



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110226019 B

(45) 授权公告日 2022.01.04

(21) 申请号 201780083532.8

(22) 申请日 2017.12.27

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110226019 A

(43) 申请公布日 2019.09.10

(30) 优先权数据  
2017-006571 2017.01.18 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2019.07.15

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2017/047091 2017.12.27

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02018/135283 JA 2018.07.26

(73) 专利权人 川崎重工业株式会社  
地址 日本兵库县

(72) 发明人 都留智子 石田克彦

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002  
代理人 张晶 谢顺星

(51) Int.Cl.  
F01D 5/18 (2006.01)  
F01D 9/02 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 105189929 A, 2015.12.23  
US 2013121839 A1, 2013.05.16  
CN 1997810 A, 2007.07.11  
US 2014328669 A1, 2014.11.06  
CN 102575523 A, 2012.07.11  
US 2014060084 A1, 2014.03.06

审查员 牛泽伟

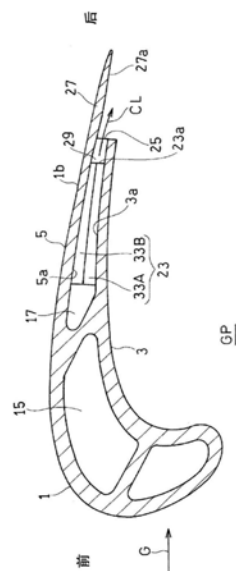
权利要求书1页 说明书6页 附图8页

### (54) 发明名称

涡轮翼的冷却结构

### (57) 摘要

本发明涉及一种涡轮翼的冷却结构,其是对涡轮翼(1)进行冷却的结构,其中,设置有:冷却通道(17),其在相对于高温气体流路(GP)呈凹状弯曲的第一翼壁(3)与呈凸状弯曲的第二翼壁(5)之间形成;格架结构体(23),其是使在面向所述冷却通道的两壁面上设置的多个肋呈格子状重叠而构成;冷媒排出口(25),其设置于所述冷却通道的下游侧端部,并使冷却通道内的冷却媒体(CL)向外部排出;露出壁部(27),其是所述第二翼壁(5)的向冷媒排出口(25)的外部延伸设置的部分;以及平坦面部(29),其是所述冷却通道的从所述格架结构体的出口(23a)到所述冷媒排出口(25)的部分,且由所述第一翼壁(3)及第二翼壁(5)的壁面作为平坦面而形成。



1. 一种涡轮翼的冷却结构,其用于对利用高温气体而驱动的涡轮的涡轮翼进行冷却,所述冷却结构具备:

冷却通道,其在相对于所述高温气体的流路呈凹状弯曲的所述涡轮翼的第一翼壁、与相对于所述高温气体的流路呈凸状弯曲的所述涡轮翼的第二翼壁之间形成;

格架结构体,其具有第一肋组和第二肋组,其中,所述第一肋组由在面向所述冷却通道的所述第一翼壁的壁面上设置的多个第一肋构成;所述第二肋组由在面向所述冷却通道的所述第二翼壁的壁面上设置的多个第二肋构成,并与所述第一肋组呈格子状重叠;

冷媒排出口,其设置于所述冷却通道的下游侧端部,并使所述冷却通道内的冷却媒体向外部排出;

露出壁部,其是所述第二翼壁的向所述冷媒排出口的外部延伸设置而形成的部分;以及

平坦面部,其是所述冷却通道的从所述格架结构体的出口到所述冷媒排出口的部分,且由所述第一翼壁的壁面及所述第二翼壁的壁面作为平坦面而形成,

所述平坦面部的长度处于所述格架结构体的出口的高度的1倍以上且5倍以下的范围内。

2. 根据权利要求1所述的冷却结构,其特征在于,

所述冷却媒体整体的移动方向是沿着所述涡轮翼的翼弦的方向,多个所述格架结构体隔着分隔体沿着所述涡轮翼的高度方向并列配置。

## 涡轮翼的冷却结构

[0001] 相关申请

[0002] 本申请主张2017年1月18日申请的日本专利申请2017-006571的优先权,并通过参照将其整体引用作为本申请的一部分。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及一种用于对燃气涡轮发动机的涡轮中的静翼及动翼进行冷却的结构。

### 背景技术

[0004] 构成燃气涡轮发动机的涡轮配置于燃烧器的下游,且被供给在燃烧器中燃烧的高温的气体,因此在燃气涡轮发动机的运转中暴露于高温中。因而,需要对涡轮的静翼及动翼进行冷却。作为这样的对涡轮翼进行冷却的结构,公知有一种方案:将在压缩机中进行了压缩的空气的一部分向形成于翼内的冷却通道导入,并将压缩空气作为冷却媒体对涡轮翼进行冷却(例如参照专利文献1)。

[0005] 在将压缩空气的一部分用于涡轮翼的冷却的情况下,具有不需要从外部导入冷却媒体就能够简单地实现冷却结构的优点,另一方面,如果将在压缩机中进行了压缩的空气大量用于冷却,则会发动机效率降低,因此需要以尽量少的空气量高效地进行冷却。作为用于高效地冷却涡轮翼的结构,提出了一种方案,其采用将多个肋呈格子状组合而形成的所谓的格架结构(例如参照专利文献2)。在格架结构中,通过使冷却媒体与构成格架结构的肋碰撞而产生涡流,从而提高了冷却效率。

[0006] 另一方面,作为将涡轮翼内的冷却媒体从翼后缘部排出的结构,提出了如下的方案:切除涡轮翼后缘部的正压面侧的翼壁,由此使冷却媒体以沿着因上述切口而露出的负压面侧的翼壁的背面的方式流动,从而对该面进行气膜冷却(日文:フィルム冷却)(参照专利文献2)。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:美国专利第5603606号说明书

