的相对端部30。多个密封构件31、34和36连接在可旋转轴端部30与外壳16之间,以有助于围绕轴14密封外壳16。

[0039] 在示例性实施例中,蒸汽涡轮发动机10还包括定子部件42,所述定子部件42连接到外壳16的内壳体44。密封构件34连接到定子部件42。外壳16、内壳体44和定子部件42各自围绕轴14和密封构件34周向延伸。在示例性实施例中,密封构件34在定子部件42与轴14之间形成扭转的密封通道。轴14包括多个涡轮机级12,高压高温蒸汽40经由蒸汽通道46穿过所述涡轮机级。涡轮机级12包括多个进口喷嘴(inlet nozzle)48。蒸汽涡轮发动机10可以包括使蒸汽涡轮发动机10能够如本说明书中所述运行的任何数量的吸入喷嘴48。例如,蒸汽涡轮发动机10可以包括比图1中所示的更多个或更少个吸入喷嘴48。涡轮机级12还包括多个涡轮机叶片或轮叶38。蒸汽涡轮发动机10可以包括使蒸汽涡轮发动机10能够如本说明书中运行的任何数量的轮叶38。蒸汽通道46通常穿过外壳16。蒸汽40从HP蒸汽入口20进入蒸汽通道46并且沿轴14流过蒸汽机级12。

[0040] 运行期间,高压高温蒸汽40从诸如锅炉(未图示)等蒸汽源输送到涡轮机级12,其中涡轮机级12将热能转化成机械旋转能。具体来说,蒸汽40经由HP蒸汽入口20穿过外壳16,在所述外壳中,蒸汽冲击连接到轴14的多个涡轮机叶片或轮叶38,以使轴14围绕中心线轴线24旋转。蒸汽40从LP蒸汽出口22排出外壳16以外。蒸汽40随后可以输送到锅炉(未图示),在所述锅炉中,所述蒸汽重新加热或输送到系统中的其他部件,例如,冷凝器(未图示)。

[0041] 图2是可用于蒸汽涡轮发动机10(如图1中所示)中的示例性转子轮组件50的局部透视图。在示例性实施例中,转子轮组件50包括转子轮52,所述转子轮52包括界定在其中的

多个轴向进入鸠尾槽54,所述鸠尾槽54围绕转子轮52的外周大体等距地隔开。每个鸠尾槽54定向为与中心线轴线24(如图1中所示)大体平行,通常如中心线55所示。中心线轴线24对应于转子轮52的旋转轴。或者,鸠尾槽54可以以使得蒸汽涡轮发动机10能够如本说明书中所述运行的相对于中心线轴线24的任何角度定向在转子轮52中。在示例性实施例中,每个鸠尾槽54大体呈V形并且包括一系列轴向延伸的周向突起56和凹槽58。在示例性实施例中,每个鸠尾槽54大体对称并且从转子轮52的外周径向向内延伸。

[0042] 如图2中所示,当蒸汽40流过转子轮组件50时,转子轮52沿箭头R所示的方向旋转。中心线轴线24大体平行于坐标系的Z轴(如图1中所示),其中蒸汽40主要沿Z轴流动。

[0043] 在示例性实施例中,每个轮叶38包括根部或鸠尾榫60、平台62、翼型64和整体围带66。参考坐标系,每个轮叶38相对于转子轮组件50的旋转方向的最前周侧称为前侧(leading side)65。每个轮叶38的相对周侧,或者相对于Y轴正向的最后侧称为后侧(trailing side)63。

[0044] 在示例性实施例中,鸠尾榫60的形状大体上与对应鸠尾槽54互补,并且每个鸠尾榫60包括一系列轴向延伸的周向突起68和凹槽70,其与对应的鸠尾槽54联锁。如上所述,鸠尾槽54和鸠尾榫60各自与蒸汽涡轮发动机10的中心线轴线24大体平行(如图1中所示),以便当对应轮叶38的鸠尾榫60轴向插入对应鸠尾槽54中时,轮叶38可以连接到转子轮52上。组装时,轮叶38形成围绕转子轮52的外周延伸的轮叶阵列。

[0045] 图3是大体垂直于X-Z平面看去时,蒸汽涡轮发动机10(如图1中所示)的转子轮组件50的局部侧视图。具体来说,图3是从轮叶38的后侧63看去时的局部放大侧视图,其示出了用于将轮叶38锁定到转子轮52的示例性楔形键72。在示例性实施例中,轮叶38包括键槽74,所述键槽74界定在平台62的后侧表面76中。键槽74在后侧表面76的下方向键槽表面108延伸。后侧表面76周向面对转子轮52并且与包括中心线轴线24的径向平面大体平行并且从转子轮52径向向外延伸。在示例性实施例中,键槽74通常沿对应于Z轴的轴向方向位于平台62的中心,并且延伸穿过平台62的底面78。转子轮52包括界定在转子轮52的外周表面82中的对应槽口80并且延伸在对应鸠尾槽54之间。槽口80由底面116、前缘118和后缘120界定。槽口80通向外周表面82。此外,槽口80大体上呈矩形并且与键槽74大体对齐,即,键槽74和槽口80沿Z轴方向具有大体类似的长度。

