



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102536332 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201110373806. 1

(22) 申请日 2011. 11. 10

(30) 优先权数据

12/943624 2010. 11. 10 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 R·S·班克 魏斌 M·N·哈蒙德

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 严志军 傅永霄

(51) Int. Cl.

F01D 5/18(2006. 01)

F01D 9/02(2006. 01)

F02C 7/12(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101120156 A , 2008. 02. 06,

CN 1445437 A , 2003. 10. 01,

US 2003175122 A1 , 2003. 09. 18,

US 2006099080 A1 , 2006. 05. 11,

US 5075966 A , 1991. 12. 31,

US 5640767 A , 1997. 06. 24,

US 7766617 B1 , 2010. 08. 03,

审查员 张磊洋

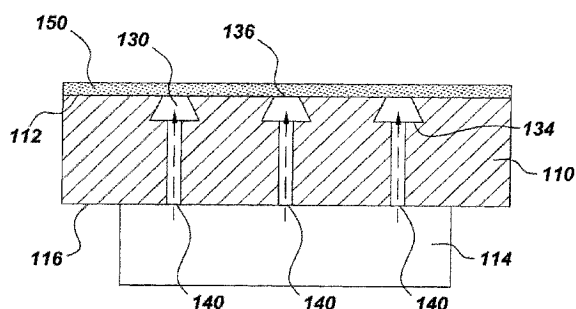
权利要求书2页 说明书12页 附图7页

(54) 发明名称

具有凹形冷却通道的部件及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种具有凹形冷却通道的部件及其制造方法。所述方法包括在基底的表面中形成一个或多个槽,其中所述基底具有至少一个内部空腔。所述一个或多个槽中的每个槽均至少部分沿着所述基底表面进行延伸并具有底部和顶部。所述底部宽于所述顶部,因此,所述一个或多个槽中的每个槽均包括一个凹形槽。所述方法进一步包括形成穿过相应槽的所述底部的一个或多个入孔,从而以流体连通方式将所述槽与所述内部空腔中的相应各空腔连接,以及将涂层沉积于所述基底表面的至少一部分上。所述一个或多个槽和涂层构成用于冷却所述部件的一个或多个凹形通道。



1. 一种制造具有凹形通道的部件 (100) 的方法, 所述方法包括:

在基底 (110) 的表面 (112) 中形成一个或多个槽 (132), 其中所述基底 (110) 具有至少一个内部空腔 (114), 其中所述一个或多个槽 (132) 中的每个槽均至少部分沿着所述基底 (110) 的所述表面 (112) 进行延伸并具有底部 (134) 和顶部 (136), 其中所述底部 (134) 宽于所述顶部 (136), 因此, 所述一个或多个槽 (132) 中的每个槽均包括凹形槽 (132);

形成穿过所述一个或多个槽 (132) 中相应一个槽的所述底部 (134) 的一个或多个入孔 (140), 从而以流体连通方式将所述槽 (132) 与所述至少一个内部空腔 (114) 中的相应各空腔连接; 以及

将涂层 (150) 沉积于所述基底 (110) 的所述表面 (112) 的至少一部分上, 其中所述一个或多个槽 (132) 和涂层 (150) 构成用于冷却所述部件 (100) 的一个或多个凹形通道 (130);

其中通过在所述基底 (110) 的所述表面 (112) 引导磨蚀性液体射流 (160) 来形成所述一个或多个凹形槽 (132), 其中通过引导所述磨蚀性液体射流 (160) 以相对于所述基底 (110) 的所述表面 (112) 成一个侧角进行所述磨蚀性液体射流 (160) 的第一次流动, 并随后以大体上与所述侧角相对的角进行后续流动来形成所述一个或多个凹形槽 (132)。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述一个或多个凹形槽 (132) 中相应一个槽的所述底部 (134) 的宽度为所述相应槽 (132) 的所述顶部 (136) 的 3 至 4 倍。

3. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述一个或多个凹形槽 (132) 中相应一个凹形槽的槽壁 (138) 相对于表面法线 (52) 成一个角度, 其中所述角度在 20 至 45 度的范围内。

4. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 将涂层 (150) 沉积于所述基底 (110) 的所述表面 (112) 的至少一部分上包括使用以下技术中的至少一种:

等离子体沉积;

高速氧燃料喷涂 (HVOF);

高速空气燃料喷涂 (HVOF); 或

低压等离子体喷涂 (LPPS) 工艺。

5. 一种通过权利要求 1-4 中任一项所述的方法制成的具有凹形通道的部件 (100), 其包括:

一个基底 (110), 所述基底包括外表面 (112) 和内表面 (116), 其中所述内表面 (116) 设有至少一个内部空腔 (114), 其中所述外表面 (112) 设有一个或多个槽 (132), 其中所述一个或多个槽 (132) 中的每个槽均至少部分沿着所述基底 (110) 的所述表面 (112) 进行延伸、并具有底部 (134) 和顶部 (136), 其中所述底部 (134) 宽于所述顶部 (136), 因此, 所述一个或多个槽 (132) 中的每个槽均包括一个凹形槽 (132), 其中一个或多个入孔 (140) 形成穿过所述一个或多个槽 (132) 中相应一个槽的所述底部 (134), 从而以流体连通方式将所述一个或多个槽 (132) 中的相应槽与至少一个内部空腔 (114) 中的相应各空腔连接; 以及

至少一个设置于所述基底 (110) 的所述表面 (112) 的至少一部分上的涂层 (150), 其中所述一个或多个槽 (132) 和所述涂层 (150) 构成用于冷却所述部件 (100) 的一个或多个凹形通道 (130)。

6. 根据权利要求 5 所述的部件 (100), 其特征在于, 所述一个或多个凹形槽 (132) 中相应一个槽的所述底部 (134) 的宽度为所述相应槽 (132) 的所述顶部 (136) 的 3 至 4 倍, 且所述一个或多个凹形槽 (132) 中相应一个凹形槽的槽壁 (138) 相对于表面法线 (52) 成一个角度, 其中所述角度在 20 至 45 度的范围内。

7. 根据权利要求 5 所述的部件 (100), 其特征在于, 所述涂层 (150) 完全填补所述相应一个或多个槽 (132), 这样所述涂层 (150) 便密封所述凹形通道 (130)。

8. 根据权利要求 5 所述的部件 (100), 其特征在于, 所述涂层 (150) 设有一个或多个孔隙 (144), 这样所述涂层 (150) 便不会完全填补所述相应一个或多个槽 (132) 中的每个槽。

9. 一种在不使用牺牲型填充材料的情况下为具有凹形通道的部件 (100) 涂层的方法, 所述方法包括:

在基底 (110) 的表面 (112) 中形成一个或多个槽 (132), 其中所述基底 (110) 具有至少一个内部空腔 (114), 其中所述一个或多个槽 (132) 中的每个槽均至少部分沿着所述基底 (110) 的所述表面 (112) 进行延伸、并具有底部 (134) 和顶部 (136), 其中所述顶部 (136) 的宽度为 0.1mm 至 0.5mm;

将涂层 (150) 设置于所述基底 (110) 的所述表面 (112) 的至少一部分上并直接位于所述一个或多个槽 (132) 中开口的正上方, 其中所述一个或多个槽 (132) 和涂层 (150) 构成用于冷却所述部件 (100) 的一个或多个凹形通道 (130);

