



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1766290 B

(45) 授权公告日 2011.10.05

(21) 申请号 200510106498.0

审查员 韩宇

(22) 申请日 2005.09.30

(30) 优先权数据

10/959615 2004.10.06 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 R·F·曼宁 T·E·德马彻

D·A·弗洛德曼

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 原绍辉

(51) Int. Cl.

F01D 5/18(2006.01)

(56) 对比文件

US 4664597 A, 1987.05.12, 图 7.

CN 1436919 A, 2003.08.20, 全文.

CN 1441148 A, 2003.09.10, 图 2-3.

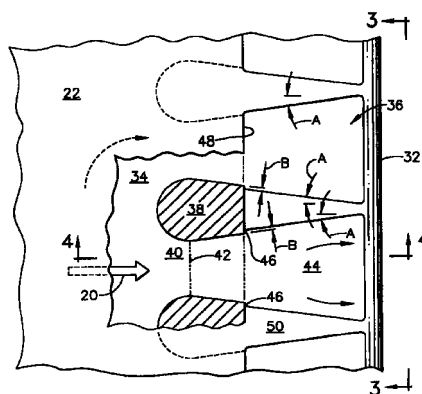
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

有台阶出口的涡轮机翼片

(57) 摘要

涡轮机翼片 (12) 包括相对的压力侧壁和吸力侧壁 (22、24) 之间的内部冷却回路 (34)。压力侧壁 (22) 包括由会聚隔离物 (38) 分开的用于回路 (34) 的出口狭槽 (36) 的排。每个狭槽 (36) 包括入口 (40)、喉部 (42) 和发散出口 (44)。隔离物 (38) 的每一个包括在其会聚侧壁中的台阶 (46)，用于增加狭槽的发散，以扩散通过其排放的冷却剂。



1. 一种涡轮机翼片 (12), 其包括:

相对的压力侧壁和吸力侧壁 (22、24), 其在跨度方向纵向延伸且在弦方向在相对的前缘和后缘 (30、32) 之间轴向延伸, 以及其中具有内部冷却回路 (34), 用于通过冷却回路循环冷却剂 (20);

所述压力侧壁 (22) 包括连接到所述冷却回路且由相应的会聚隔离物 (38) 分开的发散出口狭槽 (36) 的排, 隔离物具有限定所述狭槽的侧面的相对的侧壁;

所述狭槽 (36) 的每一个包括连续的会聚入口 (40)、最小流面积的喉部 (42) 和暴露在所述压力侧壁 (22) 中的发散出口 (44), 且该发散出口与相邻的出口 (44) 分开在介入隔离物的后部端处的暴露的会聚平台区 (50); 以及

所述隔离物 (38) 的每一个包括在所述隔离物侧壁中的台阶 (46), 用于突然减少所述隔离物的宽度且局部增加所述狭槽 (36) 的发散, 以扩散通过狭槽排放的所述冷却剂 (20)。

2. 根据权利要求 1 所述翼片, 其中, 所述隔离物 (38) 的每一个从所述狭槽喉部 (42) 向后部会聚到所述台阶 (46), 且从所述台阶 (46) 沿着所述出口 (44) 进一步向后部会聚。

3. 根据权利要求 2 所述翼片, 其中, 所述出口 (44) 的每一个在从所述后缘 (32) 向前隔开的中断唇缘 (48) 处使所述压力侧壁 (22) 的外表面破口, 并且在所述隔离物 (38) 的后部端处由所述暴露的平台区 (50) 确定边界, 使得其前部端从所述唇缘 (48) 向前延伸。

4. 根据权利要求 3 所述翼片, 其中, 所述隔离物平台区 (50) 从所述唇缘 (48) 向后部会聚, 且与围绕所述狭槽出口 (44) 的所述压力侧壁的外表面共平面。

5. 根据权利要求 1 所述翼片, 其中, 所述狭槽 (36) 的每一个从所述入口 (40) 到其所述喉部 (42) 流面积减小, 然后从所述喉部 (42) 到所述隔离物 (38) 中的所述台阶 (46) 流面积增加, 以及然后从所述台阶 (46) 到其所述出口 (44) 流面积进一步增加。

6. 根据权利要求 5 所述翼片, 其中, 所述台阶 (46) 与所述中断唇缘 (48) 共平面对准。

7. 根据权利要求 6 所述翼片, 其中, 所述狭槽 (36) 具有所述隔离物 (38) 之间达到 7.5 度的浅的发散角, 以扩散通过狭槽排放的所述冷却剂 (20), 以及所述发散角在所述台阶 (46) 的前部和后部相等。