[0046] 图4是大体垂直于X-Z平面看去时,转子轮组件50(如图2中所示)的轮叶38的局部侧视图。在示例性实施例中,键槽74包括各自定向为与中心线轴线24大体垂直的前缘84和后缘86、与中心线轴线24大体平行的顶部边缘88以及延伸在顶部边缘88与后缘86之间的成角度边缘90。或者,键槽74可以不包括成角度边缘90,以使顶部边缘88延伸在前缘84与后缘86之间。在示例性实施例中,成角度边缘90定向为相对于后缘86的角度 α 。角度 α 在约 30° 到约 90° 之间,其中在 90° 时,成角度边缘90如上所述消除。或者,角度 α 可以是使得键槽74能够如本说明书中所述运行的任何角度。成角度边缘90用于帮助提供一种装置以确保楔形键72以适当的定向组装并且在平台62的后侧63处提供间隙。键槽边缘84、86、88和90之间的每个交叉点由弧形边角92界定,所述弧形边角有助于减小轮叶38的平台62中的应力点。或者,键槽74可以是使得键槽74能够如本说明书中所述运行的任何形状。

[0047] 图5是沿剖面线5-5截取的轮叶38的截面图。在示例性实施例中,键槽74穿过平台62的后侧表面76延伸到键槽表面108。键槽表面108沿Z轴轴向延伸并且以相对于后侧表面

76的角度 θ 相对于后侧表面76倾斜。以角度 θ 倾斜的键槽表面108形成具有楔形键72的锁定锥形。在示例性实施例中,角度 θ 在约 1° 到约 15° 之间。或者,角度 θ 可以是使得键槽74能够如本说明书中所述运行的任何角度。

[0048] 图6是用于转子轮组件50的楔形键72的侧视图(如图2中所示)。在示例性实施例中,楔形键72的形状大体上与键槽74互补,即,楔形键72包括彼此大体平行的前缘94和后缘96、定向为大体垂直于前缘94和后缘96的顶部边缘98和底部边缘110以及延伸在顶部边缘98与后缘96之间的成角度边缘100。或者,楔形键72可以不包括成角度边缘100,以使顶部边缘98延伸在前缘94与后缘96之间。在示例性实施例中,成角度边缘100相对于后缘96成角度 β 。角度 β 与键槽74的角度 α 大体相等并且在约 30° 到约 90° 之间,其中在 90° 时,成角度边缘100如上所述消除。或者,角度 β 可以是使得楔形键72能够如本说明书中所述运行的任何角度。在示例性实施例中,边缘94、96、98、100与110之间的每个交叉点包括倒角102,用于有助于以可滑动方式将楔形键72与键槽74连接。或者,键槽74可以是使得键槽74能够如本说明书中所述运行的任何形状。在示例性实施例中,楔形键72的宽度104和高度106使得楔形键72能够与键槽74和槽口80大体对齐,同时使得楔形键72在键槽74和槽口80内垂直移动。

[0049] 图7是楔形键72的端视图。在示例性实施例中,楔形键72包括正面112和背面114。背面114与正面112成角度 σ 。在示例性实施例中,以角度 σ 倾斜的背面114形成与键槽74对应的锁定锥形。因此,角度 σ 与角度 θ 大致相等。在示例性实施例中,角度 σ 在约 1° 与约 15° 之间。或者,角度 σ 可以是使得楔形键72能够如本说明书中所述运行的任何角度。

[0050] 图8是转子轮组件50的局部截面图,其示出了组装转子轮组件50期间插入一对轮叶38之间的楔形键72。参考图2、图3和图8,运行时,轮叶38插入转子轮52的鸠尾槽54,以使键槽74与槽口80对齐。具体来说,槽口80的前缘118和键槽74的前缘84对齐,以使从X-Z平面看去时,它们大体共线(如图3中所示)。此外,槽口80的后缘120和键槽74的后缘86对齐,以使从X-Z平面看去时,它们大体共线。楔形键72至少部分插入轮叶38的键槽74中。楔形键72也至少部分插入转子轮52的槽口80中。插入键槽74和槽口80中之后,楔形键72被轴向(Z轴)和径向(X轴)捕获,从而将轮叶38正轴向固定到转子轮52。随着每个后续轮叶38插入对应鸠尾槽54中,楔形键72被周向(Y轴)捕获。在示例性实施例中,楔形键72的背面114与对应键槽表面108啮合并固定于槽口80的底面116上。此位置可以称为楔形键72的径向向内位置。在楔形键72的径向向内位置中,间隙122界定在楔形键72的正面112与相邻轮叶38的前侧表面124之间。间隙122确保相邻轮叶38的组装。

[0051] 图9是转子轮组件50的局部截面图,其示出了旋转转子轮组件50且达到工作速度之后插入一对轮叶38之间的楔形键72。在示例性实施例中,楔形键72由于以工作速度旋转转子轮组件50所产生的离心力而移动到径向向外位置。在楔形键72的径向向外位置中,楔形键72的正面112与相邻轮叶38的前侧表面124配合抵靠,从而消除间隙122。楔形键72的径向向外位置使得楔形键72和后侧表面76与相邻轮叶38的前侧表面124之间紧密结合。键槽表面108的角度 θ 和楔形键72的角度 σ 有助于形成锁定锥形,从而在转子轮组件50不再旋转时,稳固地将处于径向向外位置中的楔形键72连接在相邻轮叶38之间。键槽表面108与楔形键72之间形成的锁定锥形将在楔形键72的背面114与对应键槽表面108之间产生摩擦接触力F1。此外,摩擦接触力F2产生在楔形键72的正面112与相邻轮叶38的前侧表面124之间。摩擦接触力F1和F2将处于径向向外位置中的楔形键72连接在相邻轮叶38之间。连接处于径向