浇铸所述基底 (110) 后, 在所述基底 (110) 的所述表面 (112) 中形成所述一个或多个槽 (132); 以及

形成一个或多个穿过所述一个或多个槽 (132) 中相应一个槽所述底部 (134) 的入孔 (140), 从而以流体连通方式将所述槽 (132) 与所述至少一个内部空腔 (114) 中的相应各空腔连接, 其中所述涂层 (150) 包括金属层、粘接层和热障层中的至少一种, 且将所述涂层 (150) 沉积于所述基底 (110) 的所述表面 (112) 的至少一部分上包括使用以下技术中的至少一种:

等离子体沉积,

高速氧燃料喷涂 (HVOF) 工艺,

高速空气燃料喷涂 (HVOF) 工艺, 或

低压等离子体喷涂 (LPPS) 工艺;

其中通过在所述基底 (110) 的所述表面 (112) 引导磨蚀性液体射流 (160) 来形成所述一个或多个凹形槽 (132), 其中通过引导所述磨蚀性液体射流 (160) 以相对于所述基底 (110) 的所述表面 (112) 成一个侧角进行所述磨蚀性液体射流 (160) 的第一次流动, 并随后以大体上与所述侧角相对的角度进行后续流动来形成所述一个或多个凹形槽 (132)。

具有凹形冷却通道的部件及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明一般涉及燃气涡轮发动机,确切地说,涉及燃气涡轮发动机中的微通道冷却。

背景技术

[0002] 在燃气涡轮发动机中,空气在压缩机中进行压缩,随后在燃烧室中与燃料混合,以产生热燃烧气体。从高压涡轮机(HPT)的气体中获得的能量可驱动压缩机,从低压涡轮机(LPT)的气体中获得的能量可驱动应用于涡轮风扇式飞机发动机的风扇,也可驱动船舶和工业应用中的外轴。

[0003] 发动机效率随燃烧气体温度的升高而增加。但燃烧气体会沿着其流路加热各个部件,因此,需要进行冷却以延长发动机的寿命。通常,热气通道部件由压缩机中排出的空气进行冷却。由于排出的空气并未在燃烧过程中使用,因此,该冷却过程降低了发动机效率。

[0004] 燃气涡轮发动机冷却技术已较为成熟,且其包括有关热气通道部件中冷却回路和零部件的各个方面的多项专利。例如,燃烧室包括径向上的外衬和内衬,所述燃烧室在运行过程中需要进行冷却。涡轮机喷嘴包括位于外带与内带之间支撑的空心叶片,所述喷嘴也需要进行冷却。涡轮机转子叶片是空心的,其中通常包括冷却回路,且叶片被涡轮机防护罩环绕,所述叶片同样需要进行冷却。热燃烧气体通过也可镶有衬套的排气装置排出,并进行适当的冷却。

[0005] 在所有此类示例性燃气涡轮发动机部件中,通常会使用高强度超耐热合金的薄金属壁来增加其耐久性,同时使此类部件的冷却需求最小化。各种冷却回路和零部件可配合处于发动机中相应环境的此类单个部件来设计。例如,多条内部冷却通道,即蛇形通道,可形成于热气通道部件中。冷却流体会从高压间流入蛇形通道,并流经所述通道,从而冷却热气通道部件基底和涂层。但是,这种冷却策略通常会导致热传递率相对较低,部件温度分布不均。

[0006] 通过尽可能接近受热区域进行冷却,微通道冷却可能会显著降低冷却要求,从而以给定的热传递速率减小受热侧与冷却侧之间的温度差。但在现有技术中,形成微通道通常需要使用牺牲型填充材料,以便防止涂层在微通道内沉积,同时可以在沉积过程中支撑涂层;形成微通道还需要在涂层系统沉积后清除所述牺牲型填充材料。但是,使用临时性材料填充通道以及之后清除所述材料对于当前的微通道处理技术来说可能都存在一些问题。例如,填充材料必须适合基底和涂层,其不仅要有极小的收缩性,而且要有足够的强度。清除所述牺牲型填充材料可能涉及溶滤、浸蚀或蒸发等损伤性工艺,且通常需要较长的时间。填充材料残留也是要关注的问题。

[0007] 因此,需要一种在热气通道部件中形成冷却通道的方法,该方法无需进行填充过程和清除过程。

发明内容

[0008] 本发明提供一种制造部件的方法,所述方法包括:在基底的表面中形成一个或多个槽,其中所述基底具有至少一个内部空腔,其中所述一个或多个槽中的每个槽均至少部分沿着所述基底的所述表面进行延伸并具有底部和顶部,其中所述底部宽于所述顶部,因此,所述一个或多个槽中的每个槽均包括一个凹形槽;形成一个或多个穿过所述一个或多个槽中相应一个槽的所述底部的入孔,从而以流体连通方式将所述槽与所述至少一个内部空腔中的相应各空腔连接;以及将一个涂层设置于所述基底的所述表面的至少一部分上,其中所述一个或多个槽和所述涂层构成用于冷却所述部件的一个或多个凹形通道。

[0009] 所述方法进一步包括浇铸所述基底后,在所述基底的所述表面中形成所述一个或多个槽,可以通过在所述基底的所述表面上引导磨蚀性液体射流来形成所述一个或多个凹形槽,或者通过引导所述磨蚀性液体射流来形成所述一个或多个凹形槽,其中所述磨蚀性液体射流相对于所述基底的所述表面成侧角进行第一次流动,并随后以实质上与所述侧角相对的角进行后续流动。形成所述一个或多个凹形槽的步骤进一步包括进行至少一次附加流动,其中所述磨蚀性液体射流以介于所述侧角与所述实质上的相对角之间的一种或多种角度流向所述槽的所述底部,从而将材料从所述槽的所述底部清除。

[0010] 所述一个或多个凹形槽中相应一个槽的所述底部的宽度为所述相应槽的所述顶部的至少 2 倍。或者,所述相应凹形槽的所述底部的宽度为所述相应槽的所述顶部的至少 3 倍。所述相应凹形槽的所述底部的宽度还可为所述相应槽的所述顶部的约 3 至 4 倍。所述一个或多个凹形槽中相应一个凹形槽的槽壁相对于表面法线成一个角度,其中所述角度在约 10 至 89 度的范围内,其中所述角度还在约 20 至 45 度的范围内。将一个涂层设置于所述基底的所述表面的至少一部分上的步骤包括使用等离子体沉积。所述涂层包括一种超耐热合金。将所述涂层设置于所述基底的所述表面的至少一部分上的步骤包括使用热喷涂工艺,所述热喷涂工艺可包括高速氧燃料喷涂 (HVOF) 或高速空气燃料喷涂 (HVOF)。或者,将所述涂层设置于所述基底的所述表面的至少一部分上的步骤包括使用低压等离子体喷涂 (LPPS) 工艺。

[0011] 在较佳实施例中,使用以下技术中的一种或多种技术形成所述一个或多个凹形槽:磨蚀性液体射流、倾入式电解加工 (ECM)、具有旋式单点电极的电火花加工 (EDM) (铣削式 EDM) 和激光加工。所述涂层完全填补所述相应一个或多个槽,这样所述涂层便密封所述相应一个或多个通道。同时,所述涂层可设有一个或多个孔隙,这样所述涂层就不会完全填补所述相应一个或多个槽中的每个槽。