[0010] 专利文献2:日本专利第4957131号说明书

### 发明内容

[0011] (一)要解决的技术问题

[0012] 但是,在如专利文献2所公开的那样,使翼后缘部的气膜冷却与格架结构进行组合的情况下,从格架结构流出的较强的涡流被向露出的壁面排出,并卷入在外部流动的高温的气体。其结果是,难以充分获得利用气膜冷却的冷却效果。

[0013] 因此,本发明的目的在于解决上述的技术问题,提供一种冷却结构,其利用格架结构对冷却涡轮翼内部高效地进行冷却,并且涡轮翼后缘部也利用气膜冷却有效地冷却,从而能够使涡轮翼整体高效地冷却。

## [0014] (二)技术方案

[0015] 为了实现上述目的,本发明的涡轮翼的冷却结构是用于对利用高温气体驱动的涡轮的涡轮翼进行冷却的结构,其具备:冷却通道,其在相对于所述高温气体的流路呈凹状弯曲的所述涡轮翼的第一翼壁、与相对于所述高温气体的流路呈凸状弯曲的所述涡轮翼的第二翼壁之间形成;格架结构体,其具有第一肋组和第二肋组,其中,所述第一肋组由在面向所述冷却通道的所述第一翼壁的壁面上设置的多个第一肋构成;所述第二肋组由在面向所述冷却通道的所述第二翼壁的壁面上设置的多个第二肋构成,并与所述第一肋组呈格子状重叠;冷媒排出口,其设置于所述冷却通道的下游侧端部,并使所述冷却通道内的冷却媒体向外部排出;露出壁部,其是所述第二翼壁的向所述冷媒排出口的外部延伸设置而形成的部分;以及,平坦面部,其是所述冷却通道的从所述格架结构体的出口到所述冷媒排出口的部分,且由所述第一翼壁的壁面及所述第二翼壁的壁面作为平坦面而形成。

[0016] 根据该结构,从格架结构体作为涡流排出的冷却媒体在沿平坦面部流动的过程中,被整流成沿着壁面的均匀方向的流动,之后从冷媒排出口向露出壁部排出。由此,可在露出壁部抑制高温的气体与冷却媒体的混合,获得充分的气膜冷却效果。因而,能够高效地兼顾利用格架结构体进行的涡轮翼内的冷却和涡轮翼后缘部的气膜冷却,因此能够提高涡轮翼整体的冷却效率。

[0017] 在本发明一个实施方式中,可以是,所述平坦面部的长度处于所述格架结构体的出口的高度的1倍以上且5倍以下的范围内。根据该结构,能够在不会对格架结构体所产生的冷却效果造成实质性的影响的范围内,确保对从格架结构体排出的涡流进行整流以供气膜冷却之用所需的充分的距离。因而,能够进一步提高涡轮翼整体的冷却效率。

[0018] 在本发明一个实施方式中,可以是,所述冷却媒体整体的移动方向是沿着所述涡轮翼的翼弦的方向,多个所述格架结构体隔着分隔体沿着所述涡轮翼的高度方向并列配置。通过使冷却媒体整体的移动方向为翼弦方向,从而使得不存在格架结构的平坦面部形成于涡轮翼后端部的狭窄空间,因此抑制了因省略格架结构体而使冷却效果降低的问题,并且容易制造涡轮翼。另外,能够在涡轮翼的高度方向上开阔地确保露出壁部,因此能够进一步提高涡轮翼整体的冷却效率。

[0019] 在权利要求书和/或说明书和/或附图中公开的至少两个结构的任意组合均包含于本发明。尤其是权利要求书的各项权利要求的两项以上的任意组合均包含于本发明。

## 附图说明

[0020] 通过参考附图对以下优选的实施方式进行说明,可更加清楚地理解本发明。但是,实施方式和附图仅用于图示和说明,不应用于限定本发明的范围。本发明的范围由附上的权利要求书确定。在附图中,各图中的相同附图标记表示相同或相当的部分。

[0021] 图1是表示适用本发明一个实施方式的冷却结构的涡轮翼一例的立体图。

[0022] 图2是示意性地表示图1的涡轮翼的纵向剖视图。

[0023] 图3是图1的涡轮翼的横向剖视图。

[0024] 图4是示意性地表示用于图2的涡轮翼的冷却结构的格架结构体的立体图。

[0025] 图5是将图2的涡轮翼的后端部附近放大并示意性地表示的纵向剖视图。

[0026] 图6是表示关于本发明一个实施方式的冷却结构中的平坦面部的长度与冷却媒体

的涡流的强度的关系的模拟结果的图。

[0027] 图7是表示关于本发明一个实施方式的冷却结构中的平坦面部的长度与壁面的导热率的关系的模拟结果的图。

[0028] 图8是示意性地表示本发明一个实施方式的冷却结构的配置一例的纵向剖视图。

### 具体实施方式

[0029] 下面基于附图对本发明优选的实施方式进行说明。图1是表示适用作为本发明一个实施方式的涡轮翼的冷却结构的、燃气涡轮发动机的涡轮的动翼1的立体图。涡轮动翼1形成涡轮T,该涡轮T通过高温气体G进行驱动,所述高温气体G从未图示的燃烧器供给并沿着箭头方向流动。涡轮动翼1具有:相对于高温气体G的流路GP呈凹状弯曲的第一翼壁3、以及相对于高温气体的流路GP呈凸状弯曲的第二翼壁5。在本说明书中,将沿着高温气体G的流动方向的上游侧(图1的左侧)称为前方,将下游侧(图1的右侧)称为后方。此外,虽然在下面的说明中,主要将涡轮动翼1作为设置有冷却结构的涡轮翼的例子进行表示,但是除了特别说明的情况以外,本实施方式的冷却结构也同样能够适用于作为涡轮翼的涡轮静翼。