向外位置的楔形键72使得轮叶38能够位于径向向外位置中,即使是在转子轮组件50静止时,以便轮叶38和转子轮38保持紧密连接。

[0052] 运行时,将平台62连接到相邻轮叶38有助于增大轮叶38的固有频率。增大轮叶38的固有频率有助于减小轮叶38的尾缘60中产生的动态应力,并且便于在转子轮组件50静止时在其上进行组装振动测试。在蒸汽轮机10静止时进行组装振动测试可通过减小执行齿轮箱或自旋单元振动测试的需要来帮助减少开支并且缩短蒸汽涡轮发动机10的制造周期。使用具有整体覆盖轮叶的楔形键72有助于在转子轮组件50工作速度下存在的基本边界条件也存在于转子轮组件50的静止条下,以便于进行静置组装振动测试以调节并验证蒸汽涡轮发动机10。

[0053] 本说明书中所述的系统和方法有助于通过提供轴向进入轮叶键接系统来提高涡轮发动机性能,所述轴向进入轮叶键接系统大幅减小涡轮机上产生的工作应力,同时执行静置组装振动测试以调节和验证。具体来说,本说明书结合具有锥形键槽的轮叶一起描述了具有锁定锥形的楔形键。因此,与使用轴向进入轮叶的已知涡轮机相反,本说明书中所述的设备、系统和方法有助于减小组装轴向进入轮叶的时间和难度、便于减小与尾缘60封闭嵌件相关的工作应力和成本并且便于在轮叶平台处连接,从而提供轮叶固有频率、减小尾缘60中的动态应力并且采集精确静置组装振动测试数据以进行调节和频率验证。

[0054] 本说明书中所述的方法和系统并不限于本说明书中所述的具体实施例。例如,每个系统的部件和/或每个方法的步骤可以相对于本说明书中所述的其他部件和/或步骤独立单独地使用和/或实施。此外,每个部件和/或步骤还可以与其他组件和方法一起使用和/或实施。