[0012] 本发明还提供一种部件,其包括:基底,所述基底包括外表面和内表面,其中所述内表面设有至少一个内部空腔,其中所述外表面设有一个或多个槽,其中所述一个或多个槽中的每个槽均至少部分沿着所述基底的所述表面进行延伸并具有底部和顶部,其中所述底部宽于所述顶部,因此,所述一个或多个槽中的每个槽包括一个凹形槽,其中一个或多个入孔经形成为穿过所述一个或多个槽中相应一个槽的所述底部,从而以流体连通方式将所述一个或多个槽中的相应各槽与至少一个内部空腔中的相应各空腔连接;以及至少一个设置于所述基底的所述表面的至少一部分上的涂层,其中所述一个或多个槽和所述涂层构成用于冷却所述部件的一个或多个凹形通道。

[0013] 所述涂层包括金属层、粘接层和热障层中的至少一种。所述一个或多个凹形槽中相应一个槽的所述底部的宽度为所述相应槽的所述顶部的至少 2 倍,或者约 3 至 4 倍。所

述一个或多个凹形槽中相应一个凹形槽的槽壁相对于表面法线成一个角度,其中所述角度在约 10 至 89 度的范围内,所述角度还可在约 20 至 45 度的范围内。所述涂层完全填补所述相应一个或多个槽,这样所述涂层便密封所述相应一个或多个通道。所述涂层可设有一个或多个孔隙,这样所述涂层便不会完全填补所述相应一个或多个槽中的每个槽。

[0014] 本发明进一步提供一种在不使用牺牲型填充材料的情况下为部件涂层的方法,所述方法包括:在基底的一个表面中形成一个或多个槽,其中所述基底具有至少一个内部空腔,其中所述一个或多个槽中的每个槽均至少部分沿着所述基底的所述表面进行延伸并具有底部和顶部,其中所述顶部的宽度为约 0.1mm 至 0.5mm;以及将涂层设置于所述基底的所述表面的至少一部分上且直接位于所述一个或多个槽中开口槽的正上方,其中所述一个或多个槽和所述涂层构成用于冷却所述部件的一个或多个通道。

[0015] 所述方法进一步包括:浇铸所述基底后,在所述基底的所述表面中形成所述一个或多个槽;以及形成穿过所述一个或多个槽中相应一个槽的所述底部的一个或多个入孔,从而以流体连通方式将所述槽与所述至少一个内部空腔中的相应各空腔连接,其中所述涂层包括金属层、粘接层和热障层中的至少一种。将涂层设置于所述基底的所述表面的至少一部分上的步骤包括使用以下技术中的至少一种:等离子体沉积,高速氧燃料喷涂(HVOF)工艺,高速空气燃料喷涂(HVAF)工艺,或低压等离子体喷涂(LPSP)工艺。所述涂层完全填补所述相应一个或多个槽,这样所述涂层便密封所述相应一个或多个通道。所述涂层可设有一个或多个孔隙,这样所述涂层便不会完全填补所述相应一个或多个槽中的每个槽。

[0016] 综上所述,本发明的一个实施例在于提供一种制造部件的方法。所述方法包括在基底的表面中形成一个或多个槽,其中所述基底具有至少一个内部空腔。所述一个或多个槽中的每个槽均至少部分沿着基底表面进行延伸并设有底部和顶部。所述底部宽于所述顶部,因此,所述一个或多个槽中的每个槽均包括凹形槽。所述方法进一步包括形成穿过所述一个或多个槽中相应一个槽底部的一个或多个入孔,从而以流体连通方式将所述槽与内部空腔中相应各空腔进行该连接。所述方法进一步包括将涂层设于所述基底表面的至少一部分上,其中所述一个或多个槽和涂层构成用于冷却部件的一个或多个凹形通道。

[0017] 本发明的另一实施例在于提供一种包括基底的部件,其中所述基底包括外表面和内表面。所述内表面设有至少一个内部空腔,且外表面设有一个或多个槽。所述一个或多个槽中的每个槽均至少部分沿着基底表面进行延伸并设有底部和顶部。所述底部宽于所述顶部,因此,所述一个或多个槽中的每个槽均包括凹形槽。一个(或多个)入孔经形成成为穿过相应槽的底部,从而以流体连通方式将所述槽与至少一个内部空腔中的相应各空腔连接。所述部件进一步包括至少一个设于基底表面的至少一部分上的涂层。所述一个或多个槽和涂层构成用于冷却部件的一个或多个凹形通道。

[0018] 本发明的再一实施例在于提供一种在不使用牺牲型填充材料的情况下为部件涂层的方法。所述方法包括在基底的表面中形成一个或多个槽,其中所述基底具有至少一个内部空腔。所述一个或多个槽中的每个槽均至少部分沿着基底表面进行延伸并设有底部和顶部,其中所述顶部的宽度为约 0.1mm 至 0.5mm。所述方法进一步包括将涂层设于基底表面的至少一部分上直接位于所述一个或多个槽的开口口的正上方,其中所述一个或多个槽和涂层构成用于冷却部件的一个或多个通道。

附图说明

[0019] 参照附图来阅读以下具体实施方式后,可更好地理解本发明的这些和其他特征、方面和优点,在附图中,类似的符号代表所有附图中类似的部分,其中:

[0020] 图 1 为燃气涡轮机系统的示意图;

[0021] 图 2 为根据本发明各方面的具有凹形冷却通道的实例机翼构造的截面示意图;

[0022] 图 3 图示磨蚀性液体射流以角 ϕ 度进行第一次流动,从而形成凹形槽;

[0023] 图 4 图示磨蚀性液体射流以对角 180° 进行第二次流动,从而形成凹形槽;

[0024] 图 5 图示磨蚀性液体射流垂直于槽进行可选的第三次流动,从而形成凹形槽;

[0025] 图 6 为具有凹形冷却通道的冷却回路的一部分的截面示意图;

[0026] 图 7 以截面方式描绘具有涂层的凹形槽,所述涂层在槽顶部上延伸以形成凹形通道;

[0027] 图 8 以透视图方式描绘三个实例微通道,所述微通道部分沿着基底表面延伸并将冷却剂传送到相应的薄膜冷却孔;

[0028] 图 9 为图 8 所示的实例微通道中的一个微通道的截面图,并显示微通道将冷却剂从入孔输送到薄膜冷却孔;

[0029] 图 10 图示倾斜式涂层技术在本发明的凹形微通道上的应用;以及

[0030] 图 11 图示具有用于消除应力的孔隙的涂层。

[0031] 元件符号列表:

[0032]

参考标号	部件	参考标号	部件
10	燃气涡轮机系统	12	压缩机
14	燃烧室	16	涡轮机
18	轴	20	燃料喷嘴
50	涂层	52	表面法线

[0033]

80	热气通道流	100	热气通道部件
110	基底	112	基底的外表面
114	内部空腔	116	基底的内表面
130	凹形通道	132	凹形槽
134	槽的底部	136	槽的顶部(开口)
138	凹形槽壁	140	入孔