8. 根据权利要求 6 所述翼片, 其中, 所述台阶 (46) 只设置在所述隔离物 (38) 中, 以及所述吸力侧壁 (24) 的内表面沿着所述狭槽 (36) 是平滑的。

9. 根据权利要求 6 所述翼片, 其中, 所述狭槽 (36) 的每一个包括在所述隔离物 (38) 的每一个中的单个台阶 (46), 以及所述隔离物在所述台阶的前部和后部具有平的和平行的侧壁。

有台阶出口的涡轮机翼片

技术领域

[0001] 本发明总地涉及燃气轮机,更具体的,涉及涡轮机翼片冷却。

背景技术

[0002] 在燃气轮机中,空气在压缩机中加压,且在燃烧器中与燃料混合,用于产生热的燃烧气体。热的气体被引导通过涡轮机的各个级,这些涡轮机的级从热的气体汲取能量来给压缩机提供动力和产生功,诸如给在典型的飞行器涡轮风扇发动机应用中的上游风扇提供动力。

[0003] 涡轮机级包括具有空心轮叶的排的固定的涡轮机喷口,其将燃烧气体引导到从支撑转子盘径向向外延伸的相应排的转子叶片中。轮叶和叶片具有相应的翼片构造,且是空心的,其中有相应的冷却回路。由于来自燃烧气体的热负荷在轮叶和叶片的压力侧和吸力侧上变化,所以其中的冷却回路相应地不同,以最好地使用可用的有限的冷却空气。

[0004] 冷却空气通常是压缩机排放空气,其从燃烧过程转移,因此降低了发动机的整体效率。冷却空气的量必须最小化,以最大化发动机的效率,但是仍然必须使用足够的冷却空气,以在运转期间充分冷却涡轮机翼片,以最大化它们的使用寿命。

[0005] 每个翼片包括通常凹进的压力侧壁,以及相对的通常凸起的吸力侧壁,其在跨度方向纵向或者径向延伸,并且在前缘和后缘之间的弦方向轴向延伸。对于涡轮机叶片,翼片跨度从在径向内部平台处的根部延伸到径向外端,与围绕的涡轮机罩隔开。对于涡轮机轮叶,翼片从与径向内部带集成的根部延伸到与外部带集成的径向外端。

[0006] 每个涡轮机翼片也开始在前缘后部增加厚度,然后减小厚度到相对薄或者锐利的后缘,在后缘处,压力侧壁和吸力侧壁连接在一起。翼片的较宽的部分具有足够的内部空间,用于容纳各种形式的内部冷却回路,以及用于增强翼片内部的热传递冷却的湍流器,而相对薄的后缘具有相应的有限的内部冷却空间。

[0007] 每个翼片通常包括延伸通过其侧壁的多排膜冷却孔,其从内部回路排放消耗的冷却空气。膜冷却孔通常在后部方向朝着后缘倾斜,且在翼片的外表面上产生冷却空气的薄膜,其提供了热隔绝空气覆盖层,以额外保护防止在运转期间流过翼片表面的热燃烧气体。

[0008] 薄的后缘通常由后缘冷却狭槽的排保护,该后缘冷却狭槽在紧接的后缘上游的压力侧壁上破口,用于在其上排放膜冷却空气。每个后缘出口狭槽具有在压力侧上暴露的出口孔隙,其在中断唇缘处开始,且在径向方向上由在限定出口狭槽的轴向隔离物的后部端处的暴露的平台区确定边界。

[0009] 轴向隔离物与翼片的压力侧和吸力侧一体形成,且它们本身必须通过经由由其限定的出口狭槽排放的空气冷却。隔离物通常在后部方向上朝着后缘会聚,使得出口狭槽朝着后缘以浅的发散角发散,这促使排放的冷却空气以从隔离物的侧面小的流分离扩散,如果有流分离的话。

[0010] 后缘出口狭槽的空气动力学和冷却性能直接与出口狭槽和介入的隔离物的特殊构造有关。出口狭槽的流面积调节通过狭槽排放的冷却空气的流,且狭槽的几何形状影响

其冷却性能。

[0011] 后缘出口狭槽的排通常延伸后缘的全部径向跨度,用于提供沿着其的完全冷却。出口狭槽的发散或者扩散角通常限制于大约 7.5 度,以最大化扩散效率,而不影响排放的冷却空气的不需要的流分离,该流分离会削弱排放的空气的性能和冷却效率。