[0030] 具体而言,如图2所示,涡轮动翼1以其平台11与涡轮圆盘13的外周部连结的方式在周向上植入设置有多个而形成涡轮T。在涡轮动翼1的前部1a内部形成有前部冷却通道15,该前部冷却通道15沿翼高方向H延伸并折回。在涡轮动翼1的后部1b内部形成有后部冷却通道17。如图3所示,这些冷却通道利用第一翼壁3与第二翼壁5之间的空间形成。

[0031] 如图2所示,来自压缩机的压缩空气的一部分即冷却媒体CL通过在径向内侧的涡轮圆盘13的内部形成的前部冷却媒体导入通道19、后部冷却媒体导入通道21向径向外侧流动,并分别向前部冷却通道15、后部冷却通道17导入。供给到前部冷却通道15的冷却媒体CL从与涡轮动翼1的外部连通的未图示的冷媒排出孔向外部排出。供给到后部冷却通道17的冷却媒体CL从后述的冷媒排出口25向外部排出。下面,对仅在涡轮动翼1的后部1b设置本实施方式的冷却结构的例子进行说明,但本实施方式的冷却结构可以设置于包含涡轮动翼1的后部1b的任意的范围。在本实施方式中,在后部冷却通道17内,冷却媒体CL整体沿着从前方朝向后方横贯的方向流动。在下面的说明中,将该冷却媒体CL整体的流动方向称为冷媒移动方向M。

[0032] 如图3所示,在后部冷却通道17中,作为构成用于冷却涡轮动翼1的冷却结构的一个要素,设置有格架结构体23。格架结构体23由分别在面向后部冷却通道17的第一翼壁3及第二翼壁5的壁面上立起设置的多个肋构成。在下面的说明中,将第一翼壁3的面向后部冷却通道17的壁面称为第一壁面3a,将第二翼壁5的面向后部冷却通道17的壁面称为第二壁面5a。

[0033] 作为构成用于冷却涡轮动翼1的冷却结构的要素,涡轮动翼1还具有冷媒排出口25、露出壁部27、以及平坦面部29。在涡轮动翼1的后端部,切除第一翼壁3而使第二翼壁5的壁面向外部(高温气体的流路GP)露出的部分形成露出壁部27。冷媒排出口25设置于后部冷却通道17的下游侧端部(后端部),使后部冷却通道17内的冷却媒体CL向外部排出。冷媒排出口25作为如上述那样切除了第一翼壁3的位置的第一壁面3a与第二壁面5a之间的间隙而形成。即,露出壁部27是第二翼壁5的向冷媒排出口25的外部延伸设置而形成的部分。因而,露出壁部27的朝向第一翼壁3侧的壁面27a形成了从第二壁面5a连续的壁面。平坦面部29形

成了后部冷却通道17内的从格架结构体23的出口23a到冷媒排出口25的区域的部分。在平坦面部29,第一壁面3a及第二壁面5a作为平坦面形成,即形成为不设置突起物、凹陷的面。利用该平坦面部29,将从格架结构体23排出的冷却媒体CL向冷媒排出口25导出。

[0034] 涡轮动翼1的后端部具有朝向后方而尖端缩窄的形状。如该图所示,在涡轮翼1的后端部,第一翼壁3的第一壁面3a和第二翼壁5的第二壁面5a以朝向后方相互接近的方式延伸。根据该结构,平坦面部29处的后部冷却通道17的通道面积朝向后方逐渐缩小。

[0035] 如图4所示,格架结构体23通过使多组由在面向后部冷却通道17的两壁面3a、5a上相互平行且等间隔地设置的多个肋31构成的肋组重叠成格子状进行组合而形成。在本实施方式中,通过将两个肋组即第一肋组(图4中的下段的肋组)33A和第二肋组(图4中的上段的肋组)33B沿着肋31的高度方向(第一壁面3a与第二壁面5a对置的方向)呈格子状重叠,从而组合形成了格架结构体23。

[0036] 在格架结构体23中,各肋组33A、33B的相邻的肋31、31之间的间隙形成冷却媒体CL的流路(格架流路)35。在格架结构体23中,格架流路35在后部冷却通道17内沿冷媒移动方向M延伸的两个侧壁37、37之间配置于相对于冷媒移动方向M倾斜的朝向。向格架结构体23导入的冷却媒体CL如该图中虚线箭头所示那样,首先,沿着一方的肋组(在图示的例子中是下段的第一肋组33A)的格架流路35流动,并横贯另一方的肋组(在图示的例子中是上段的第二肋组33B)而产生涡流。之后,冷却媒体CL与侧壁37碰撞,并如该图中实线箭头所示那样,从碰撞的部分向另一方的肋组(在图示的例子中是上段的第二肋组33B)的格架流路35流入。这样,在格架结构体23中,冷却媒体CL在重复沿着一方的格架流路35流动、并与侧壁37碰撞而流入另一方格架流路35后从格架结构体23排出。在该过程中,使冷却媒体CL横贯沿着横穿该格架流路35的方向延伸的另一方肋组,从而在冷却媒体CL流动中产生涡流,促进壁面3a、5a冷却。

[0037] 在本实施方式中,如图4所示,在格架结构体23中,上段和下段的各肋31的高度、即翼厚方向的格架流路高度h相同。另外,第一肋组33A中的肋31、31彼此的间隔与第二肋组33B中的肋31、31彼此的间隔相同。即,第一肋组33A中的格架流路宽度w与第二肋组33B中的格架流路宽度w相同。第一肋组33A的延伸设置方向与第二肋组33B的延伸设置方向所成的角度设定成大致90°。当然,各肋组中的多个肋31的配置结构不限于图示的例子,可以根据涡轮翼的结构、所要求的冷却性能等适当设定。