142	薄膜冷却孔	144	孔隙
150	涂层	160	磨蚀性液体射流

具体实施方式

[0034] 本专利申请文件中的术语“第一”、“第二”等并不表示顺序、数量或重要性，而是用于区别不同的元件。本专利申请文件中的术语“一”和“一个”并不表示数量限制，而是表示存在参考项中的至少一项。与数量有关的限定词“约”包括设定值，并具有所述背景指定的意义（例如，包括与特定数量的测量有关的误差度）。此外，术语“组合物”包括掺合物、混合物、合金、反应产物等。

[0035] 另外，在本说明书中，后缀“(s)”通常旨在包括其所限定的术语的单数和复数，因此，可包括该术语的一个或多个（例如，除非另有说明，否则“流通孔”可包括一个或多个流通孔）。说明书全文中提及的“一项实施例”、“另一项实施例”、“一实施例”等是指本专利申请文件所述的至少一项实施例中包括结合所述实施例描述的特定元素（例如，特征、结构和/或特性），所述特定元素可或可不存在于其他实施例中。此外，应理解的是，所述发明特征可在多项实施例中以任意合适的方式进行组合。

[0036] 图1为燃气轮机系统10的示意图。所述系统10可包括一个或多个压缩机12、燃烧室14、涡轮机16和燃料喷嘴20。所述压缩机12和涡轮机16可通过一个或多个轴18连接。所述轴18可为单轴或多轴段，所述单轴或多轴段连接在一起以形成轴18。

[0037] 燃气轮机系统10可包括多个热气通道部件100。热气通道部件为系统10的任意部件，其至少部分暴露于流经系统10的高温气流中。例如，叶片组件（也称为桨叶或桨叶组件）、喷嘴组件（也称为轮叶或轮叶组件）、防护罩组件、过渡件、扣环和压缩机排气部件均属于热气通道部件。但应理解的是，本发明的热气通道部件100并不限于上述实例，其可以是至少部分暴露于高温气流中的任意部件。此外，应理解的是，本发明的热气通道部件100并不限于燃气轮机系统10中的部件，其也可以是会暴露于高温气流的任意机械或部件。

[0038] 当热气通道部件100暴露于热气流80时，热气通道部件100因热气流80而受热，并达到一定温度，在该温度下，热气通道部件100会发生故障。因此，为了在热气流80处于高温的情况下运行系统10，并提高系统10的效率和性能，需要一种用于热气通道部件100的冷却系统。

[0039] 一般而言，本发明的冷却系统包括多条较小的通道，即微通道，所述通道形成于热气通道部件100的表面中。热气通道部件会覆有涂层。冷却流体会从高压间流入所述通道，并会流经所述通道以冷却涂层。

[0040] 参考图2至图11描述制造部件100的方法。2-11如图所示，例如，在图3至图6中，所述方法包括在基底110的表面112中形成一个或多个槽132。在所示实例中，多个槽132形成于基底110中。如图所示，例如，在图2中，基底110具有至少一个内部空腔114。如图所示，例如，在图8至图9中，每个槽132均至少部分沿着基底110的表面112进行延伸。如图所示，例如，在图6中，每个槽132均具有底部134和顶部136，其中所述底部134宽于顶部136，因此，每个槽132均为凹形槽132。在图8至图9所示的实例中，所述槽将流

体输送至薄膜出孔 142。但其他构造并不需要设有薄膜孔,因为微通道会仅沿着基底表面 112 延伸并从部件边缘(例如后缘或叶尖)或者端壁边缘穿出。此外,应注意的是,尽管图 8 所示的薄膜孔为圆形,但这仅是一个非限制性实例。所述薄膜孔也可为非圆形的孔。

[0041] 如图所示,例如,在图 6 中,所述方法进一步包括形成穿过槽 132 中相应一个槽底部 134 的一个或多个入孔 140,从而使槽 132 与一个内部空腔 114 之间形成流体连通。入孔 140 通常为圆形或椭圆形的横截面,并可通过例如激光加工(激光打孔)、磨蚀性液体射流、电火花加工(EDM)和电子束打孔中的一种或多种技术来形成。入孔 140 可垂直于相应槽 132(如图 6 所示)的底部 134,一般而言,钻孔形成的角可相对于槽底部 134 在 20 度到 90 度的范围内。如图所示,例如,在图 6 中,所述方法进一步包括将涂层 150 置于基底 110 的表面 112 的至少一部分上。具体而言,将涂层 150 沉积于基底 110 的表面 112 的至少一部分上且直接位于槽 132 中开口的正上方。本文所使用的术语“开口”是指槽 132 为空槽,即这些槽未填充牺牲型填充材料。例如,如图 6 所示,槽 132 和涂层 150 构成用于冷却部件 100 的多个凹形通道 130。例如,如图 8 和图 9 所示,基底 110 和涂层 150 可进一步形成多个薄膜出孔 142。在图 9 所示的实例构造中,微通道 130 将冷却剂从入孔 140 输送到薄膜冷却孔 142。第 5,640,767 号美国专利和第 5,626,462 号美国专利提供了实例涂层 150,所述专利的全文以引用的方式并入本专利申请文件中。如第 5,626,462 号美国专利中所述,将涂层 150 粘接到基底 110 的表面 112 的多个部分。

[0042] 通常在对基底 110 进行浇铸后,才在基底 110 的表面 112 中形成槽 132。如共同转让的第 5,640,767 号美国专利所述,所述专利的全文以引用的方式并入本专利申请文件中,基底 110 可由任意合适的材料形成,其中本专利申请文件将所述任意合适的材料描述为第一材料。根据部件 100 的预期应用,所述材料可包括镍基、钴基和铁基超耐热合金。镍基超耐热合金可以是那些含有 γ 和 γ' 相的材料,特别是那些 γ 和 γ' 相都含有的镍基超耐热合金,其中 γ' 相占据所述超耐热合金总量的至少 40%。由于此类合金具有各种理想性质(包括高温强度和高温抗蠕变性),因此非常具有优势。第一材料还可包括镍铝金属间合金,因为这些合金具有多种优良性质,包括高温强度和高温抗蠕变性,这些优良性质使此类合金在用于飞机的涡轮发动机应用时非常有优势。在使用铌基合金的情况下,将会优选抗氧化性优良的涂有铌基的合金,例如铌钛合金,尤其是那些包括 Nb-(27-40)Ti-(4.5-10.5)Al-(4.5-7.9)Cr-(1.5-5.5)Hf-(0-6)V 的合金(以原子百分比表示)。第一材料还可包括铌基合金,所述铌基合金含有至少一个次生相,例如,含铌金属间化合物、含铌碳化物或含铌硼化物。此类合金与复合材料类似,因为它们都包含延性相(即,铌基合金)和强化相(即,含铌金属间化合物、含铌碳化物或含铌硼化物)。

[0043] 在图 2、图 8 和图 9 所示的实例布置中,涂层 150 沿着基底 110 的翼形外表面 112 纵向延伸。涂层 150 与翼形外表面 112 贴合并覆盖槽 132 从而形成通道 130。应注意的是,如图所示,涂层 150 只是覆盖所述通道的第一涂层或结构涂层。在某些应用中,所使用的涂层可能均为单涂层。但在其他应用中,还可能会使用粘接层和热障层(TBC)。在图 8 和图 9 所示的实例布置中,通道 130 将冷却剂从相应入孔 140 传送到薄膜出孔 142。通常,通道长度在薄膜孔直径的 10 倍到 1000 倍的范围内,更具体而言,在薄膜孔直径的 20 倍到 100 倍的范围内。有利的是,通道 130 可应用于部件(机翼主体、前缘、后缘、叶尖、端壁、平台)表面上的任意位置。此外,尽管所示通道具有直壁,但通道 130 可具有任何构造,例如,这些通道

