

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F01D 5/22 (2006.01)

F01D 11/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580002320.X

[45] 授权公告日 2008 年 7 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 100400796C

[22] 申请日 2005.1.12

[21] 申请号 200580002320.X

[30] 优先权

[32] 2004.1.20 [33] EP [31] 04001108.2

[86] 国际申请 PCT/EP2005/000226 2005.1.12

[87] 国际公布 WO2005/068786 德 2005.7.28

[85] 进入国家阶段日期 2006.7.12

[73] 专利权人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

[72] 发明人 斯蒂芬·巴尔道夫

汉斯-托马斯·博尔姆斯

迈克尔·汉德勒 克里斯琴·勒纳

[56] 参考文献

US5244345A 1993.9.14

US6533544B1 2003.3.18

WO99/60253A1 1999.11.25

审查员 刘亚妮

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 侯宇 陶凤波

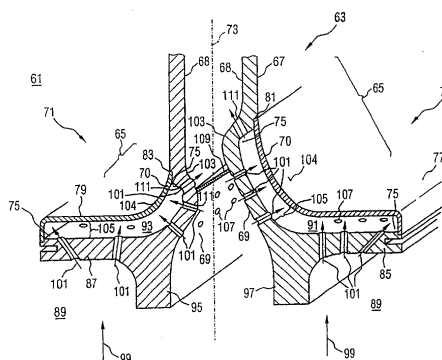
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 2 页

[54] 发明名称

涡轮叶片和有这种涡轮叶片的燃气轮机

[57] 摘要

本发明涉及一种涡轮叶片(67)，它包括一个沿叶片轴线(73)设置的叶身(67)和一个平台区(61)，后者设在叶身的根部和有一个横向于叶片轴线(73)延伸的平台(71)，其中，平台(71)有不支承叶身(67)的第一平台壁(70)和支承叶身(67)的第二平台壁(69)。为了保证平台区和从叶身(67)到涡轮叶片(63)平台(71)的过渡区(65)更好地冷却，并因而保证燃气轮机(1)流动通道(5)边界的冷却，按本发明建议的方案，在叶身(67)的根部，在从叶身(67)向平台(71)的过渡区域(65)内，第一平台壁(70)的过渡区段有一空气动力学的倒圆曲线(104)，以及，第二平台壁(69)的过渡区段有一相对于第一平台壁(70)和在叶身(67)延续时回缩的台阶(103)。



1. 一种涡轮叶片(63), 它包括一个沿一叶片轴线(73)设置的叶身(67)和一个平台区(61), 后者设在叶身的根部和有一个横向于叶片轴线(73)延伸的平台(71), 其中, 该平台(71)有不支承叶身的第一平台壁(70)和支承叶身的第二平台壁(69), 其特征为: 在所述叶身(67)的根部, 在从叶身(67)向平台(71)过渡的区域(65)中, 第一平台壁(70)在其过渡区段中有一空气动力学的倒圆曲线(104), 以及, 第二平台壁(69)在其过渡区段中有一从叶身(67)延续出的并相对于第一平台壁(70)回缩的台阶(103)。

2. 按照权利要求 1 所述的涡轮叶片(63), 其特征为, 在所述第一平台壁(70)的倒圆部分(104)与第二平台壁(69)的台阶(103)之间, 构成一个用于冷却平台(71)的空隙(91、93)。

3. 按照权利要求 2 所述的涡轮叶片(63), 其特征为, 所述空隙(91、93)有一个沿平台(71)的整个延伸区域由所述台阶的高度决定的恒定的高度(105)。

4. 按照权利要求 1 至 3 之一所述的涡轮叶片(63), 其特征为, 所述第二平台壁(69)的壁厚大于第一平台壁(70)的壁厚。

5. 按照权利要求 1 至 3 之一所述的涡轮叶片(63), 其特征为, 所述第二平台壁(69)上有一些冷却通孔(107), 在所述过渡区域(65)内的单位面积所述冷却通孔(107)的数量大于在平台的其他区域内的单位面积所述冷却通孔(107)的数量。