[0038] 此外,在图2所示的实施方式中,在后部冷却通道17内设置有利用多个(在图示的例子中是两个)分隔体39、39沿高度方向H隔离的多个(在图示的例子中是三个)格架结构体23。图2所示的后部冷却通道17的上端壁17a、分隔体39、下端壁17b相当于图4的侧壁37。此外,在图2的例子中,将平板状的隔板作为分隔体39使用。当然,分隔体39只要能够在实质上妨碍邻接的格架结构体23之间的冷却媒体CL的流通并且能够在格架结构体23的侧部使冷却媒体CL发生碰撞并以从一方格架流路35向另一方格架流路35(图4)流入的方式折回,则不限于隔板而可以使用任意的结构。

[0039] 如图5所示,通过了格架结构体23的冷却媒体CL从格架结构体23的出口23a主要作为涡流排出。之后,曾为涡流的冷却媒体CL随着在平坦面部29的壁面3a、5a上向后方流动,而沿着壁面3a、5a整流成朝向后方的均一方向的流动。经过整流的冷却媒体CL从冷媒排出口25向高温气体的流路GP排出。由此,冷却媒体CL在露出壁部27沿着露出壁部27的壁面27a

向均一的方向流动。如果在向露出壁部27排出的冷却媒体CL的流动中残留有较强的涡流,则该涡流会卷入到高温气体G的流动中,使冷却媒体CL与高温气体G混合,阻碍露出壁部27的气膜冷却。但是,在本实施方式中,如上所述,冷却媒体CL在露出壁部27沿着壁面27a向均一的方向(即在消除了涡流的状态下)流动,因此在露出壁部27可抑制高温气体G与冷却媒体CL的混合,并有效地对露出壁部27进行气膜冷却。

[0040] 进一步地,在本实施方式中,将平坦面部29的长度L(沿着冷媒移动方向M的距离)设定在格架结构体23的出口23a的高度E的1~5倍的范围内。在图示的例子中,平坦面部29的长度L是格架结构体23的出口高度E的2倍。如上所述,通过设置平坦面部29并使格架结构体23的出口23a与冷媒排出口25之间隔开距离,从而能够使从格架结构体23的多个出口23a向后方流出的冷却媒体CL流的朝向均一化。另一方面,如果平坦面部29的长度L过长,则冷却媒体CL的涡流消除,导热率降低,无助于利用格架结构体23进行冷却的部分的面积会增加。因而,优选在对于消除从格架结构体23排出的冷却媒体CL的涡流并使流动均一化而言充分的范围内缩短平坦面部29的长度L。另外,已知从格架结构体23排出的冷却媒体CL的涡流的强度(旋转速度)主要取决于格架结构体23的出口高度E,因此平坦面部29的长度L适合以格架结构体23的出口高度E为基准来规定。

[0041] 根据这个观点,在图6中示出对平坦面部29的长度L与冷却媒体CL的涡流的强度的关系进行了模拟的结果。确认了:在刚刚从格架结构体23的出口23a排出之后,曾为较强的涡流的冷却媒体CL从平坦面部29的长度 $L=1E$ 的位置起,涡流的强度显著地开始变弱,并从该位置起随着朝向下流而逐渐地使流动均匀化。因而认为:如果使平坦面部29的长度L为 $1E$ 以上,则能够使从格架结构体23的出口23a向后方流出的冷却媒体CL流的朝向均一化,并有效地对露出壁部27进行气膜冷却。

[0042] 接着,在图7中示出对平坦面部29的长度L与壁面的导热率的关系进行了模拟的结果。该图是以冷却媒体作为不包含涡流的均一流在具有平滑的壁面的管内流动时的导热率为基准(1.0)来表示相对于该导热率的比率的图。在比平坦面部29的长度 $L=5E$ 的位置更靠上游的区域,即使不存在格架结构体23,也会由于冷却媒体中残流的涡流的影响,而广泛存在壁面的导热率维持于比在通常的平滑的壁面上流动的冷却媒体流(基本上完全均一的流动)的情况更高的值的部分。另一方面,确认了:在比平坦面部29的长度 $L=5E$ 的位置更靠下游的区域,冷却媒体中的涡流基本上完全消除,壁面的导热率成为与在通常的平滑的壁面上流动的冷却媒体流的情况同等的值的部分的比例急剧增加。即,在比平坦面部29的长度 $L=5E$ 的位置更靠上游的区域,残存有格架结构体23所产生的冷却效果。因而认为:通过使平坦面部29的长度成为 $5E$ 以下,从而即使在平坦面部29,也能够充分获得格架结构体23所产生的冷却效果,并且有效地对露出壁部27进行气膜冷却。根据这些结果,优选平坦面部29的长度L处于出口高度E的1倍以上且5倍以下的范围内,更优选处于出口高度E的1.5倍以上且3.5倍以下的范围内。

[0043] 另外,在本实施方式中,如图2所示那样使冷却媒体CL整体的移动方向M为翼弦方向,从而使得不存在格架结构体23的平坦面部29形成于涡轮翼后端部的冷却通道宽度(冷却通道的壁面间距离)较短的区域。因而,即使在该区域省略格架结构体23并作为平坦面部29形成,也能够利用从格架结构体23排出的涡流而获得充分的冷却效果。另外,由于不需要在冷却通道宽度较短的区域设置结构复杂的格架结构体23,因此容易制造涡轮翼。进一步

地,能够在涡轮翼的高度H方向上开阔地确保露出壁部27,因此能够进一步提高涡轮翼整体的冷却效率。当然,冷却媒体CL的移动方向不限于翼弦方向,格架结构体23、平坦面部29、冷媒排出口25以及露出壁部27的配置可以根据冷却媒体CL的移动方向而适当地设定。