可为直的、弯曲的或具有多种曲线等。涂层 150 包括第二材料,所述第二材料可为任意合适的材料,并与基底 110 的翼形外表面 120 粘接。在特定构造中,对于工业部件,涂层 150 的厚度在 0.1 至 2.0 毫米的范围内,具体而言,在 0.1 至 1 毫米的范围内,再确切地说,在 0.1 至 0.5 毫米的范围内。对于飞机部件,涂层 150 的厚度通常在 0.1 至 0.25 毫米的范围内。但根据特定部件 100 的需要,也可采用其他厚度。

[0044] 所述涂层 150 可通过各种技术进行沉积。在特定工艺中,涂层 150 可通过等离子体沉积技术沉积于基底 110 的表面 112 的至少一部分上。在共同转让的维弗尔 (Weaver) 等人的题为“阴极电弧等离子体沉积的方法和装置 (Method and apparatus for cathodic arc ion plasma deposition)”的第 20080138529 号美国公开专利申请案中,提供了实例阴极电弧等离子体沉积装置和方法,该申请案的全文以引用的方式并入本专利申请文件中。简而言之,等离子体沉积包括将由涂层材料形成的阴极放置到真空室内的真空环境中,在真空环境中提供基底 110,并向阴极供应电流以在阴极表面形成阴极电弧,从而使涂层材料在阴极表面腐蚀或蒸发,从而将阴极的涂层材料沉积在基底表面 112 上。

[0045] 在一个非限制性实例中,等离子体沉积工艺包括等离子体气相沉积工艺。涂层 150 的非限制性实例包括金属层、粘接层和热障层,对此下文将参照第 5,626,462 号美国专利进行更详细地描述。对于特定热气通道部件 100,涂层 150 包括超耐热合金。例如,其中基底 110 的第一材料为含有 γ 和 γ' 相的镍基超耐热合金,涂层 150 可包括此类相同材料,对此下文将参照第 5,626,462 号美国专利进行更详细地描述。

[0046] 在其他工艺构造中,涂层 150 可通过使用热喷涂工艺而设置于基底 110 的表面 112 的至少一部分上。例如,热喷涂工艺可包括高速氧燃料喷涂 (HVOF) 或高速空气燃料喷涂 (HVOF)。在一个非限制性实例中, NiCrAlY 涂层可通过 HVOF 或 HVOF 进行沉积。在其他实例工艺构造中,还可采用低压等离子体喷涂 (LPPS) 工艺。

[0047] 一般而言,如第 5,626,462 号美国专利所述,用于形成涂层 150 的第二材料包括任意合适的材料。在涡轮机部件 100 已冷却的情况下,第二材料必须能够承受约 1150°C 的温度,同时 TBC 可承受约 1320°C。涂层 150 必须适合基底 110 的翼形外表面 112,并适应于与所述翼形外表面 112 粘接。当涂层 150 沉积于基底 110 上时,即可形成所述粘接。所述粘接在沉积期间会受到多种参数的影响,包括沉积方法、沉积期间基底 110 的温度、沉积表面是否相对于沉积源偏斜以及其他参数。粘接还会受到后续热处理或其他处理的影响。此外,沉积前基底 110 的表面形态、化学性质和清洁度可影响发生冶金粘接的程度。如本专利申请文件所述,除了在涂层 150 与基底 110 之间形成牢固的冶金粘接外,还需要使所述粘接在一定时间内和较高温度下相对于相变和扩散保持稳定。通过相容,优选此类元件之间的粘接在热力学方面保持稳定,这样粘接的强度和延性就不会随时间(例如,长达 3 年)的变化通过扩散或其他过程而显著减弱,即使将镍基合金机翼支撑壁 40 和镍基机翼表层 43 暴露在近似 1150°C 的高温下,或者在使用高温材料(例如,铌基合金)的情况下,将其暴露在近似 1300°C 的高温下,也不会减弱粘接的强度和延性。

[0048] 如第 5,626,462 号美国专利所述,其中基底 110 的第一材料为含有 γ 和 γ' 相的镍基超耐热合金或镍铝金属间合金,涂层 150 的第二材料可包括此类相同材料。在实际应用中,例如运行环境的最高温度类似于现有发动机的最高温度(例如低于 1650°C),涂层 150 材料和基底 110 材料的此类组合是首选。在基底 110 的第一材料为铌基合金的情况下,

涂层 150 的第二材料还可包括铌基合金,包括同一铌基合金。

[0049] 如第 5,626,462 号美国专利所述,在其他应用中,例如强行规定温度、环境或其他限制而使金属合金涂层 150 的使用不够理想的应用,涂层 150 最好包括性质优越于单个金属合金性质的材料,例如采用金属间化合物 (I_s)/金属合金 (M) 相复合物和金属间化合物 (I_s)/金属间化合物 (I_M) 相复合物的一般形式的复合物。金属合金 M 可与机翼支撑壁 40 所使用的合金相同或不同,具体取决于机翼的要求。一般而言,此类复合材料是类似的,因为此类材料将具有相对较多延性相的 M 或 (I_M 与具有相对较少延性相 I_s 结合,从而创造出兼具两种材料优点的涂层 150。此外,要成功地进行复合,两种材料必须相容。关于复合物,本专利申请文件所用术语相容是指材料必须能够构成其相所需的初始分布,并能在 1150°C 或更高温度下在上述长时期内保持所述分布,而无需进行实质上削弱复合物的强度、延性、韧度和其他重要性质的冶金反应。所述相容还可就相稳定性进行解释。即,复合物的分相在以一定温度长时期运行期间必须具有稳定性,这样,这些相就可保持分离并保留各自性质,从而保留其独特性和性质,而不会因扩散而成为单相或多个不同相。相容还可就 I_s/M 或 I_s/I_M 复合层之间的相间边界界面的形态稳定性进行解释。此种不稳定性可通过卷积展现,所述卷积会影响各层之间的连接性。还应注意的是,在给定的涂层 150 中,还可使用多种 I_s/M 或 I_s/I_M 复合物,并且此类复合物不限于两种材料或两相组合物。此类组合物的使用仅为说明性的,其不对可能的组合物进行彻底说明或限制。因此, $M/I_M/I_s/M/I_{s1}/I_{s2}$ (其中 I_{s1} 和 I_{s2} 为不同材料) 以及其他组合物均有可能。