[0055] 尽管已就各个具体实施例描述了本发明,但是所属领域中的技术人员将认识到,可以在权利要求书的精神和范围内对本发明做出修改。

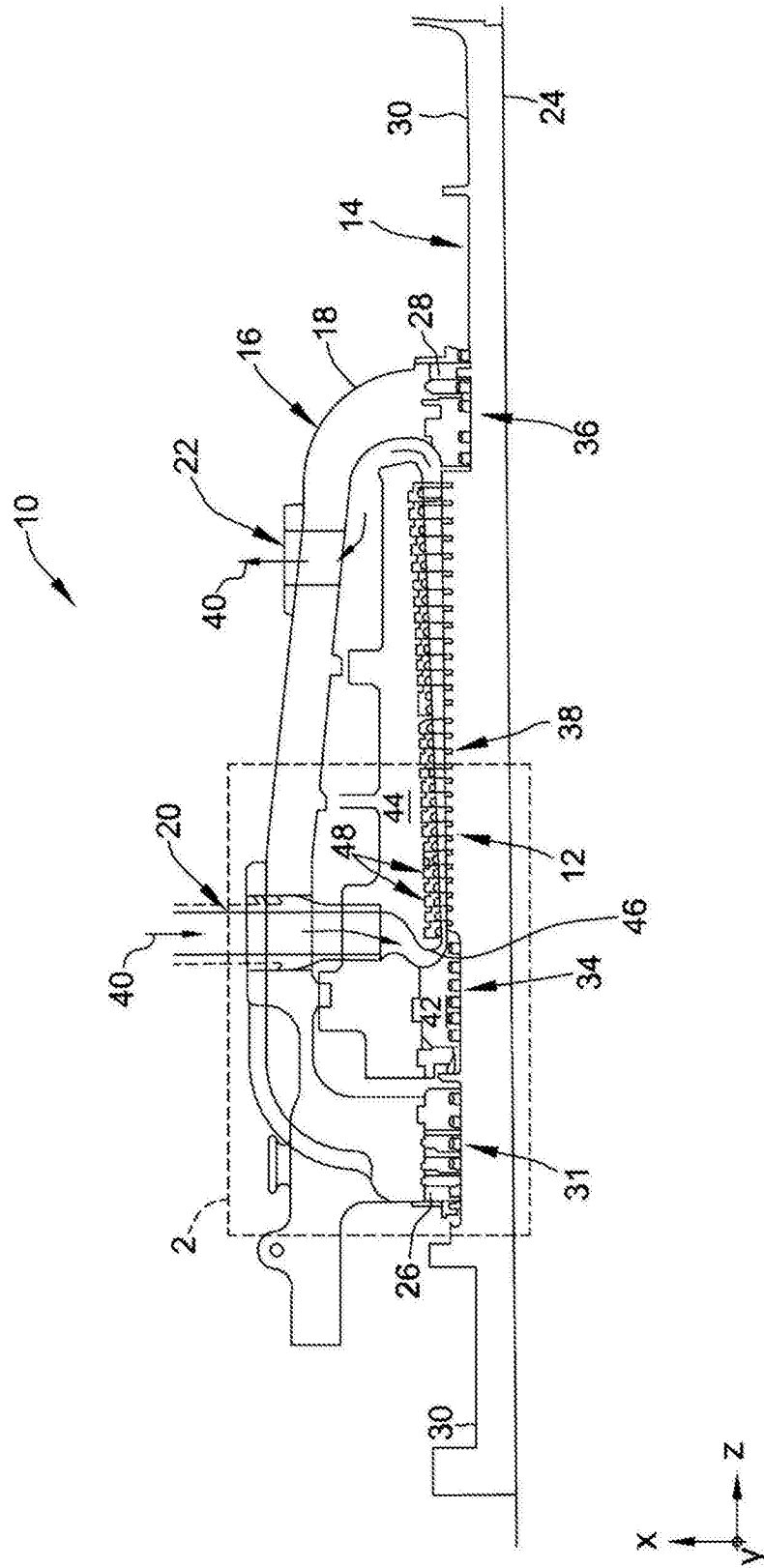