[0012] 因此,这些排放流面积和发散角的几何形状约束确定了沿着后缘的出口狭槽的数量和间距间隔。

[0013] 薄的后缘直接在单独的出口狭槽下的部分通过排放的冷却空气有效冷却,排放的空气也分布在隔离物的后部端处的介入暴露的平台区上。然而,这些平台区仍然是压力侧壁与吸力侧壁一体形成的实心部分,且必须依赖于从邻近的后缘出口排放的空气用于冷却。

[0014] 虽然这些出口平台区的小的尺寸和后缘出口狭槽的充分的冷却性能,涡轮机翼片的薄的后缘仍然通常限制这些翼片的寿命,这由于其在燃气轮机的恶劣环境中的高的操作温度。

[0015] 因此,需要提供一种具有改进的后缘冷却的涡轮机翼片,用于改进翼片的持久性和发动机性能。

发明内容

[0016] 涡轮机翼片包括相对的压力侧壁和吸力侧壁之间的内部冷却回路。压力侧壁包括由会聚隔离物分开的用于回路的出口狭槽的排。每个狭槽包括入口、喉部和发散出口。隔离物的每一个包括在其会聚侧壁中的台阶,用于增加狭槽的发散,以扩散通过其排放的冷却剂。

附图说明

[0017] 根据优选的和示例性的实施例,连同本发明的目的和优点,在结合附图的下面的详细描述中更具体地描述了本发明,其中:

[0018] 图 1 是示例性的涡轮机转子叶片的部分截面的正视图。

[0019] 图 2 是图 1 所示的翼片中的后缘出口狭槽的放大的部分截面的正视图。

[0020] 图 3 是图 2 所示的且沿着线 3-3 截取的后缘出口狭槽的端视图。

[0021] 图 4 是图 2 所示的且沿着线 4-4 截取的翼片的部分的轴向截面图。

[0022] 图 5 是像图 2 一样的根据可替代的实施例的后缘出口狭槽的放大的正视图。

[0023] 图 6 是图 5 所示的且沿着线 6-6 截取的通过后缘出口狭槽的轴向截面图。

具体实施方式

[0024] 图 1 中所示的是典型的第一级涡轮机转子叶片 10,其在用于飞行器、船舶或者工业应用的燃气轮机中使用。叶片包括与平台 14 一体形成的翼片 12,以及用于安装在支撑转子盘(没有显示)的周边中的轴向进入燕尾榫 16。

[0025] 在运转期间,燃烧气体 18 在发动机中产生,且向下游流过涡轮机翼片 12,涡轮机翼片从燃烧气体汲取能量,用于旋转支撑叶片的盘,用于给压缩机(没有显示)提供动力。在压缩机中加压的空气 20 与燃料混合,且点燃用于产生热的燃烧气体,在运转期间,加压

的空气的一部分被合适地引导到叶片,用于冷却叶片。

[0026] 更具体的,翼片 12 包括通常凹进的侧壁 22 和圆周或者侧向相对的通常凸起的吸力侧壁 24。两个侧壁在跨度方向纵向或者径向从在平台 14 处的根部 26 延伸到径向外部末端 28。侧壁也在弦方向上在相对的前缘和后缘 30、32 之间轴向延伸。

[0027] 翼片是空心的,两个侧壁 22、24 在前缘和后缘之间侧向隔开,以在其中限定内部冷却腔或者回路 34,用于在运转期间循环从压缩机转移来的加压的冷却空气或者冷却剂 20。

[0028] 内部冷却回路 34 可以具有任何传统的构造,且通常由一体桥接两个侧壁的径向延伸的隔离物限定,各种形式的短的湍流器肋排列于侧壁的内表面,用于增强热传递冷却性能。

[0029] 如上在背景技术部分指出的,对于显示的示例性的涡轮机转子叶片的典型的翼片构造,以及对于典型的定子喷口轮叶的翼片构造,宽度从前缘 30 增加到从前缘的紧接的后部的最大宽度,然后翼片会聚到相对薄或者锐利的后缘 32。因此,内部冷却回路 34 的尺寸随着翼片的宽度变化,在后缘的紧接前面相对薄,在后缘处,两个侧壁一体连接在一起,且形成翼片的薄的后缘部分。

[0030] 为了冷却翼片的该薄的后缘部分,侧壁 22 包括径向排的后缘出口狭槽 36,其沿着后缘 32 的跨度弦向延伸通过,与内部冷却回路 34 流体连通,用于在运转期间从其排放冷却剂 20。

[0031] 后缘出口狭槽 36 在图 2 中更具体地显示。每个狭槽 36 在下游后部方向上大部分发散,且狭槽在跨度方向上相互径向分离相应的轴向隔离物 38,这些隔离物在下游后部方向上朝着后缘 32 大部分会聚。