[0050] 如第 5,626,462 号美国专利所述,其中基底 110 包括镍基超耐热合金,所述镍基超耐热合金包括 γ 相和 γ' 相的混合物, I_s 可包括 $Ni_3[Ti, Ta, Nb, V]$ 、 $NiAl$ 、 Cr_3Si 、 $[Cr, Mo]_xSi$ 、 $[Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V]C$ 、 Cr_3C_2 以及 Cr_7C_3 金属间化合物和中间相,且 M 可包括镍基超耐热合金,所述镍基超耐热合金包括 γ 相和 γ' 相的混合物。在包括 γ 相和 γ' 相的混合物的镍基超耐热合金中,元素 Co 、 Cr 、 Al 、 C 和 B 几乎总是作为合金成分, Ti 、 Ta 、 Nb 、 V 、 W 、 Mo 、 Re 、 Hf 和 Zr 的不同组合也可作为合金成分。由此,所述示例性 I_s 材料的成分与通常在镍基超耐热合金中找到的可用作第一材料 (以形成基底 110) 的一种或多种材料相同,因此,可适用于实现本专利申请文件中所述的相和扩散稳定性。在一项附加实例中,在第一材料 (基底 110) 包括镍铝金属间合金的情况下, I_s 可包括 $Ni_3[Ti, Ta, Nb, V]$ 、 $NiAl$ 、 Cr_3Si 、 $[Cr, Mo]_xSi$ 、 $[Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V]C$ 、 Cr_3C_2 和 Cr_7C_3 金属间化合物和中间相,且 I_M 可包括 Ni_3Al 金属间合金。同样,在镍铝金属间合金中, Co 、 Cr 、 C 和 B 中的一种或多种元素几乎总是作为合金成分, Ti 、 Ta 、 Nb 、 V 、 W 、 Mo 、 Re 、 Hf 和 Zr 的不同组合也可作为合金成分。由此,所述示例性 I_s 材料的成分与通常在镍基超耐热合金中找到的可用作第一材料的一种或多种材料相同,因此,可适用于实现本专利申请文件中所述的相和扩散稳定性。

[0051] 如第 5,626,462 号美国专利所述,其中基底 110 包括铌基合金,所述铌基合金包括含有至少一个次生相的铌基合金, I_s 可包括含铌金属间化合物、含铌碳化物或含铌硼化物,且 M 可包括铌基合金。优选此类 I_s/M 复合物包括含钛铌基合金的 M 相,这样,该合金的 Ti 与 Nb 的原子比 (Ti/Nb) 会在 0.2 至 1 的范围内,并且包括 I_s 相,其包括由铌基硅化物、 $Cr_2[Nb, Ti, Hf]$ 和铌基铝化物组成的群组,其中在 Nb 、 Ti 和 Hf 中,根据原子数, Nb 是 $Cr_2[Nb, Ti, Hf]$ 的主要成分。这些化合物均含有 Nb 作为共有成分,因此可适用于实现第 5,626,462 号美国专利中所述的相和扩散稳定性。

[0052] 应用此类材料的涂层具有足够的粒子尺寸、强度、粘附力（粘接度），以填补凹形槽 132 的开口间隙 136，其中极少量的涂层材料会沉积在槽内。但通常，一些涂层材料也会略低于外表面填充所述开口，例如，如图 7 所示。该跨隙效应之前已在等离子体气相沉积（PVD）TBC 涂层中出现，其中所述涂层沉积在小型开口槽上。有利的是，使用当前的凹形微通道技术以及热喷涂涂层可聚结大得多的颗粒，所述颗粒可填补较大间隙 136。

[0053] 除了涂层系统 150 外，槽 132（或如果涂层 150 的第一（内）层不太具有抗氧化性，则微通道 130）的内表面可进一步改进以提高其抗氧化性和 / 或抗热腐蚀性。用于将抗氧化涂层（未明确图示）施加到槽 132（或微通道 130）内表面的合适技术包括通过蒸发、溅射、等离子体沉积、热喷涂和 / 或冷喷涂进行的汽相或浆体渗铬技术、汽相或浆体渗铝技术或者覆盖沉积技术。实例抗氧化覆盖涂层包括 MCrAlY 族（ $M = \{Ni, Co, Fe\}$ ）中的材料，以及从 NiAlX 族（ $X = \{Cr, Hf, Zr, Y, La, Si, Pt, Pd\}$ ）中选出的材料。

[0054] 现参考图 3 至图 5，凹形槽 132 可使用多种技术形成。例如，凹形槽 132 可通过以下技术中的一种或多种技术形成：磨蚀性液体射流、倾入式电解加工（ECM）、具有旋式单点电极的电火花加工（EDM）（“铣削式”EDM）和激光加工（激光打孔）。实例激光加工技术在共同转让的 2010 年 1 月 29 日申请的题为“用于形成定形气孔的工艺和系统（Process and system for forming shaped air holes）”的第 12/697,005 号美国专利申请案中进行了描述，所述申请案的全文以引用的方式并入本专利申请文件中。实例 EDM 技术在共同转让的 2010 年 5 月 28 日申请的题为“包括锯齿形薄膜冷却孔的部件和相关工艺（Articles which include chevron film cooling holes, and related processes）”的第 12/790,675 号美国专利申请案中进行了描述，所述申请案的全文以引用的方式并入本专利申请文件中。

[0055] 如图 3 至图 5 中的示意图所示，在特定工艺构造中，通过在基底 110 的表面 112 上引导磨蚀性液体射流 160 来形成凹形槽 132。3-5 也可使用针对射流 160 的其他工具路径构造。例如，射流 160 可根据弯曲的工具路径沿着径向射线（图 5）进行清扫，再沿着通道纵向移动。这样，即可形成相对较窄的槽开口 136（槽的顶部）。要清扫射流 160，可使用多轴数控（NC）工具路径功能来控制射流 160 的枢轴点，以确保槽开口 136 较窄。通道的深度由清扫速度以及一定射流压力下射流沿着通道行进的速度决定。在第 12/790,675 号美国专利申请案中，提供了水射流打孔工艺和系统的一个实例。如第 12/790,675 号美国专利申请案所述，水射流工艺通常使用悬浮在高压水流中的高速磨蚀性粒子流（例如磨蚀性“砂粒”）。水的压力变化较大，但通常会在约 5000 至 90000psi 范围内变动。多种磨料均可以使用，例如石榴石、氧化铝、碳化硅和玻璃珠。有利的是，水射流工艺不涉及将基底 110 加热到任何程度。因此，在基底表面 112 上不会形成任何“受热区域”，否则会对凹形槽 132 所需的出口形状产生不利影响。

[0056] 此外，如第 12/790,675 号美国专利申请案所述，水射流系统可包括一个多轴计算机数控（CNC）单元。所述 CNC 系统为现有技术已知，并在例如第 2005/0013926 号美国专利公开案（S·鲁科斯基（S. Rutkowski）等人）中进行了描述，所述专利公开案以引用的方式并入本专利申请文件中。CNC 系统可使切削工具沿着多个 X、Y 和 Z 轴以及旋转轴移动。

[0057] 如图所示，例如在图 3 和图 4 中，在特定工艺构造中，可通过引导磨蚀性液体射流 160 形成凹形槽 132，其中所述磨蚀性液体射流 160 相对于基底 110 的表面 112 呈侧角进行第一次流动，并随后以实质上与侧角相对的角进行后续流动。图 3 图示用磨蚀性液体射