[0044] 此外,在图2的例子中,是在后部冷却通道17内设置有利用多个分隔体39沿高度方向隔离的多个格架结构体23,但是也可以设置不用分隔体39隔离的格架结构体23。另外,在图示的例子中,是遍及涡轮动翼1的高度方向H(涡轮的径向)的大致整体设置格架结构体23,但是也可以仅在高度方向H的一部分设置格架结构体23。例如,也可以如图8所示那样,仅在涡轮动翼1的根部侧(在图示的例子中是根部侧一半的区域)即径向内侧设置格架结构体23。由此,能够有效地冷却在涡轮动翼1中作用有较大应力的部分即根部部分。基于同样的理由,在涡轮静翼设置格架结构体23的情况下,也可以仅在处于涡轮的径向外侧的涡轮静翼的根部侧设置格架结构体23。

[0045] 如以上说明的那样,根据本实施方式的冷却结构,从格架结构体23作为涡流而排出的冷却媒体CL在沿平坦面部29流动的过程中,被整流成沿着壁面的均一方向的流动,之后从冷媒排出口25向露出壁部27排出。由此,在露出壁部27可抑制高温的气体G与冷却媒体CL的混合,获得充分的气膜冷却效果。因而,能够高效地兼顾利用格架结构体23进行的涡轮翼内的冷却和涡轮翼后缘部的气膜冷却,因此能够提高涡轮翼整体的冷却效率。

[0046] 如上所述,参照附图对本发明的优选的实施方式进行了说明,但可以在不脱离本发明宗旨的范围内进行各种追加、变更或者删除。因而,这样的结构也包含在本发明的范围内。

[0047] 附图标记说明

[0048] 1-涡轮动翼(涡轮翼);

[0049] 3-第一翼壁;

[0050] 5-第二翼壁;

[0051] 17-后部冷却通道(冷却通道);

[0052] 23-格架结构体;

[0053] 23a-格架结构体的出口;

[0054] 25-冷媒排出口;

[0055] 27-露出壁部;

[0056] 29-平坦面部;

[0057] CL-冷却媒体;

[0058] E-格架结构体的出口高度;

[0059] G-高温气体;

[0060] GP-高温气体的流路;