6. 按照权利要求 1 至 3 之一所述的涡轮叶片(63), 其特征为, 所述第一平台壁(70)由一个贴靠在叶身(67)上的弹簧弹性的板件(77、79)构成。

7. 按照权利要求 1 至 3 之一所述的涡轮叶片(63), 其特征为, 所述平台(71)在叶身(67)两侧定性相同地延伸。

8. 一种燃气轮机(1), 它包括一个沿轴线(3)延伸具有用于工质(M)的环形横截面的流动通道(5)、一个沿轴线(3)设在第一叶片级(7、11)后的第二叶片级(9、13), 其中, 一个叶片级(7、9、11、13)有一定数量环形排列在流动通道(5)内沿径向延伸的按照上述任一项权利要求所述的涡轮叶片(63)。

9. 按照权利要求 8 所述的燃气轮机(1), 其特征为, 当形式上为在一个

轴流式涡轮转子上的工作叶片(23)的涡轮叶片(63)旋转运行时,产生一个由于旋转从叶身的根部沿叶身方向(99)作用的离心力,此时,所述弹簧弹性的第一板件(77、79)被离心力压靠在一个止挡(81、83)上并因而被离心力固定。

10. 按照权利要求 8 或 9 所述的燃气轮机(1),其特征为,当形式上为在一周缘涡轮机匣上的导向叶片(21)的涡轮叶片(63)工作时,通过冷却剂产生一个从叶身的根部沿叶身方向(99)的压力梯度,此时,所述弹簧弹性的板件(77、79)由于此压力梯度压靠在一个止挡(81、83)上并因而被压力固定。

涡轮叶片和有这种涡轮叶片的燃气轮机

技术领域

本发明涉及一种涡轮叶片，它包括一个沿叶片轴线设置的叶身和一个平台区。本发明还涉及一种具有这种涡轮叶片的燃气轮机。

背景技术

在此类燃气轮机中，在加入热燃气后，流动通道内产生可处于 1000℃ 与 1400℃ 之间范围内的温度。基于一个叶片级一定数量的这种涡轮叶片的环形排列，涡轮叶片的平台构成用于流过燃气轮机的形式上为热燃气的工作流体流动通道的一部分，热燃气以此方式通过涡轮叶片，驱动轴流式涡轮转子。流动通道通过平台构成的边界受高的热负荷，应采取措施加以限制，即从涡轮叶片设在平台后面，亦即平台下方的根部那里冷却平台。为此，根部和平台区通常有适用的通道系统，用于加入冷却剂。

由 DE 2 628 807 A1 已知一种用于前言所述类型涡轮叶片的冲击式冷却系统。在 DE 2 628 807 A1 中为了冷却平台，在平台背对热燃气的一侧前，亦即在平台后，换句话说在叶根与平台之间，设一带孔的壁件。压力较高的冷却空气通过壁件的孔冲击平台背对热燃气的一侧，由此实现有效的冲击冷却。

在 EP 1 073 827 B1 中公开了一种对于铸造的涡轮叶片的平台区的新的结构设计方法。平台区设计为由两个互相对置的平台壁组成的双重平台。由此可以将直接遭遇热燃气并构成流动通道边界的平台壁设计得较薄。采用这种两个平台壁的设计，导致这些平台壁的分工。构成流动通道边界的平台壁，主要负责构成用于热燃气的通道系统。对置的不施加热燃气的平台壁，承担吸收由叶身引起的负荷的任务。这种分工使得构成流动通道边界的平台壁可以设计得比较薄，它保证构成热燃气通道系统而不必承受大的负荷。

通常，在平台区内和在叶身的根部区内，在叶身与平台之间，基于最终通过铸造和根据涡轮叶片负荷提出的强度要求造成的边界条件，规定在

常见的涡轮叶片中采用比较高的材料聚集。这种比较高的材料聚集同时也使得难以借助在叶片内部实施冷却的方法从此区域散热，以及也阻碍这些区域用冷却剂直接冷却。为了冷却这些区域，已知在叶身的根部区和在平台区内采用叶片外表面上的气膜冷却。为此在此外表面附近从相应的开式间隙系统将冷却气膜布设在施加形式上为热燃气的工质的流动通道边界上。原则上这是一种冷却上述具有比较高的材料聚集的平台区和根部区有效的方案。尽管如此，基于在流动通道内复杂的二次流状况为此需要很大的冷却空气量，与此同时二次流的涡流构型会导致气膜从所述的外表面飞脱和分流。因此在燃气轮机实际运行时，在这些难以进入的区域内，这种已知的方法导致有未被冷却的根部区和平台区。对这些区域进行一种有利的设计是值得追求的。