[0032] 每个狭槽 36 包括在隔离物 38 的前端处的会聚的或者钟形口入口 40,其通常截面为半圆形。入口会聚到最小流面积的喉部 42,其计量或者调节冷却剂 20 通过出口狭槽的排放。出口狭槽从喉部 42 后部通过沿着隔离物的后部端设置的出口 44 朝着后缘 32 发散。

[0033] 因此,每个隔离物 38 开始发散以限定终止于喉部 42 的相应的会聚入口 40。然后,每个隔离物在向后部方向上会聚于后缘 32。每个隔离物通常沿着翼片的弦轴线径向对称,且包括相对的侧壁,这些侧壁限定相应的出口狭槽的侧面。

[0034] 狭槽 36 的每一个以发散角 A 向后部发散,该发散角足够小或者浅,用于以最小化的流分离来扩散通过狭槽排放的冷却剂 20,如果在运转期间有流分离的话。扩散器是熟知的,且要求浅的扩散角,以实现扩散而没有不想要的流分离。这样,可以从扩散后缘出口狭槽 36 获得冷却剂空气排放的最大效率。

[0035] 然而,在图 2 中显示的每个隔离物 38 还包括小的台阶 46,其使隔离物从台阶向后部宽度变窄,同时相应地使出口 44 从台阶向后部变宽,以改进出口狭槽的性能。尤其是,每个台阶具有小的幅度或者深度 B,其向内取代从台阶向后部的隔离物侧壁的剩余部分,以使隔离物的宽度变窄。该台阶提供邻近出口狭槽的流面积的突然增加,其与冷却剂的额外的台阶扩散相应,而没有不需要的流分离。

[0036] 通过限制台阶 46 的尺寸,传统的柯安达效应将确保通过出口狭槽 36 排放的冷却剂的射流向下游流过台阶,且从台阶立即重新附着到下游的隔离物侧壁。台阶的引入不但增强了排放的冷却剂的扩散,而且大大减小了隔离物的宽度,因此减小了其重量和热质量,

且相应地改进其由从出口狭槽排放的冷却剂的冷却。

[0037] 如图 2 所示,台阶 46 可以在喉部 42 和后缘 32 之间的合适的轴向位置处定位在隔离物的侧壁中。每个隔离物从狭槽喉部 42 在其两个侧壁之间向后部首先会聚到台阶 46,然后进一步从台阶 46 沿着出口 44 向后部会聚到后缘 32。这样,在台阶 46 处出现通过出口狭槽的流面积的台阶增加,同时隔离物的径向宽度在台阶处以及从台阶向后部突然减小。

[0038] 如在图 3 和 4 中另外显示的,狭槽出口 44 的每一个在从后缘 32 向前隔开的中断唇缘 48 处使压力侧壁 22 的外表面破口。每个出口 44 由形成相应隔离物 38 的后部端的暴露的平台区 50 径向限定边界,隔离物的前端从相应的中断唇缘 48 向前或者向上游朝着前缘延伸。

[0039] 这样,隔离物 38 在每个翼片内部上游从两个侧壁之间的中断唇缘 48 开始,且根据需要在后缘 32 处或者附近终止于其暴露的平台区部分 50。

[0040] 因此,出口狭槽 36 的每一个在翼片内部开始,从内部冷却回路 34 连续流连通到会聚入口 40,最小流面积的喉部 42,以及发散出口 44,其在压力侧壁 22 中大部分暴露,且通过在介入的隔离物的后部端处的暴露的会聚平台区 50 与相邻的出口 44 分离。

[0041] 由于平台区 50 是隔离物 38 的延伸部分,所以其暴露的侧壁优选以与隔离物的内部侧壁相同的发散角 A 从中断唇缘 48 向后部会聚,该隔离物的内部侧壁的发散角在共同的中断唇缘 48 的向前和向后部上匹配出口狭槽的相应的发散角 A。

[0042] 隔离物平台区 50 优选是与围绕暴露的狭槽出口 44 的每个的压力侧壁的外表面共平面或者齐平,包括在其间径向延伸的共同的中断唇缘 48。这最大化翼片的压力侧的流连续性。

[0043] 如上所述,狭槽 36 的每一个具有浅的扩散或者发散角 A,其在优选实施例中可以达到大约 7.5 度,其由相邻的隔离物的相等的会聚角实现,狭槽在相邻的隔离物之间限定。这样,通过扩散出口排放的冷却剂有效地扩散,而没有不需要的流分离。而且,狭槽的发散角在台阶 46 向前和向后部大致彼此相等。