[0061] L-平坦面部的长度。



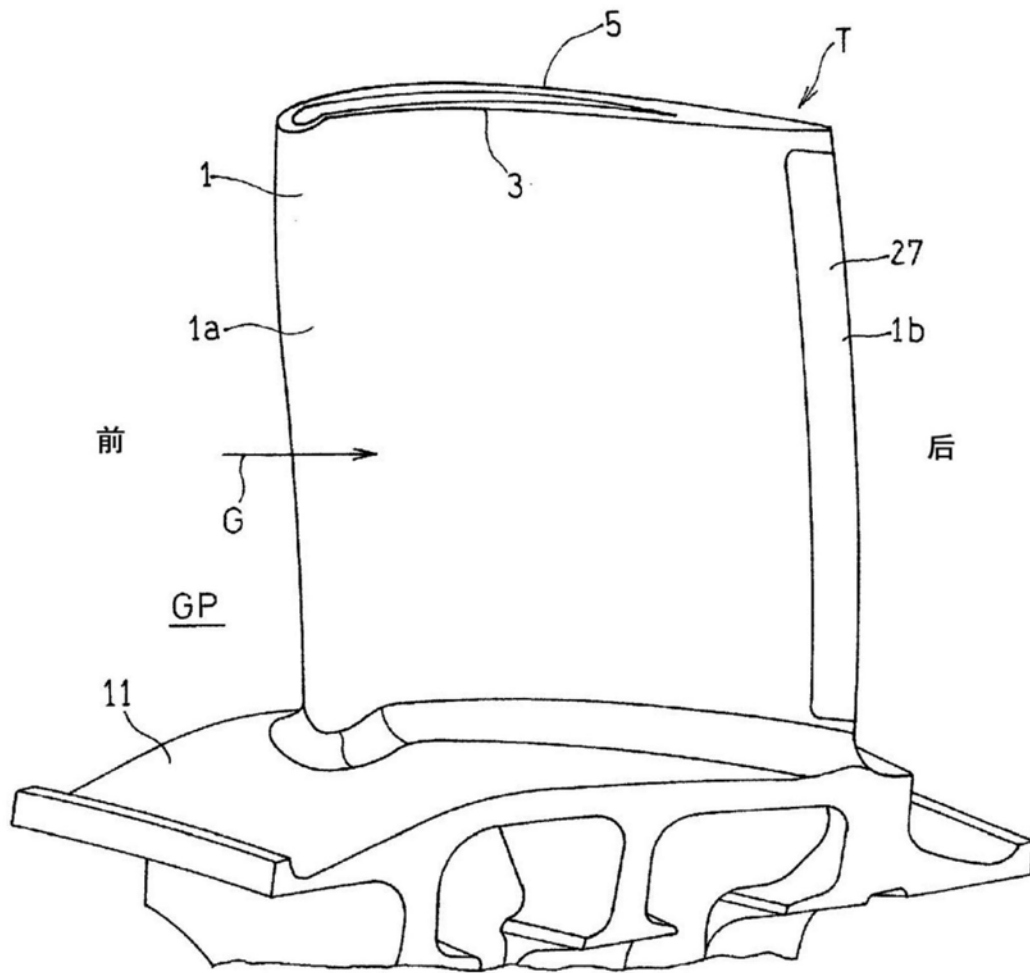


图1



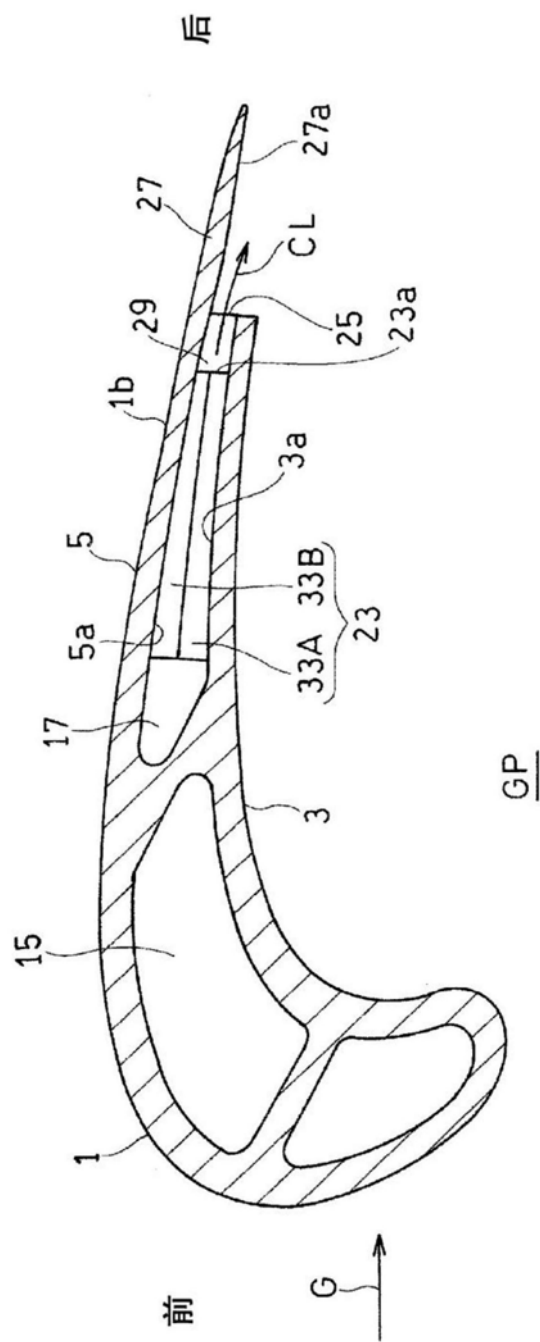


图3