流得到的实例切口,其中所述磨蚀性液体射流相对于基底 110 的表面 112 的表面法线成一个示例性侧角 ϕ 。在特定构造中,凹形槽 132 中一个相应凹形槽的槽壁 138(例如,见图 7)相对于表面法线 52 成角 ϕ ,所述角在约 10 至 89 度的范围内,具体而言,与所述表面法线 52 成一个在约 20 至 70 度范围内的角 ϕ ,再确切地说,相对于所述表面法线 52 成一个在约 20 至 45 度范围内的角 ϕ 。尽管槽壁 138 在图 7 中显示为直壁,但槽壁 138 也可曲壁。在槽壁 138 为曲壁的情况下,角 ϕ 应理解为对曲壁的平均角。类似地,图 4 图示磨蚀性液体射流以一定的角得到的示例性切口,其中所述角实质上与图 3 所示的侧角相对(即, $90^\circ - \phi \pm 10^\circ$,其中相对于表面法线 52 构成侧角 ϕ ,如图 3 所示,且其中,相对于所述表面 112 构成所述对角,如图 4)。此外,如图 5 所示,形成凹形槽 132 的步骤可进一步包括进行其他流动,其中磨蚀性液体射流 160 以介于侧角与实质上的相对角之间的一种或多种角度流向槽 132 的底部 134,从而将材料从槽 132 的底部 134 清除。

[0058] 为了促进涂层 150 沉积于槽 132 上方而不让涂层填充槽 132,需要使槽 132 的底部 134 大于槽的顶部 136。这样,还可形成足够大的微通道 130 以满足部件 100 的冷却需要。在特定构造中,凹形槽 132 中相应一个凹形槽的底部 134 的宽度至少是该相应凹形槽 132 的顶部 136 的两倍。例如,在该构造中,如果凹形槽 132 的底部 134 的宽度为 0.75 毫米,则顶部 136 的宽度应小于 0.375 毫米。在更多特定构造中,相应凹形槽 132 的底部 134 的宽度至少是该凹形槽 132 的顶部 136 的 3 倍,具体而言,相应凹形槽 132 的底部 134 的宽度约为该凹形槽 132 的顶部 136 的 3 至 4 倍。有利的是,较大的底部与顶部比会增加微通道 130 的总冷却量,同时可促进涂层 150 沉积于槽 132 上方而不让涂层 150 填充槽 132。

[0059] 有利的是,通过形成凹形槽 132,就不必使用牺牲型填充材料(未显示)以将涂层 150 施加到基底 110。这样就不需要进行填充过程,也不需要进行更为困难的清除过程。通过形成开口(顶部)136 较窄的凹形槽,例如开口 136 的宽度在约 10 至 12 毫米的范围内,开口 136 可在不使用牺牲型填充材料的情况下由涂层 150 填补,这样就可省略传统通道形成技术中的两个主要处理步骤(填充和溶滤)。在图 7 所示的实例构造中,涂层 150 会完全填补相应槽 132,这样涂层 150 便密封相应微通道 130。图 11 所示为另一种布置,其中涂层 150 设有一个或多个孔隙 144(例如涂层 150 中的孔或涂层中的间隙),这样涂层 150 便不会完全填补相应槽 132 中的每个槽。尽管图 11 以示意图方式描绘了形状一致且规则的间隙 144,但由于施加涂层 150 时会累积一定厚度,由于间隙 144 的宽度会发生变化,间隙 144 的形状通常并不规则。起初,由于涂层 150 的第一部分会施加到基底 110,间隙 114 的宽度可达微通道 130 顶部 136 的宽度的 50%。随后,随着涂层 150 累积,间隙 144 的宽度逐渐减小至顶部 136 的宽度的 5%或以下。在特定实例中,间隙 144 的宽度在最窄时为相应微通道顶部 136 的宽度的 5%至 20%。此外,间隙 144 可为孔式,在此情况下,“孔”隙 144 可能会有一些连接,即一些点或位置无间隙。有利的是,间隙 144 可消除涂层 150 的应力。

[0060] 参考图 2 和图 6 至图 9 描述部件 100。如图所示,例如在图 2 中,部件 100 包括基底 110,所述基底具有外表面 112 和内表面 116。如图所示,例如在图 2 中,基底 110 的内表面 116 设有至少一个内部空腔 114。如图所示,例如在图 2、图 6 和图 8 中,基底 110 的外表面 112 设有多个槽 132。如图所示,例如在图 6、图 8 和图 9 中,每个槽 132 均至少部分沿着基底 110 的表面 112 进行延伸并设有底部 134 和顶部 136。如图所示,例如在图 6 中,相应槽 132 的底部 134 宽于相应槽 132 的顶部 136,因此,每个槽 132 均包括凹形槽 132。例如,

如图 6 所示,入孔 140 穿过槽 132 的相应底部 134,从而在槽 132 与内部空腔 114 之间形成流体连通。如上所述,入孔 140 可垂直于相应槽 132(如图 6 所示)的底部 134,或钻孔形成的角可相对于槽 132 的底部 134 在 20 度到 90 度的范围内。

[0061] 例如,如图 6 所示,部件 100 进一步包括至少一个涂层 150,所述涂层 150 设置于基底 110 的表面 112 的至少一部分上,其中槽 132 和涂层 150 构成用于冷却部件 100 的多个凹形通道 130。在图 8 和图 9 中所示的实例构造中,微通道 130 将冷却剂从相应入孔 140 传送到薄膜出孔 142。微通道长度的实例范围已在上文中提供。如上所述,微通道 130 可应用于部件(机翼主体、前缘、后缘、叶尖、端壁、平台)表面上的任意位置。此外,尽管所示微通道具有直壁,但通道 130 可具有任何构造,例如,这些通道可为直的、弯曲的或具有多种曲线等。实例涂层也已在上文中提供。在图 2、图 8 和图 9 所示的实例布置中,涂层 150 沿着基底 110 的翼形外表面 112 纵向延伸。涂层 150 与翼形外表面 112 贴合,并覆盖槽 132 从而形成微通道 130。涂层 150 包括第二材料,其中所述第二材料可为任意合适的材料,并与基底 110 的翼形外表面 112 粘接。涂层 150 的实例厚度范围也已上文中提供。涂层 150 的非限制性实例包括金属层、粘接层和热障层。

[0062] 如上所述,需要槽 132 的底部 134 显著大于槽的顶部 136,以将涂层 150 沉积在槽 132 上而不会使涂层填充槽 132。这进一步可形成足够大的微通道 130 以满足部件 100 的冷却需要。在特定构造中,凹形槽 132 中相应一个凹形槽底部 134 的宽度至少是该相应凹形槽 132 的顶部 136 的两倍。具体而言,相应凹形槽 132 底部 134 的宽度是该相应凹形槽 132 顶部 136 的约 3 至 4 倍。

[0063] 类似地,在特定构造中,凹形槽 132 中相应一个凹形槽的槽壁 138(例如,见图 7)相对于表面法线 52 成角 ϕ (例如,见图 3),所述角在约 10 至 89 度的范围内。具体而言,凹形槽 132 中相应一个凹形槽的槽壁 138 相对于表面法线 52 成角 ϕ ,所述角在约 20 至 45 度的范围内。如之前所述,槽壁 138 可为直壁(例如,如图 7 所示),也可为曲壁(未显示)。在曲壁 138 中,角 ϕ 应理解为对曲壁 138 的平均角 ϕ 。在部件 100 的某些构造中,涂层 150 完全填补相应槽 132(例如,如图 7 所示),这样涂层 150 便密封相应微通道 130。在部件 100 的其他特定构造中,涂层 150 设有一个或多个孔隙 144(如图 11 所示),这样涂层 150 便不会完全填补相应槽 132 中的每个槽。有利的是,该孔隙 144 可消除涂层 150 的应力。