[0044] 因此,隔离物 38 的每一个具有浅的会聚角 A,其等于狭槽的发散角,且在台阶 46 的向前和向后部大致相等。

[0045] 在图 2 中所示的优选实施例中,台阶 46 向前和向后部的每个隔离物 38 的侧壁优选是直的且彼此平行,台阶 46 使暴露的平台区 50 的宽度沿着其全部轴向长度减少整个台阶深度 B。

[0046] 同样,在图 2 所示的优选实施例中,隔离物 38 的每一个包括其两个相对侧壁的每一个上的相应的台阶 46,其使会聚平台区 50 的宽度在其整个轴向范围减少两倍深度 B。因此,在每个隔离物上的两个台阶以对称的方式增加了其相应的相对侧面上的相邻出口狭槽的流面积。因此,狭槽 36 的每一个从其入口 40 到最小流面积的喉部 42 减小了流面积,然后从该喉部到隔离物 38 的侧壁中的台阶 46 增加流面积。然后流面积从台阶 46 到每个狭槽的暴露的出口 44 进一步增加,且随着该出口发散到后缘。

[0047] 台阶 46 的深度 B 可以选择,以最小化对于喉部 42 的给定的流面积的会聚平台区 50 的宽度,同时维持通过出口狭槽排放的冷却剂的有效扩散。例如,对于典型的涡轮机翼片应用,台阶的深度 B 可以在大约 4-20mil 的典型范围内,其将产生狭槽分散的局部增加,以及通过其排放的冷却剂的扩散的局部增加,而没有不需要的从隔离物侧壁的流分离。柯

恩达效应确保排放的冷却空气向下游流过向下台阶 46, 且维持流与从台阶下游平台区的侧壁附着。

[0048] 在图 2-4 中所示的优选实施例中, 对于每个出口狭槽 36 的两个台阶 46 相互共平面对准, 且与相应的中断唇缘 48 共平面对准。这样, 从中断唇缘 48 向后部延伸的暴露的平台区 50 比其没有台阶要窄大致两个台阶的幅度。

[0049] 平台区的重量和热质量因此大大减小, 这改进了其冷却性能。而且, 从发散出口 44 排放的冷却剂对于冷却较窄的平台区更加有效。因此, 通过简单地减小暴露的平台区的表面积来实现沿着后缘的整个跨度的改进的冷却, 同时维持排放的冷却剂的有效扩散, 不管狭槽喉部 42 的给定的尺寸。

[0050] 在替代的实施例中, 台阶 46 可以位于中断唇缘 48 的后部, 其延迟会聚平台区 50 的变窄。或者, 台阶可以位于翼片内中断唇缘 48 的前面或者上游, 且更紧密地邻近狭槽喉部 42。

[0051] 在图 2-4 中所示的示例性的实施例中, 台阶 46 只设置在隔离物 38 的侧壁中, 且沿着狭槽 36 的吸力侧壁 24 的内表面保持平滑, 其中没有台阶。如图 3 所示, 该构造在每个出口狭槽 36 的相对径向侧壁上包括两个台阶 46, 其与由中断唇缘 48 形成的台阶合作。从出口狭槽 36 排放的冷却剂可以因此在跳过中断唇缘时从翼片的压力侧中的暴露的出口 44 的整个周边展开。

[0052] 同样在该实施例中, 狭槽 36 的每个在两个定边界的隔离物 38 的每个中包括单个台阶 46, 且隔离物在其中的单个台阶的前部和后部都具有平的和平行的侧壁, 具有相同的浅的会聚角 Λ 。因此, 每个出口狭槽 36 的相应的会聚角 Λ 在台阶 46 的前部和后部相同, 以轴对称地扩散排放冷却剂。

[0053] 图 5 和 6 示出了替代的实施例, 其中, 一对台阶 46 连续设置在隔离物 38 的每一个中。前面台阶 46 在翼片内部中断唇缘 48 的前面设置在隔离物的侧壁中, 而后部台阶 46 在狭槽出口 44 的暴露的区域中设置在中断唇缘 48 的后部。这样, 在隔离物 38 的侧壁中在连续的台阶 46 处实现了台阶的两个平面扩散, 以减小两级中的隔离物的宽度, 同时也确保排放的冷却剂的有效扩散。

[0054] 而且, 额外的台阶 52 也可以在具有侧部台阶 46 的两维构造中沿着出口狭槽 36 引入吸力侧壁 24 的否则平滑内表面中。这样, 每个出口狭槽可以首先面积上会聚到喉部 42, 然后面积上增加到与吸力侧壁的内表面中的相应底部台阶 52 共平面的隔离物的侧壁中的两个侧部台阶 46 的第一平面。然后, 出口狭槽的面积可以进一步从台阶的第一平面增加到由两个更多的侧部台阶 46 和共平面的底部台阶 52 形成的台阶的下一个平面。