图1

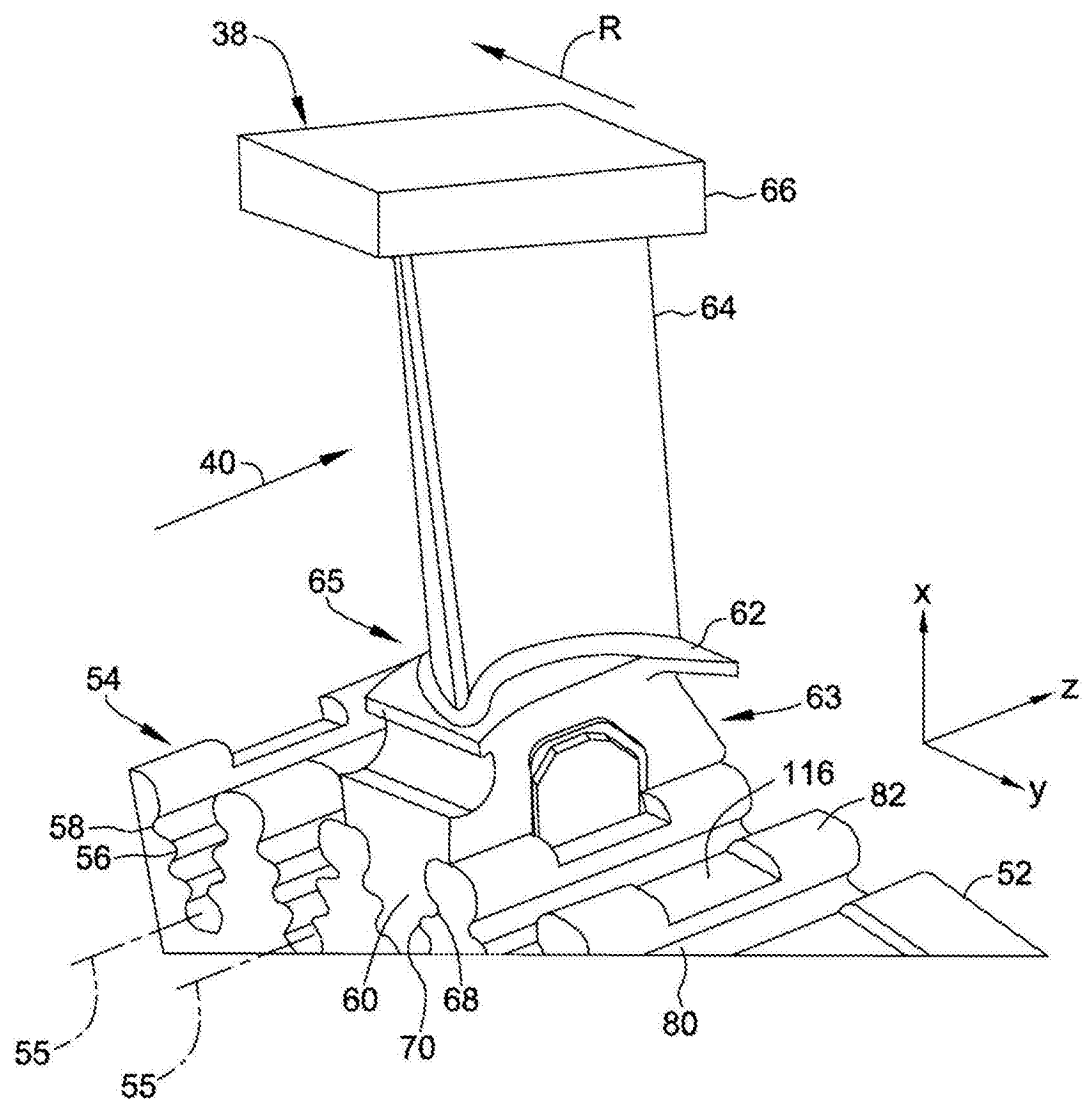


图2

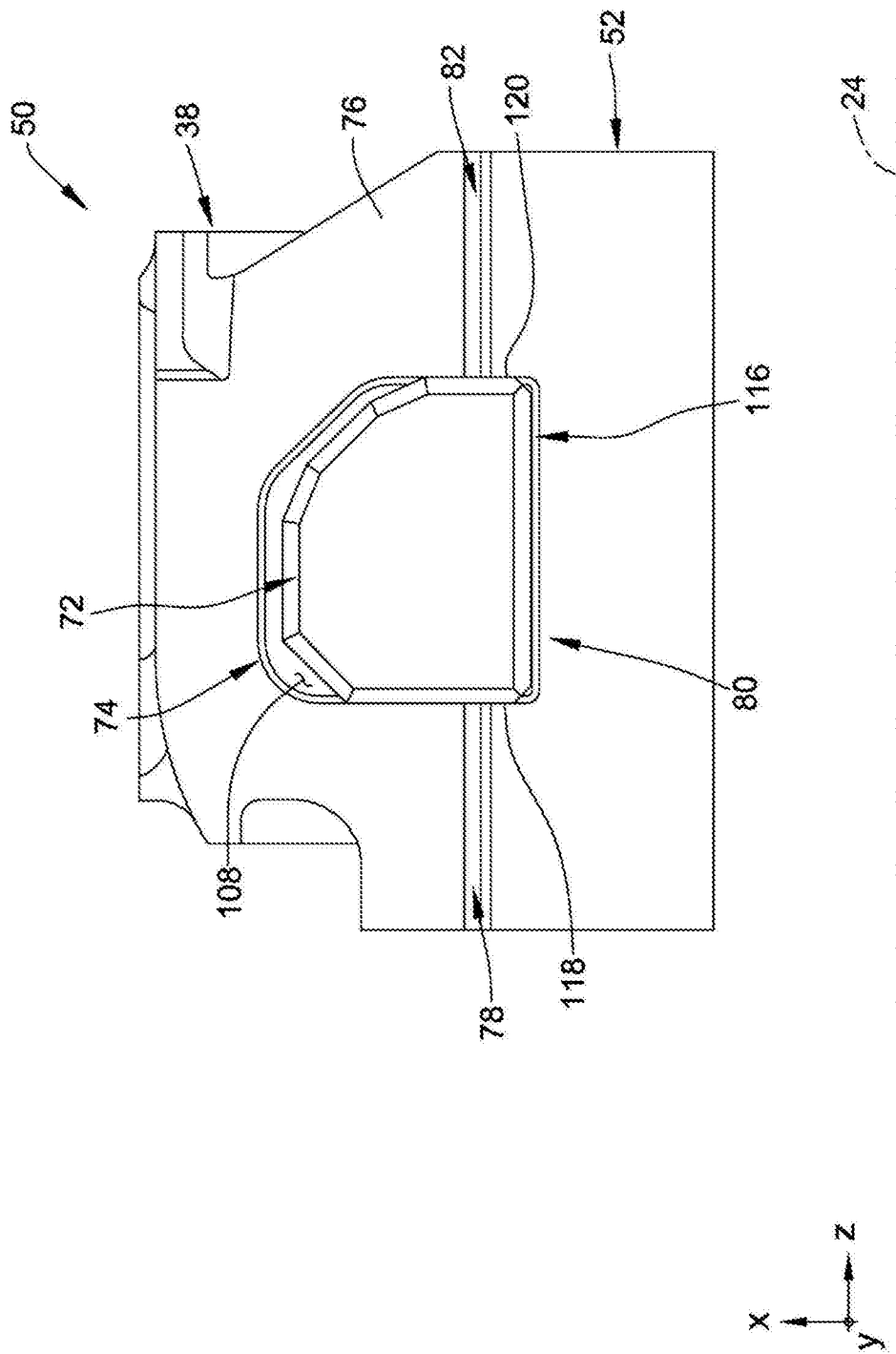