发明内容

因此，本发明的目的是提供一种涡轮叶片和一种燃气轮机，保证在叶身根部区和叶片平台区有更好的冷却，并因而保证燃气轮机流动通道边界更好的冷却。

上述目的首先通过一种涡轮叶片来实现，该涡轮叶片包括一个沿一叶片轴线设置的叶身和一个平台区，后者设在叶身的根部和有一个横向于叶片轴线延伸的平台，其中，该平台有不支承叶身的第一平台壁和支承叶身的第二平台壁，按照本发明，在所述叶身的根部，在从叶身向平台过渡的区域中，第一平台壁在其过渡区段中有一空气动力学的倒圆曲线，以及，第二平台壁在其过渡区段中有一从叶身延续出的并相对于第一平台壁回缩的台阶。

本发明考虑的出发点在于，使用一个薄壁的不承力的平台壁构成在燃气轮机的运行状态中所加入的一种形式上为热燃气的工质的流动通道边界，允许特别有利地设计平台。本发明重要的认识在于，对于这种包括不承力的第一薄壁平台壁和承力的第二厚壁平台壁的双层壁平台而言，不仅不承力的而且承力的平台壁均能最佳地满足对它们提出的要求。

按上述考虑，不承力的平台壁尤其可设计满足其作为流动通道边界的功能。按本发明，它在从叶身到平台的过渡区域中有空气动力学的倒圆曲线段。在上面提及的 EP1073827B1 的平台设计中没有采取这一措施。按上

述考虑,平台的背侧,亦即承力的第二平台壁尤其针对其承力的功能设计。它应提供一个冷却不承力平台壁的空隙。基于此原因本发明规定,第二平台壁在其延伸过程中有一个作为叶身延续段并相对于第一平台壁回缩的台阶。因此按本设计方案,不承力的第一平台壁背侧留空以及形式上为承力的第二平台壁的承力的叶片结构按热机械学的观点优化设计,也就是说,一方面第二平台壁体现实际上有与叶身壁相同厚度的叶身壁的延续,以及另一方面第二平台壁基于所述的回缩台阶供足够大的可供充入用于不承力平台壁的冷却剂的空隙。

不承力的第一平台壁的热负荷通过空气动力学的倒圆曲线延伸段减小,其结果是也减少了冷却措施。冷却措施本身主要通过相应设计承力的第二平台壁和提及的空隙得以优化,所以在叶身根部区与平台区之间也称为复曲线的区域可以用低的耗费最佳地冷却。

因此,本发明重要的认识在于,通过所建议的在叶身与平台之间过渡区的设计,一方面在不危及涡轮叶片机械稳定性的同时大大减少材料聚集,以及另一方面在此过渡区内实施尽可能高效的冷却。

由从属权利要求得知本发明有利的进一步发展,它们详细提供了在所说明的设计方案的框架内设计上述涡轮叶片平台有利的可能性。

按本发明一项特别优选的进一步发展,根据所说明的方法在第一平台壁的倒圆部分与第二平台壁的台阶之间,构成一个用于冷却平台的空隙。此外,所述的空隙尤其可恰当地选择用于达到冲击冷却第一平台壁的目的。

恰当地,空隙有一个沿平台的整个延伸区域基本上由台阶的高度决定的恒定的高度。如此设计的优点是,一方面根据流体技术方面的观点冷却剂可以在空隙内最佳冷却,另一方面所述的高度选择为,使得通过承力的第二平台壁将冷却剂引入空隙内,可以最佳地冲击冷却所述不承力的第一平台壁。

由于要求不同,令第二平台壁的壁厚大于第一平台壁的壁厚。优选地,承力的第二平台壁的壁厚设为基本上与叶身根部区的壁厚一致。

为了最佳地冷却在叶身根部区的过渡区,在过渡区域内的单位面积冷却通孔的数量大于在平台的其余区域中的单位面积通孔数量。因此,构成所述承受热燃气的流动通道直接边界的所述不承力平台壁是整个背侧面,可以有最佳的冷却措施作用其上。