[0055] 在图 5 和 6 中所示的多台阶构造对于用于较大的涡轮机叶片或者喷口轮叶更加实际。而在图 2-4 中所示的单个平面的台阶可以引入较小的涡轮机叶片和喷口轮叶。

[0056] 因此, 在形成出口狭槽 36 的隔离物的侧壁中简单引入侧部台阶 46 可以大大改进沿着翼片后缘的冷却性能。如上所述, 由于后缘的薄的会聚几何形状, 后缘狭槽冷却是复杂的。冷却剂必须通过具有有限的扩散角的发散出口狭槽排放, 以防止不需要的流分离。

[0057] 排放的冷却剂通过相应的狭槽喉部计量, 且必须具有合适的喷出比例, 以防止当其从出口狭槽排放时膜的不需要的喷除。暴露的出口和暴露的介入平台区的相对表面积影响排放的膜冷却空气的会聚, 以及也影响排放的空气与外部的燃烧气体的混合。

[0058] 上面披露的柯恩达侧部台阶在狭槽隔离物中的引入充分减小了隔离物以及暴露到热燃烧气体的平台区的宽度。狭槽出口的面积相对于较薄的隔离物平台区增加,且改进了其冷却。

[0059] 由于柯恩达台阶可以获得增强的流扩散,以获得比对于 7.5 度扩散角的限制值可能的更大的有效扩散。增强的膜覆盖从狭槽出口的排获得,使得排放的膜冷却空气的喷除趋势减小。对于给定量的空气流,可以获得较高的膜冷却有效性。或者,由于通过柯恩达台阶实现的较好的覆盖和较少的混合,用较少的冷却剂流可以获得相同的膜冷却有效性。

[0060] 虽然这里描述了被认为是本发明的优选的和示例性的实施例,但是从这里的教示,本发明的其它修改对于本领域中的普通技术人员是明显的,因此期望在后附的权利要求书中确保所有这样的修改都位于本发明的真正精神和范围内。

[0061] 因此,期望由美国专利确保的是如在后面的权利要求书中限定和区别的本发明。

[0062] 部件列表

[0063]	10	转子叶片
[0064]	12	翼片
[0065]	14	平台
[0066]	16	燕尾榫
[0067]	18	燃烧气体
[0068]	20	空气
[0069]	22	压力侧壁
[0070]	24	吸力侧壁
[0071]	26	根部
[0072]	28	外部末端
[0073]	30	前缘
[0074]	32	后缘
[0075]	34	冷却回路
[0076]	36	出口狭槽
[0077]	38	轴向隔离物
[0078]	40	钟形口入口
[0079]	42	喉部
[0080]	44	出口
[0081]	46	台阶
[0082]	48	中断唇缘
[0083]	50	暴露的平台区
[0084]	52	台阶