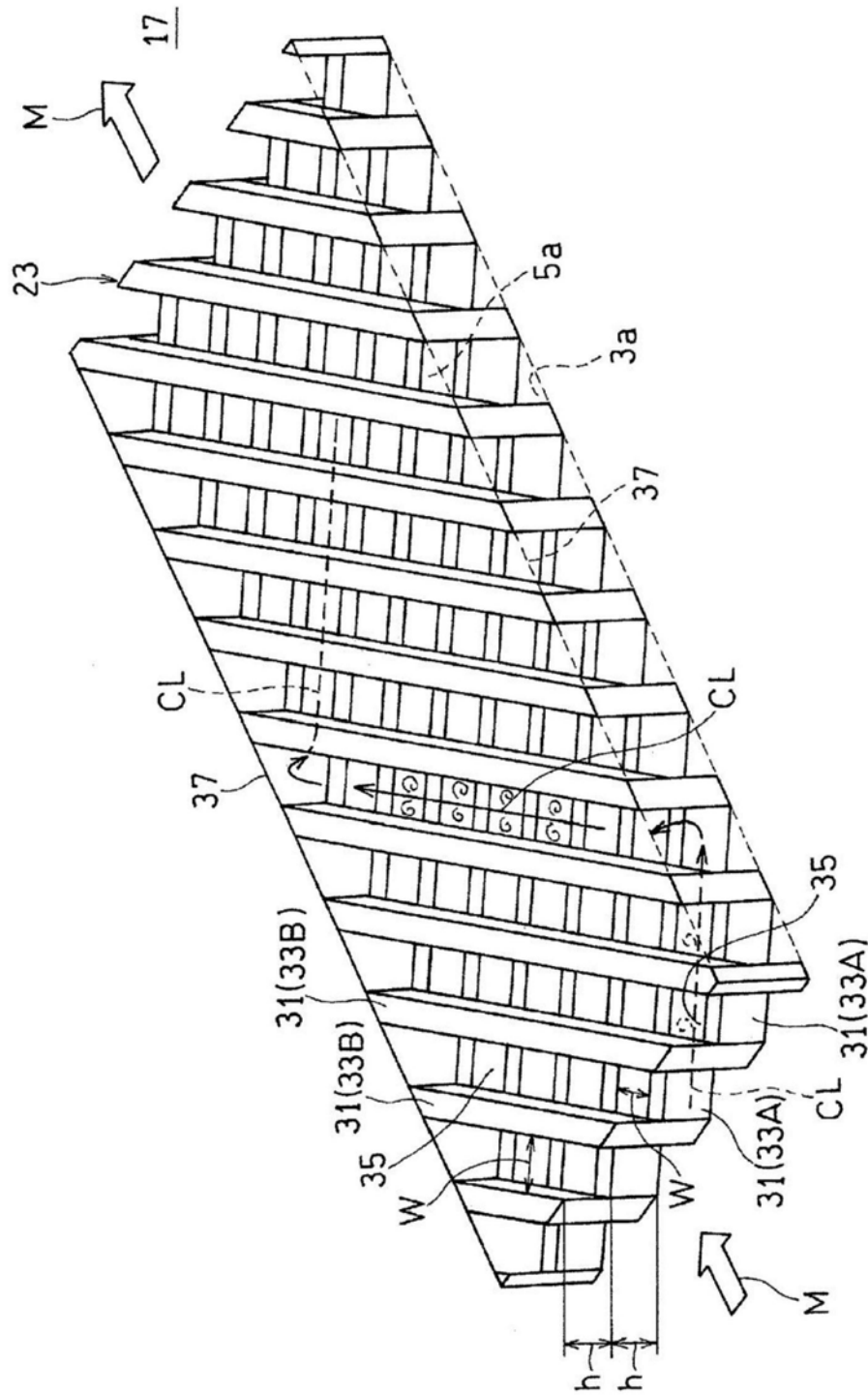


图4

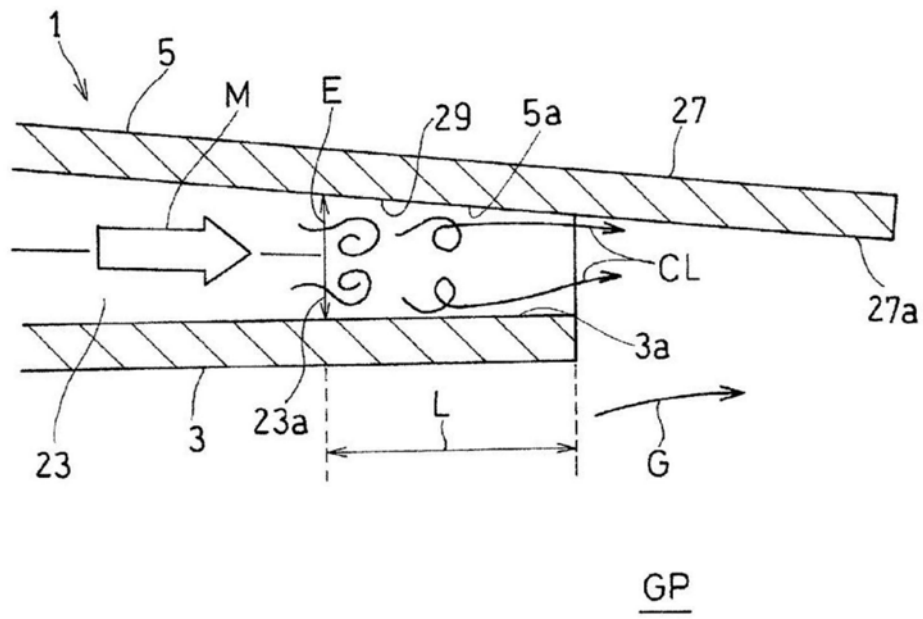


图5

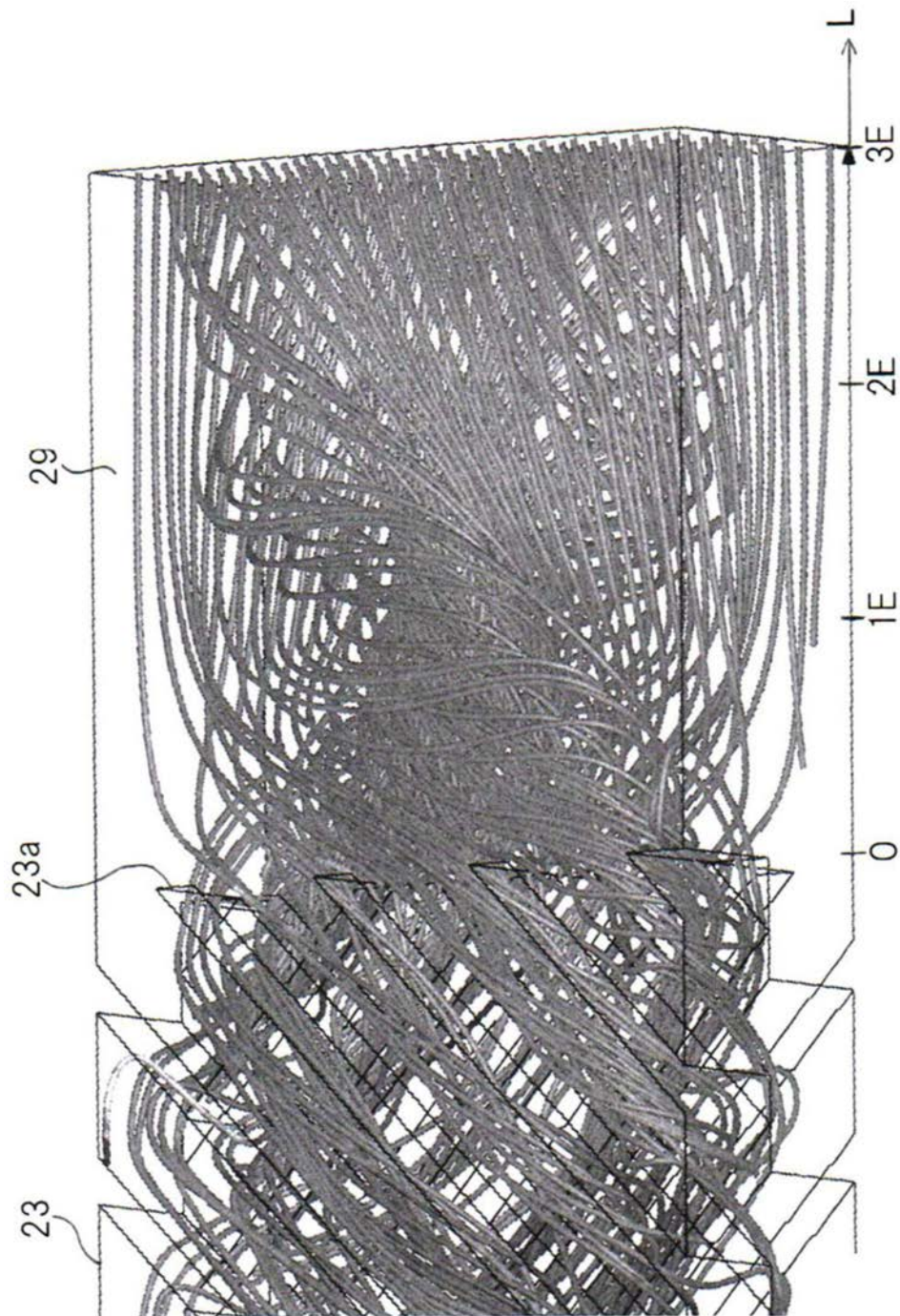