按本发明特别优选的进一步发展,不承力的第一平台壁由一个贴靠在叶身上弹簧弹性的板件构成。在这里,板件优选地贴靠在叶身根部的一个可设计为槽状或棱边状的止挡上。也就是说,不承力的平台壁设计为薄壁状,使弹簧弹性的板件基于其柔性不会由于相邻构件相对运动而影响它们作为流动通道边界的作用。由于其弹簧弹性的设计,可以实现形式上为空气动力学的倒圆曲线段的特别有利的延伸曲线。

恰当地,平台在叶身一侧的第一个一半内和在叶身另一侧的第二个一半内设计为定性相同的。也就是说,平台以定性相同的方式在叶身两侧延伸。因此它在一侧和在另一侧有相同的上述种种特征。以此方式,通过在一个叶片级内接连排列一定数量的涡轮叶片,可以构成针对所提出的上述目的特别有利的流动通道边界。

本发明还提供一种前言所述类型的燃气轮机,该燃气轮机包括一个沿轴线延伸具有用于工质的环形横截面的流动通道、一个沿轴线设在第一叶片级后的第二叶片级,其中,一个叶片级有一定数量环形排列在流动通道内沿径向延伸的如上面已说明的那样设计的涡轮叶片。

恰当地,不承力的第一平台壁并不是无论如何都必须安装在平台区内,而是它可脱开地或松弛地支承在涡轮叶片的叶身根部区内或承力的第二平台壁区域内的一个凹座上就足够了。

因为,当形式上为在轴流式涡轮转子上的工作叶片的涡轮叶片旋转运行时,产生一个由于旋转从叶身的根部沿叶身方向作用的离心力。这意味着弹簧弹性的第一板件在工作时被离心力压靠在止挡上并因而被离心力固定。

此外,当形式上为在周缘涡轮机匣上的导向叶片的涡轮叶片工作时,通过冷却剂产生一个从叶身的根部沿叶身方向的压力梯度。这意味着弹簧弹性的板件在工作时由于此压力梯度压靠在止挡上并因而被压力固定在止挡上。

燃气轮机的一项设计业已证实是有利的,即在同一个叶片级的第一涡轮叶片与相邻的第二涡轮叶片之间,由第一涡轮叶片的弹簧弹性的第一板件和第二涡轮叶片的弹簧弹性的第二板件构成流动通道的边界。以此方式在一个叶片级内部有利地构成流动通道的一个径向的边界。

燃气轮机的另一项设计业已证实是有利的,即在第一叶片级的第一涡

轮叶片与第二叶片级沿轴向直接设在第一涡轮叶片后的第二涡轮叶片之间，由第一涡轮叶片弹簧弹性的第一板件和第二涡轮叶片弹簧弹性的第二板件，构成流动通道的边界。以此方式有利地构成流动通道一个轴向边界。有利地，叶片级涉及的是导向叶片级，以及涡轮叶片涉及的是导向叶片。

不承力的第二平台壁这种固定方式，在涡轮叶片和用这种叶片配备的燃气轮机装配和加工时有突出的优点。

附图说明

下面借助附图说明本发明的实施例。附图没有按尺寸比例表示实施例，确切地说，用来解释的附图表示为示意和/或略有失真的形式。有关于可由附图直接看出的教导的补充说明，可参见有关的先有技术。

附图具体表示：

图 1 在示意的横截面图中表示燃气轮机一种特别优选的实施形式，包括一个流动通道和一种导向叶片与工作叶片组优选的设计；

图 2 在透视图图中表示第一叶片级的第一涡轮叶片和第二叶片级沿轴向直接设在第一涡轮叶片后的第二涡轮叶片的平台区一种特别优选的实施形式。

具体实施方式

图 1 表示一台燃气轮机 1，包括一个沿轴线 3 延伸具有用于工质 M 的环形横截面的流动通道 5。在流动通道 5 内设置一些叶片级。尤其是第二导向叶片级 9 沿轴线 3 设在第一导向叶片级 7 之后。此外，第二工作叶片级 13 设在第一工作叶片级 11 之后。在这里，导向叶片级 7、9 有一定数量环形地装在周缘涡轮机匣 15 上在流动通道 5 内沿径向延伸的导向叶片 21。一个工作叶片级 11、13 在这里有一定数量环形地装在轴流式涡轮转子 19 上在流动通道 5 内沿径向延伸的工作叶片 23。工质 M 的流动以热燃气的形式由燃烧室 17 产生。对应于流动通道 5 环形的横截面，一些这种燃烧室 17 在图 1 所示横截面图内没有表示的一个环腔内绕轴线 3 排列。