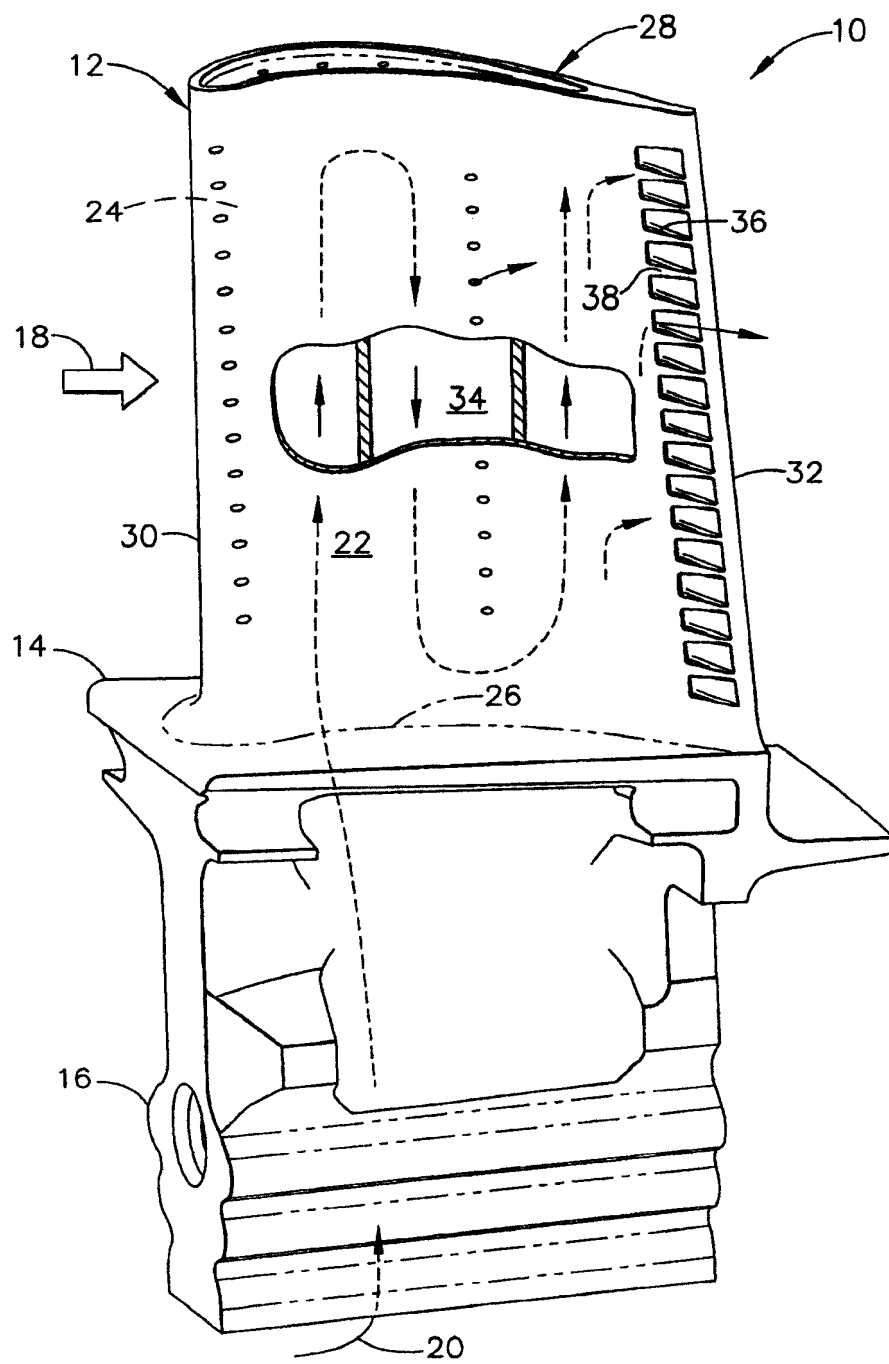


图 1

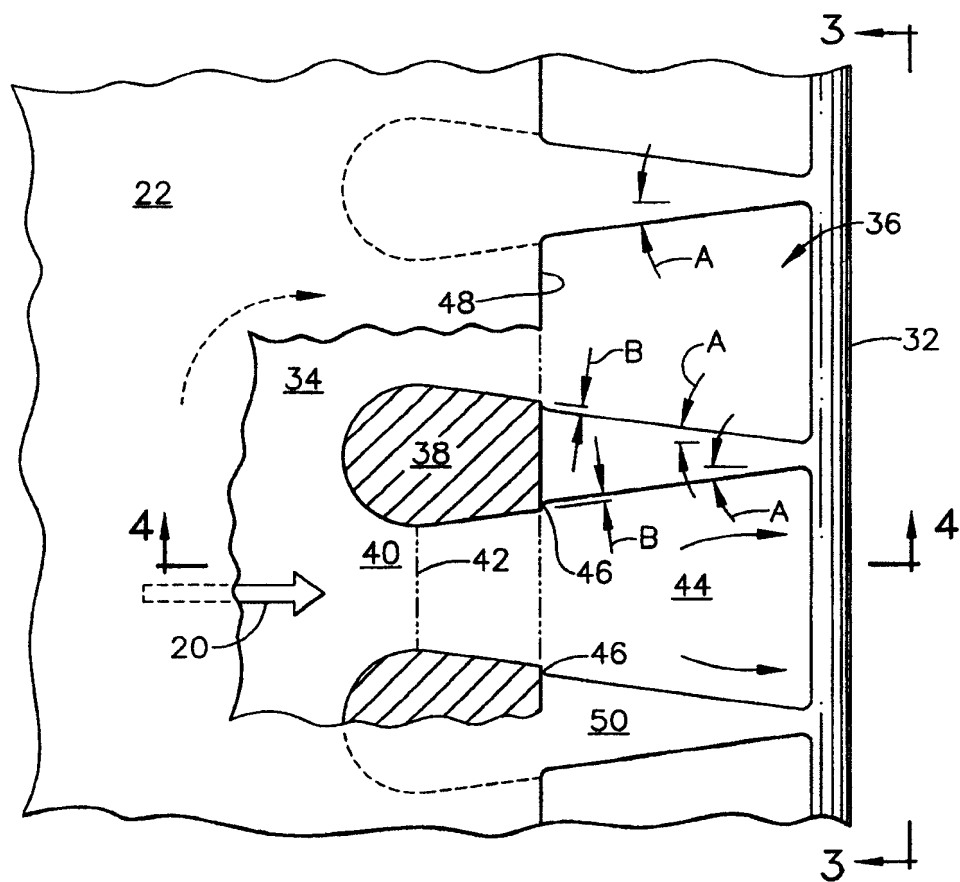


图 2

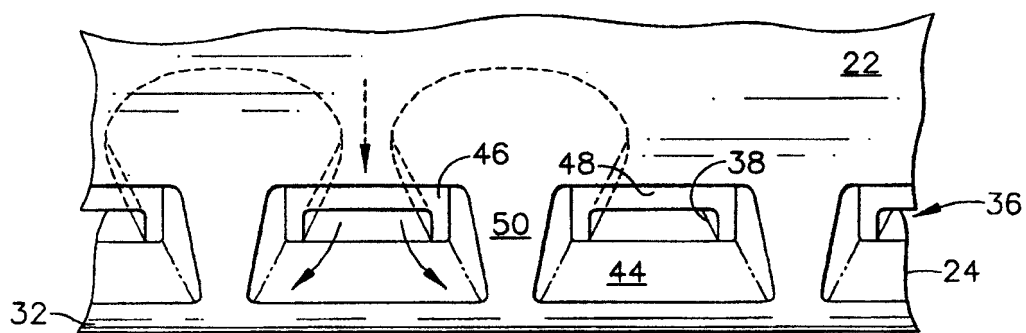


图 3