图3

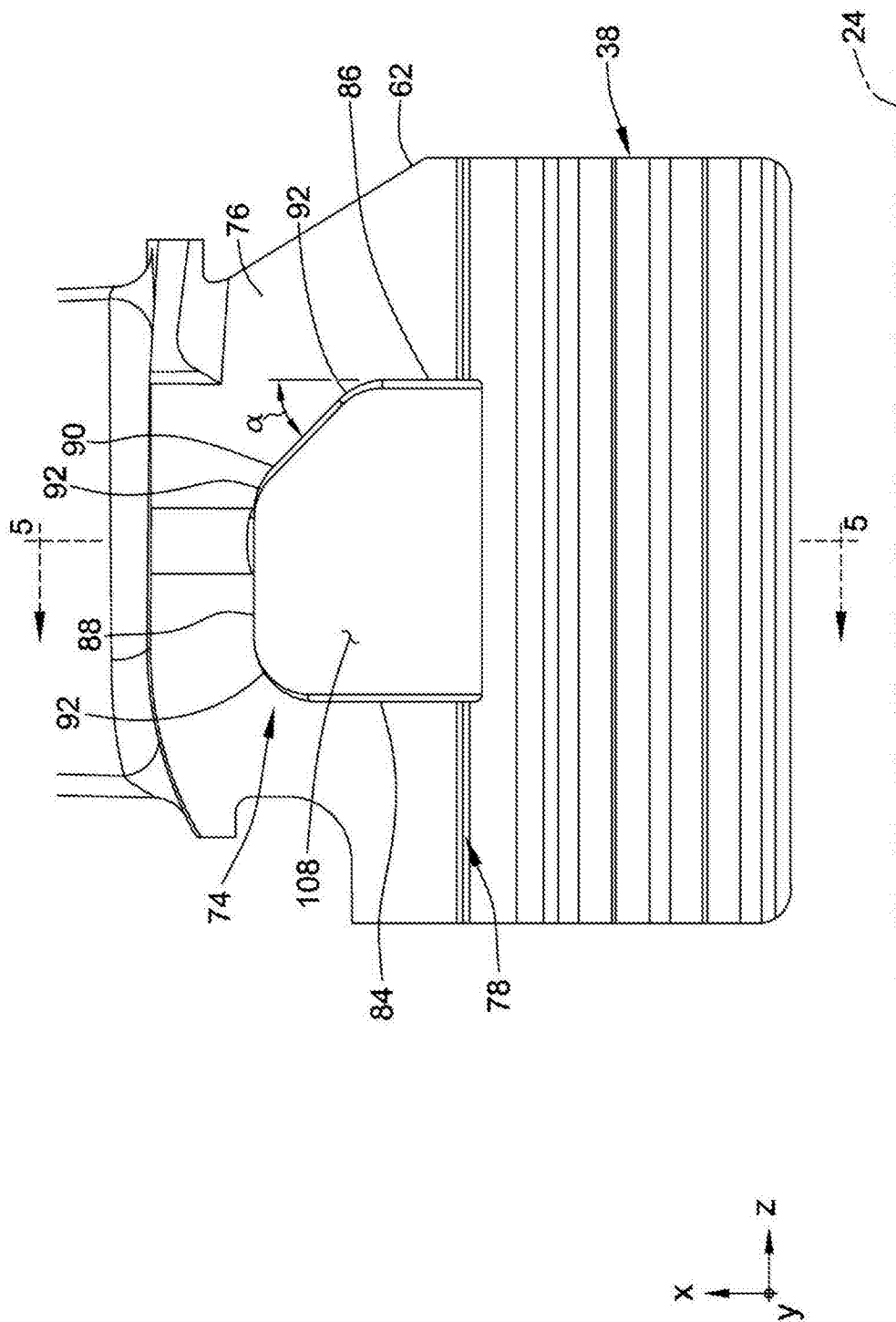


图4

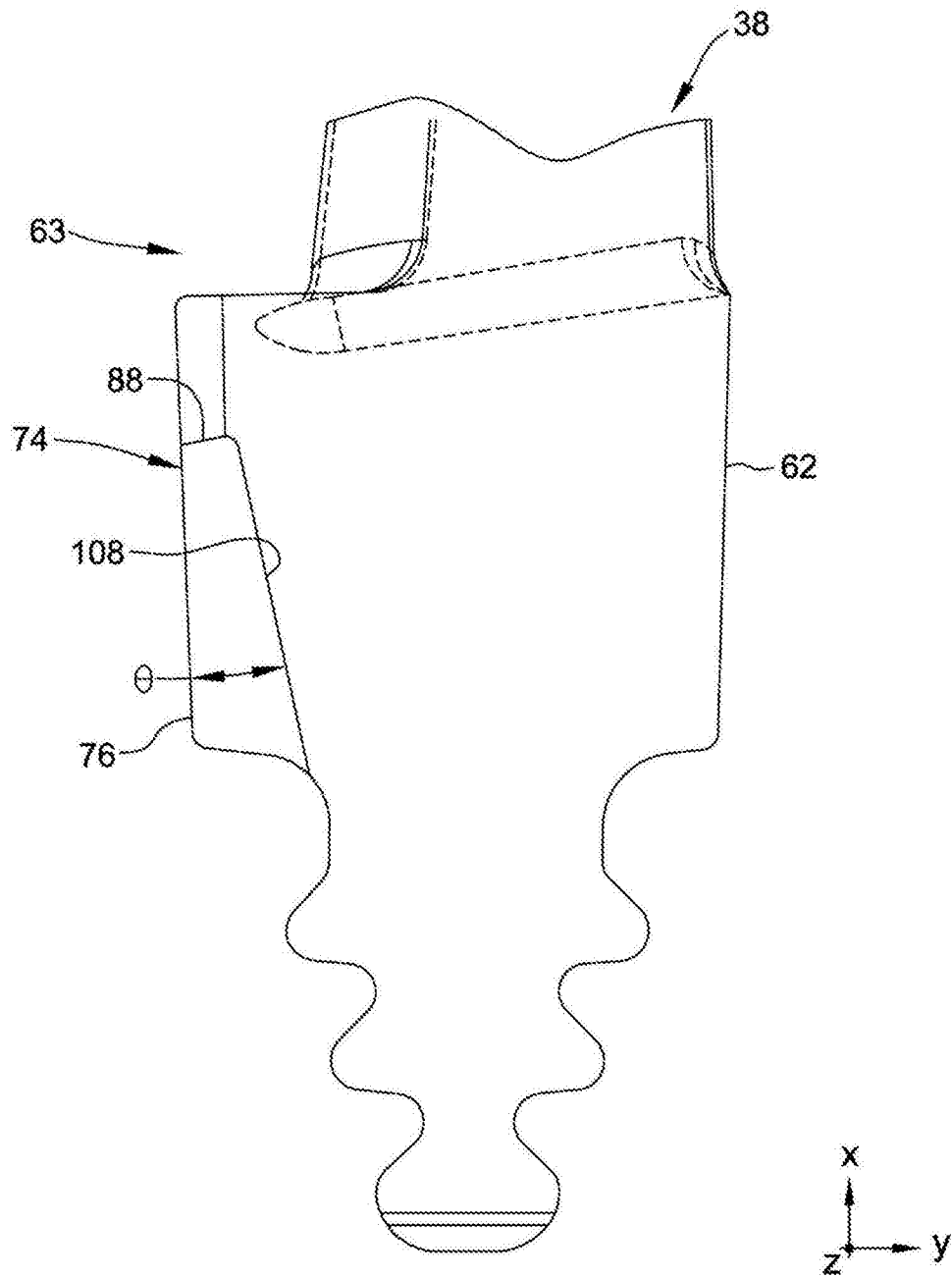