在图 1 中示意表示了一个导向叶片 21 和一个工作叶片 23。导向叶片 21 有一个沿叶片轴线 25 设置的叶顶 27、一个叶身 29 和一个平台区 31。平台区 31 有横向于叶片轴线 25 延伸的平台 33 和一个叶根 35。

工作叶片 23 有一个沿叶片轴线设置的叶顶 37、一个叶身 39 和一个平台区 41。平台区 41 有一个横向于叶片轴线 45 延伸的平台 43 和一个叶根 47。

导向叶片 21 的平台 33 和工作叶片 23 的平台 43, 在这里分别构成流过燃气轮机 1 的工质 M 用的流动通道 5 边界 49、51 的一部分。周缘的边界 49 是周缘的涡轮机匣 15 的一部分。转子侧的边界 51 则是在燃气轮机 1 运行状态时旋转的涡轮转子 19 的一部分。

如在图 1 中示意表示和在图 2 中详细表示的那样, 在这里导向叶片 21 的平台 33 及工作叶片 23 的平台 43, 通过一个贴靠在叶身 29、39 上弹簧弹性的板件构成。

图 2 表示平台区 61 代表平台区 31、41。在图 2 中表示的涡轮叶片 63, 在这里代表性地表示第一导向叶片级 7 或第二导向叶片级 9 的导向叶片 21。涡轮叶片 63 也可以代表性地表示第一工作叶片级 11 或第二工作叶片级 13 在图 1 中表示的工作叶片 23。优选地, 涡轮叶片 63 涉及的是导向叶片。

涡轮叶片 63 有一个截断表示的叶身 67。在叶身 67 根部的平台区 61 内, 构成一个横向于叶片轴线 73 延伸的平台 71。在这里, 平台 71 一方面通过不支承叶身 67 的第一平台壁 70 并通过支承叶身的第二平台壁 69 构成。

不承力的第一平台壁 70 通过弹簧弹性的第一板件 77 以及另一方面由弹簧弹性的第二板件 79 构成。弹簧弹性的第一板件 77 贴靠在叶身 67 一侧的第一止挡 81 上。弹簧弹性的第二板件 79 贴靠在叶身 67 另一侧的第二止挡 83 上。第一止挡 81 和第二止挡 83 设计为槽的形式, 弹簧弹性的第一板件 77 和弹簧弹性的第二板件 79 分别将其终止在叶身 67 上的棱边推入槽内。此外, 弹簧弹性的第一板件 77 和弹簧弹性的第二板件 79 固定在涡轮叶片 63 的另一个止挡 85、87 上。按本实施形式, 弹簧弹性的第一板件 77 和第二板件 79 分别靠在止挡 85、87 上。与之不同或附加地, 弹簧弹性的板件 77、79 也可以分别倒扣住所述的另一个止挡 85、87。

也就是说, 以上述方式, 在第一叶片级 7、11 与第二叶片级 9、13 的涡轮叶片 21、23 之间, 由弹簧弹性的板件 77、79 构成流动通道 5 的边界。因此允许使用不承力的薄壁平台 71, 使形式上为弹簧弹性的第一板件 77 和弹簧弹性的第二板件 79 的流动通道边界, 同时体现了弹簧弹性的板件 77、79 作为密封件的作用。此类密封件同时有足够的弹性, 允许相邻的涡轮叶

片相对运动,以及尽管如此仍有足够的密封效果。从而省去了如在迄今常见的平台中,为了密封接缝曾必要的密封件。由此避免了这种密封件有潜在危险的、结构和热力学方面不利的承接结构。在平台 71 背侧 89 构成形式上为空隙的第一冷却腔 91 和第二冷却腔 93,它们允许平台 71 在涡轮叶片 63 根部的区域内,在从叶身 67 到平台 71 的过渡区域中最佳地冷却。以此方式,可以简单地设计要不然通常复杂设计的平台边缘结构,并可以设计为没有高温危险区。为了有助于在冷却腔 91、93 内的冷却,叶片 65 从叶身 67 根部出发的支承结构 95、97 优化设计为朝这里没有表示的叶根(图 1 中符号 35、47)延续,以有利于冷却措施。