图6

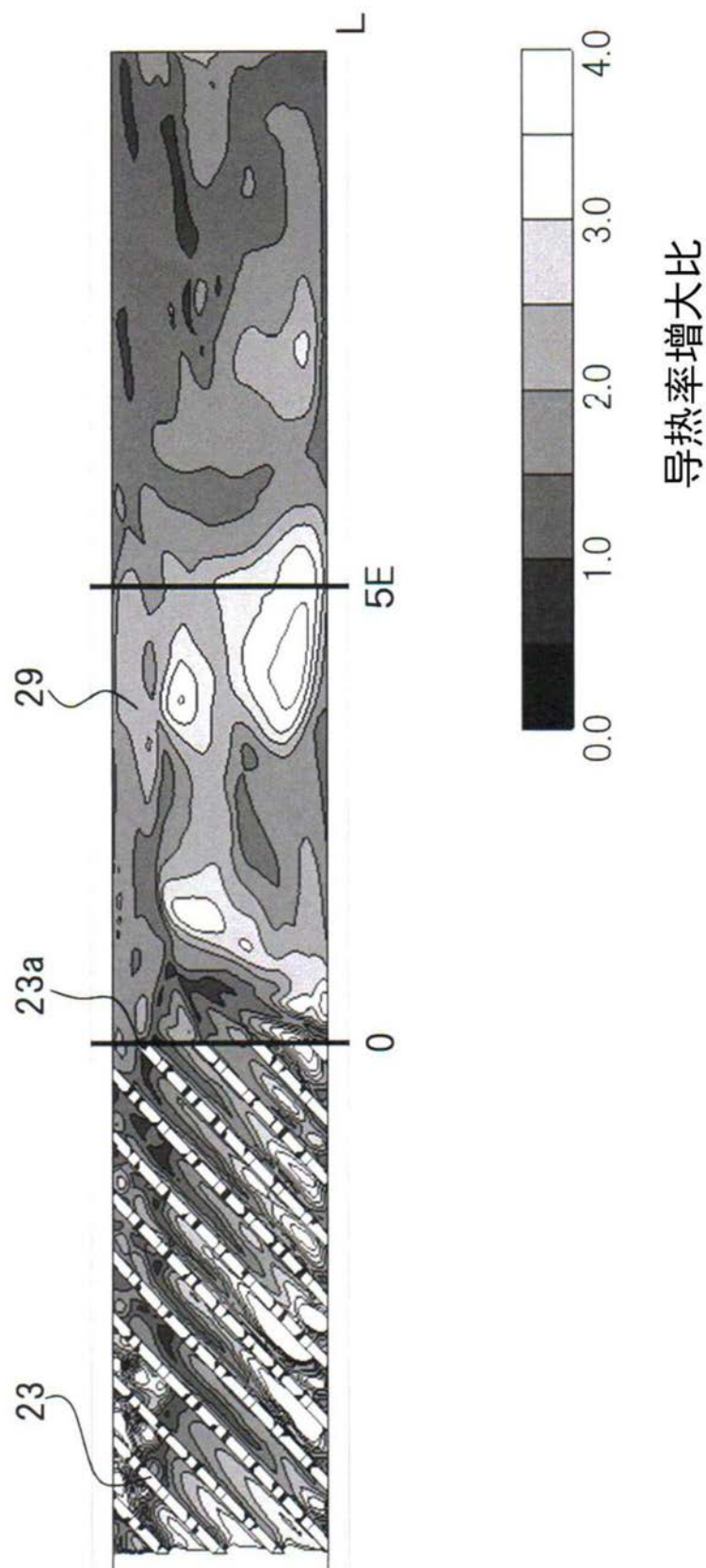


图7

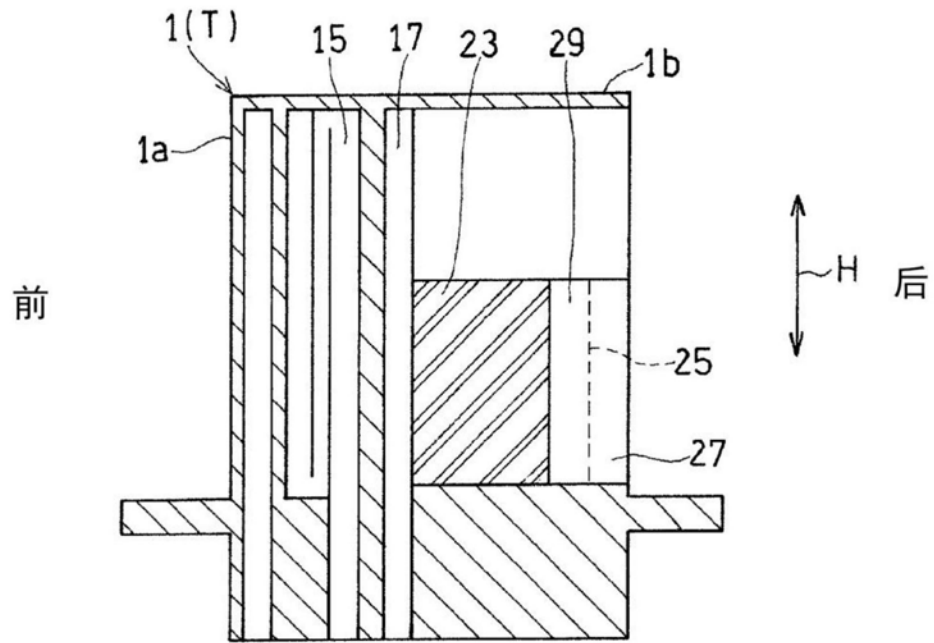


图8