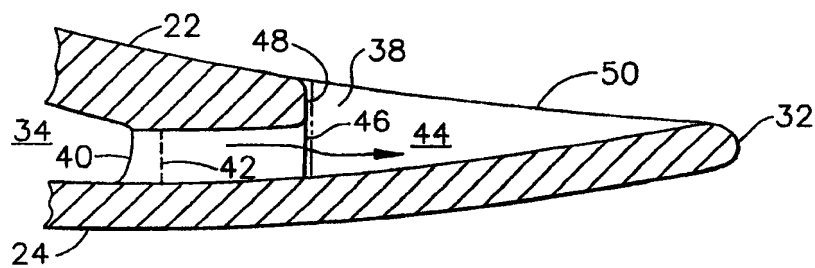


图 4

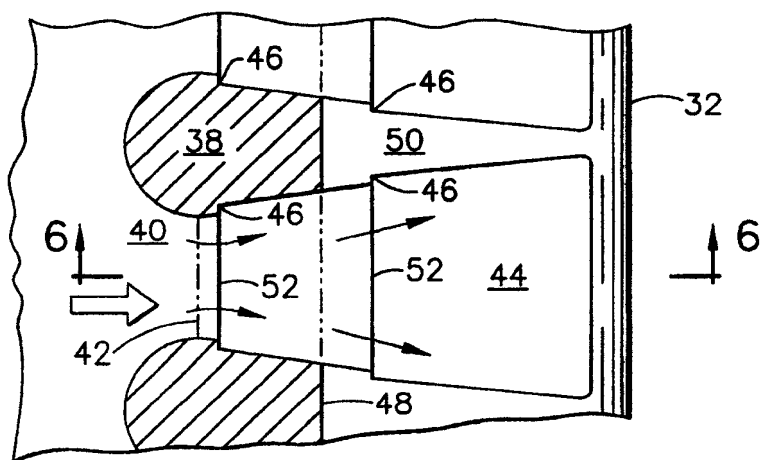


图 5

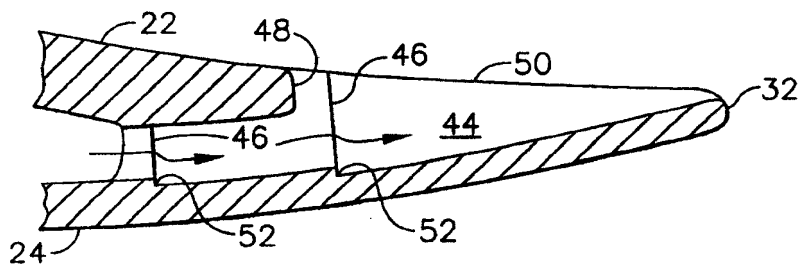


图 6