取决于形式上为图 1 所示的导向叶片 21 或形式上为图 1 所示的工作叶片 23 的涡轮叶片 63 工作方式,在燃气轮机 1 涡轮叶片 63 工作时,最终达到弹簧弹性的第一板件 77 和弹簧弹性的第二板件 79 在止挡 81、83、85、87 上的固定。也就是说,当形式上为在涡轮转子 19 上的工作叶片 23 的涡轮叶片 63 旋转运行时,产生一个由于旋转从叶身 67 的根部沿叶身 67 方向 99 作用的离心力。此外也出现如在导向叶片 21 中一样的压力梯度。

当形式上为图 1 所示在周缘涡轮机匣 15 上的导向叶片 21 的涡轮叶片 65 工作时,从平台 71 的背侧 89 那里,通过冷却剂产生一个从叶身 67 的根部沿叶身 67、69 方向的压力梯度。

在图 2 中用箭头不仅表示上述工作叶片 23 离心力的方向 99,而且表示导向叶片 21 压力梯度的方向 99,。因此,根据作为工作叶片 23 或导向叶片 21 的涡轮叶片 63 的设计,形式上为弹簧弹性的板件 77、79 的平台 71,被离心力或被压力梯度压靠在止挡 81、83 上。以此方式,平台 71 弹簧弹性的板件 77、79 离心力固定或压力固定,并与此同时形成其在施加热燃气的流动通道 5 与平台 71 施加冷却剂的背侧 89 之间的隔离作用。

平台 71 承力的第二平台壁 69 有最佳设计的支承结构,和基于其设计可以获得一种在其边缘 75 也能方便地进入并冷却的平台。在叶身 67 的根部,从叶身 67 到平台 71 的过渡区也称复曲线区。

在此过渡区域 65 中,第一平台壁 70 有一空气动力学的倒圆曲线 104。相应的弹簧弹性板件 77、79 基于其柔性设计,在其处于过渡区域 65 内的曲率,可以最佳地适应当地存在的条件及负荷。尤其是,此气动匹配的倒圆部分 104,不仅关系到热燃气侧的工质流动,而且还关系到冷却流体 101

在平台 71 背侧 89 上及在冷却腔 91、93 内的流动。第一平台壁 70 的壁厚比第二平台壁 69 的壁厚小得多。承力的第二平台壁 69 在其过渡区域 65 中相对于第一平台壁 70 和朝叶身 67 的叶身壁 68 延续时有一个回缩的台阶 103。在这里基本上保持叶身壁 68 的壁厚。以此方式构成作为空隙用于冷却平台 71 的冷却腔 91、93。冷却腔 91、93 的高度 105 基本上由台阶 103 的高度决定。

在复曲线区 65 内比在平台区内单位面积设更大量的冷却通孔 107。这导致最佳地冷却复曲线区。为此的前提条件尤其是，不承力的第一平台壁 70 气动有利的倒圆部分 104 和在形式上为承力的第二平台壁 69 的叶身壁 68 的延续中相对于第一平台壁 70 回缩的台阶 103 走向。通过在过渡区 65 内设更多数量的冷却通孔 107，也有利于尽可能减少在复曲线区内的材料聚集。

在图 2 中用箭头表示冷却剂 101 的导引。在这里，冷却剂 101 从平台 71 的背侧 89 首先流入平台区 61 和复曲线区 65 内，亦即不直接供叶身冷却。为此，在叶身 67 内部第二平台壁 69 之间，大体在台阶 103 的所在高度上，设相应的隔板 109。确切地说，用于冷却复曲线区 65 的冷却剂 101 再用于冷却叶身 67。为此目的，在复曲线区 65 的上部朝叶身 67 根部区方向，设另一个冷却空气孔 111，冷却剂 101 通过它流入叶身 67 内部。