图5

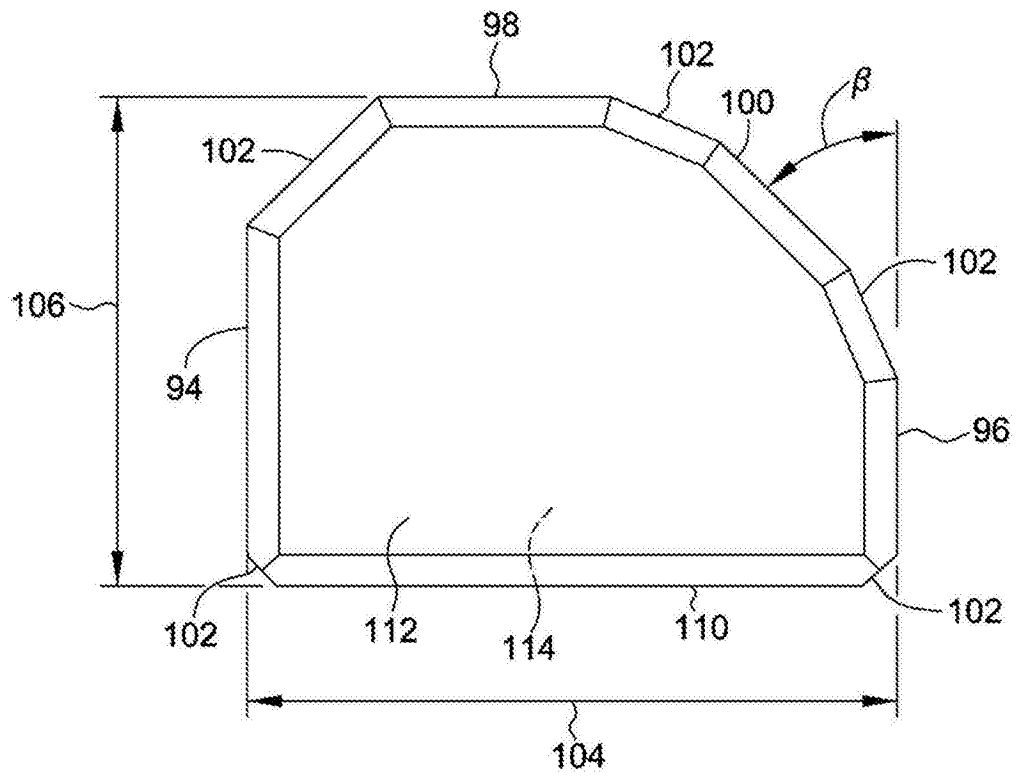


图6

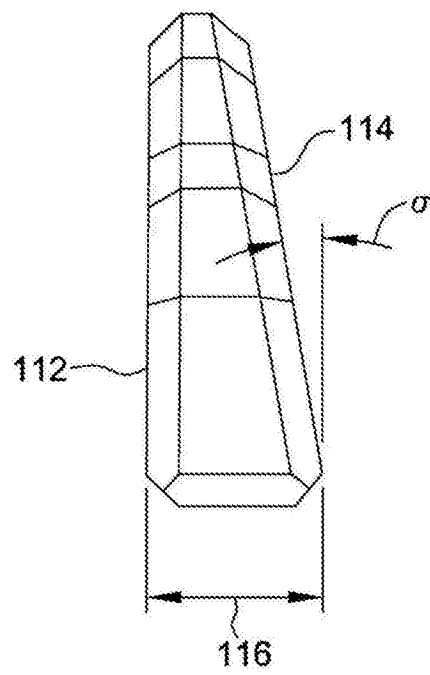