总之，对于一种涡轮叶片 67，它包括一个沿叶片轴线 73 设置的叶身 67 和一个平台区 61，后者设在叶身的根部和有一个横向于叶片轴线 73 延伸的平台 71，其中，平台 71 有不支承叶身 67 的第一平台壁 70 和支承叶身 67 的第二平台壁 69，为了保证平台区和从叶身 67 到涡轮叶片 63 平台 71 的过渡区 65 更好地冷却，并因而保证燃气轮机 1 流动通道 5 边界的冷却，按所建议的方案，叶身 67 的根部在从叶身 67 向平台 71 的过渡区域 65 内，第一平台壁 70 的过渡区段有一空气动力学的倒圆曲线 104，以及，第二平台壁 69 的过渡区段则有一个从叶身 67 延续出的相对于第一平台壁 70 回缩的台阶 103。

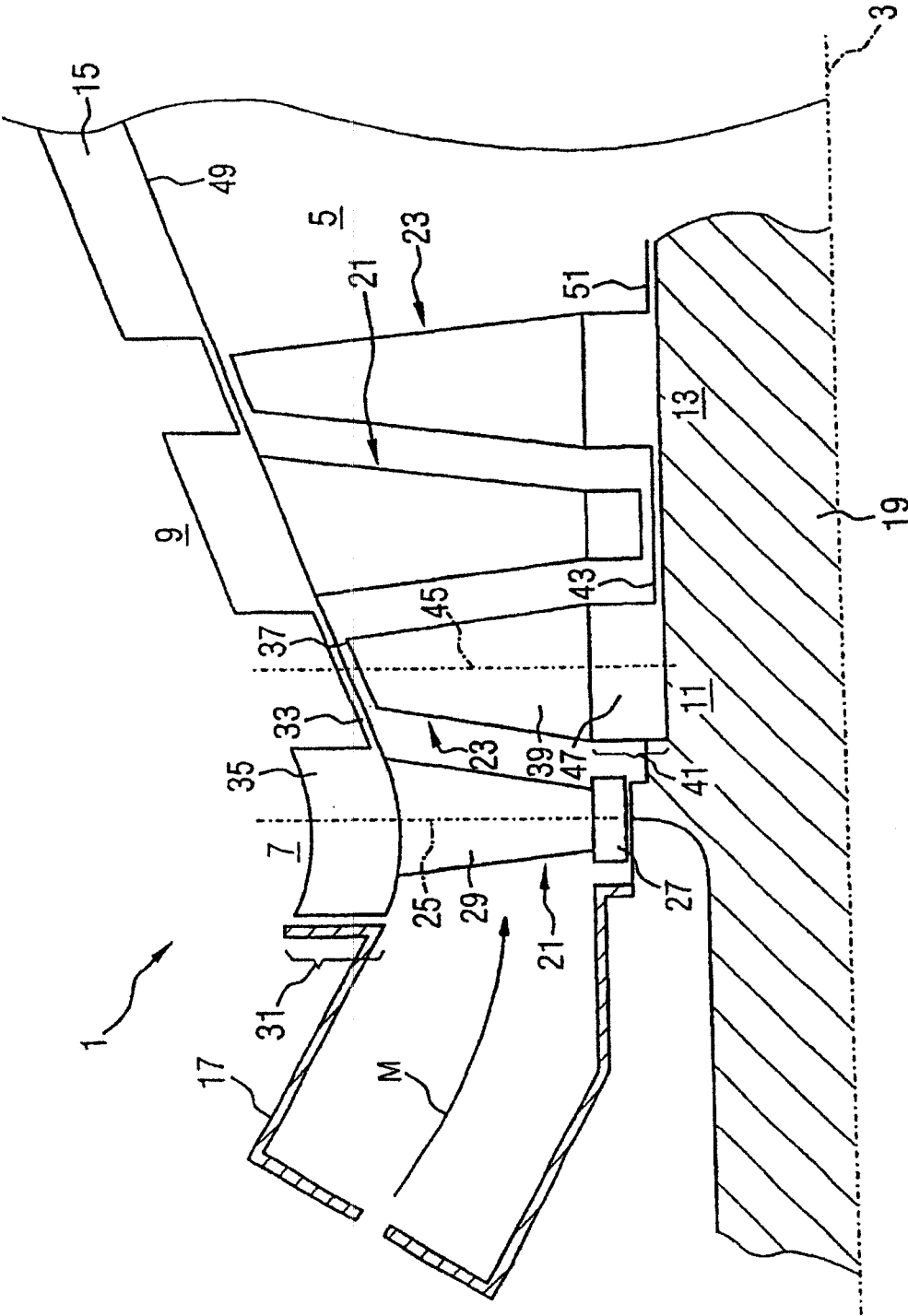


图 1

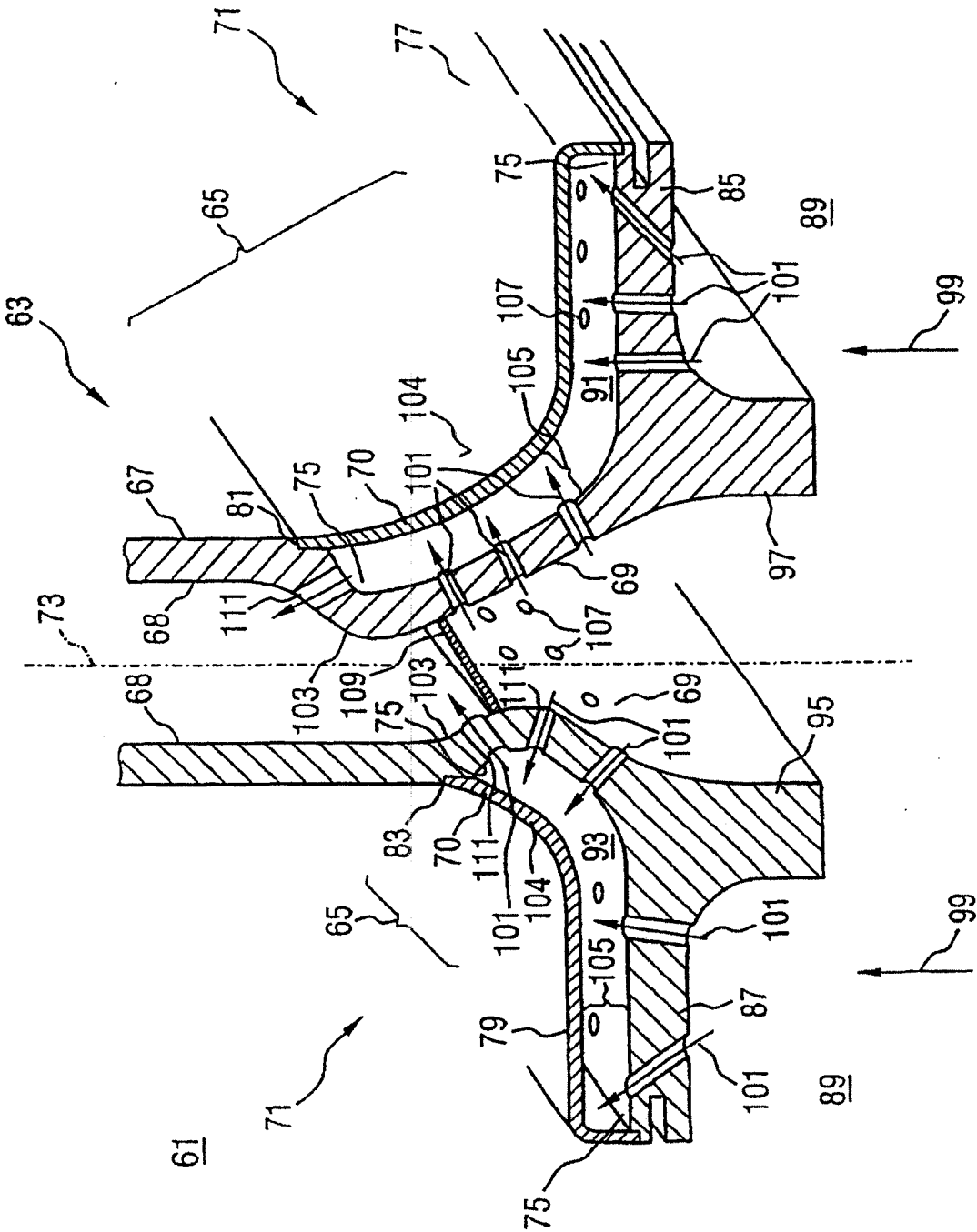


图 2