图7

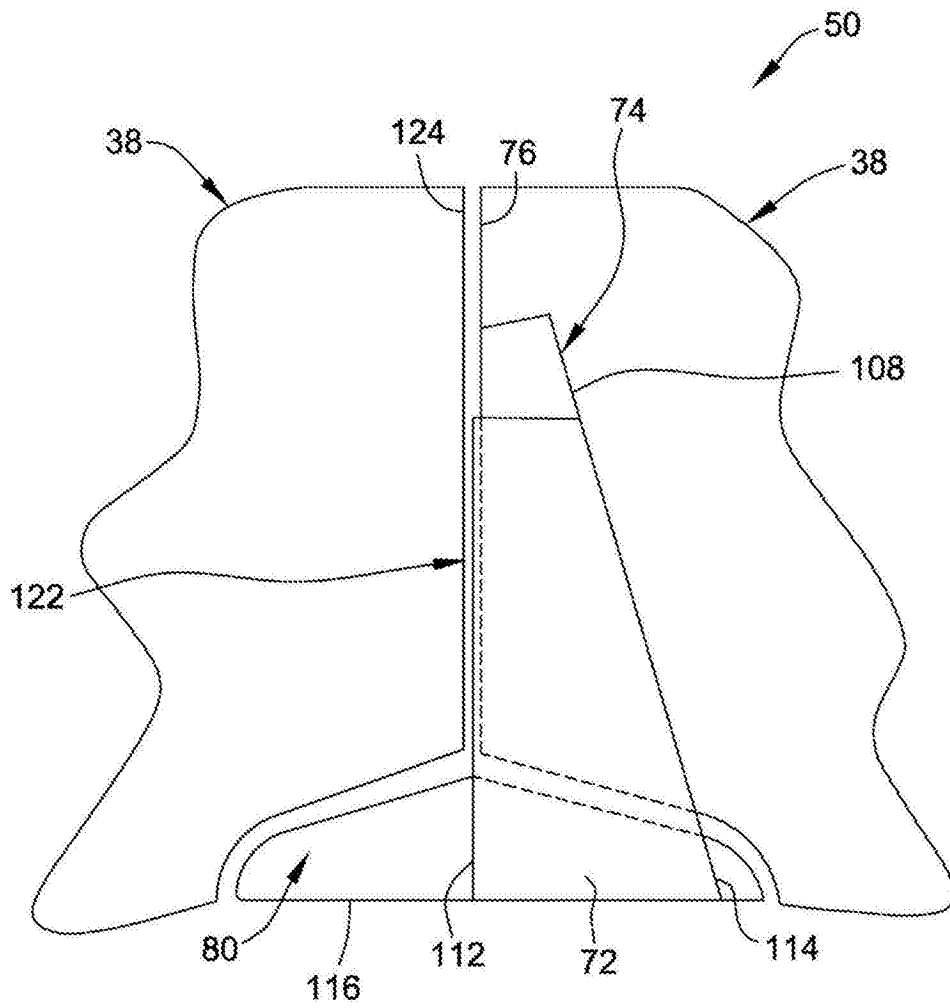


图8

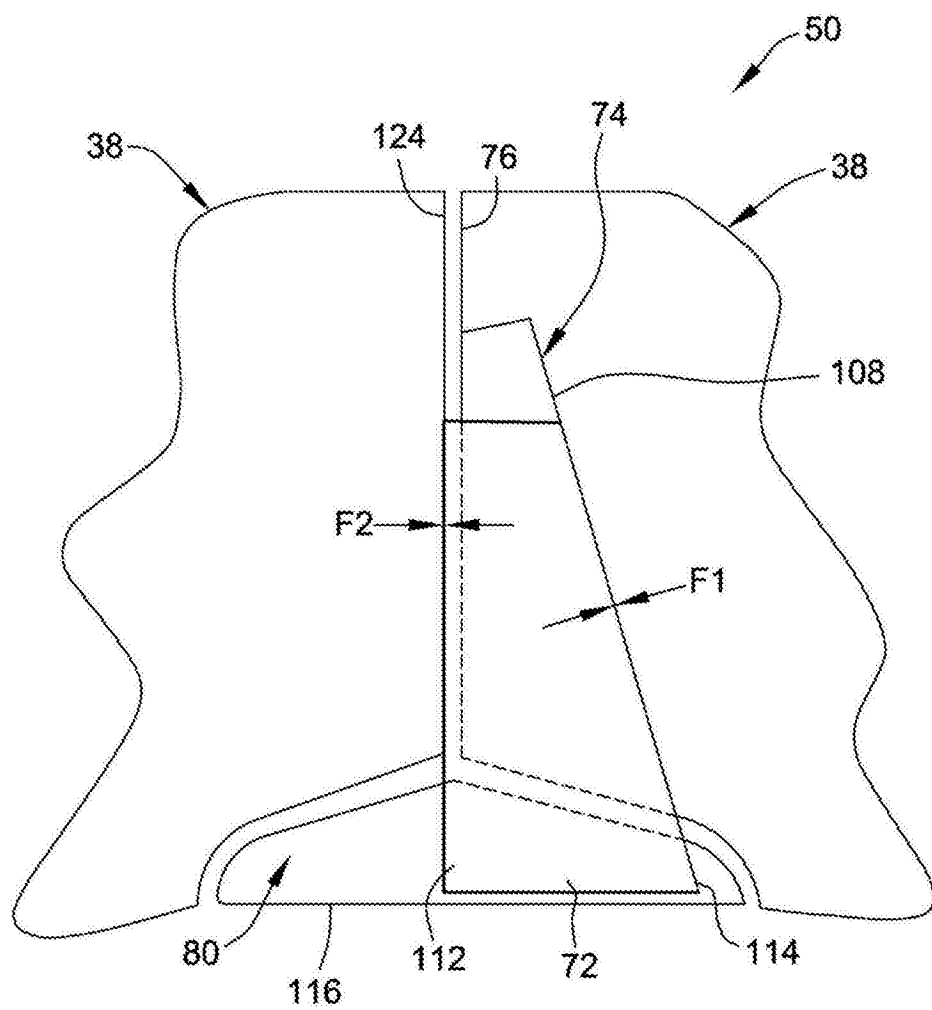


图9