[0064] 参考图 2 至图 9 和图 11 描述了一种在不使用牺牲型填充材料的情况下为部件 100 涂层的方法。如图所示,例如在图 3 至图 6 中,所述方法包括在基底 110 的表面 112 中形成多个槽 132。尽管图 3 至图 6 图示形成凹形槽 132,但在其他构造(未明确图示)中,槽可以是简易槽(即,顶部 136 的宽度近似等于底部)。如图所示,例如在图 2 和图 6 中,基底 110 具有至少一个内部空腔 114。如图所示,例如在图 8 中,每个槽 132 至少部分沿着基底 110 的表面 112 延伸。为了在不使用牺牲型填充材料的情况下施加涂层 150,顶部 136 的宽度通常为约 0.1mm 至 0.5mm,具体而言,约为 0.2mm 至 0.35mm。

[0065] 如图 10 所示,在倾斜沉积的情况下,所述在不使用牺牲型填充材料的情况下为部件 100 涂层的方法包括将涂层 150 沉积于基底 110 的表面 112 的至少一部分上位于槽 132 中开口的正上方。本文所使用的术语“开口”是指槽 132 为空槽,即这些槽未填充牺牲型填充材料。如图 6 所示,在凹形槽中,槽 132 和涂层 150 构成用于冷却部件 100 的多个凹形通

道 130。尽管这些简易槽（即，顶部 136 宽度近似等于底部宽度的槽）与凹形槽相比，在冷却部件方面效率较低，但简易槽仍有利于在不使用填充材料的情况下进行涂层和溶滤。

[0066] 如上所述，通常在对基底 110 进行浇铸后，才在基底 110 的表面 112 中形成槽 132。如上文参考图 6 所述，所述方法进一步可选地包括形成多个入孔 140。每个入孔 140 均形成穿过槽 132 中相应一个槽的底部 134，从而以流体连接方式将槽 132 与内部空腔 114 中的相应各空腔连接。具体而言，涂层 150 包括金属层、粘接层和热障层中的至少一种。如上所述，合适的涂层沉积技术包括使用等离子体沉积技术、高速氧燃料喷涂（HVOF）工艺、高速空气燃料喷涂（HVOF）工艺或低压等离子体喷涂（LPPS）工艺。

[0067] 如上文参考图 7 所述，在某些工艺构造中，涂层 150 完全填补相应槽 132，这样涂层 150 便密封相应通道 130。如上文参考图 11 所述，在其他工艺构造中，涂层 150 设有一个或多个孔隙 144，这样涂层 150 便不会完全填补相应槽 132 中的每个槽。有利的是，此多孔构造可消除涂层的应力。

[0068] 凹形槽 132 无需使用牺牲型填充材料（未显示），也无需进行后续清除过程。有利的是，省去这两个处理步骤可以减少制造差异、所含缺陷和人为错误。此外，凹形通道 130 还使得无需进行填充和溶滤即可修复部件 100。

[0069] 此外，上述凹形槽 132 可与倾斜式涂层沉积技术结合使用，所述技术在共同转让并同时申请的罗纳德 S·班克（Ronald S. Bunker）等人的题为“部件及其制造和涂层方法（Component and methods of fabricating and coating a component）”的第 247894-1 号美国专利申请案中提供，所述申请案的全文以引用的方式并入本专利申请文件中。简而言之，班克（Bunker）等人提供了一种为部件 100 涂层的方法，所述方法包括将涂层 150 沉积于基底 110 的表面 112 的至少一部分上。如图所示，例如在图 10 中，所述涂层 150 包括一个或多个层 50，且所述层 50 中至少一层以相对于基底 110 的表面法线 52 成角 ϕ 进行沉积，所述角在约 20 至 80 度的范围内，确切地说，在约 50 至 70 度的范围内。有利的是，通过以显著的沉积角来施加涂层，所述涂层可填补槽 132 而无需进行填充或部分填充。

[0070] 尽管在本专利申请文件中仅图示并描绘了本发明的某些特征，但所属领域的技术人员可对本发明进行多种修改和变化。因此，应理解，所附权利要求书意图包括本发明精神范围内的所有此类修改和变化。

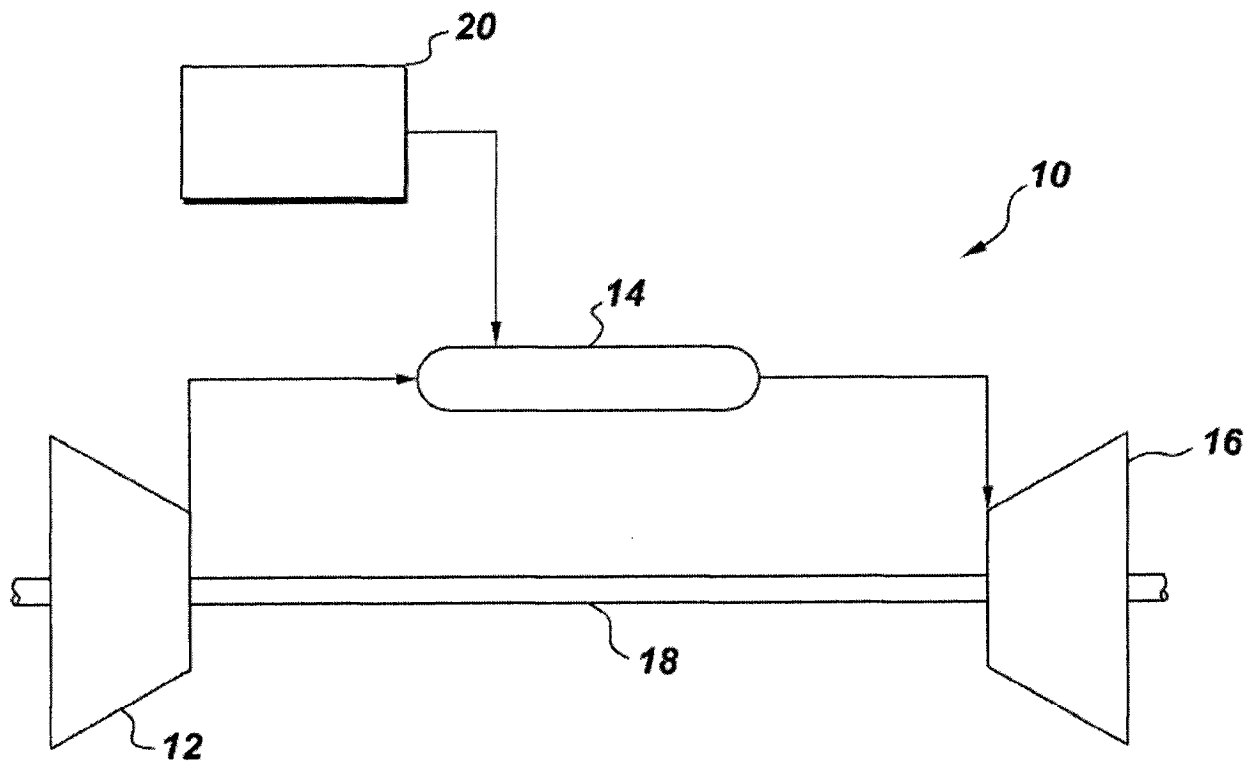


图 1

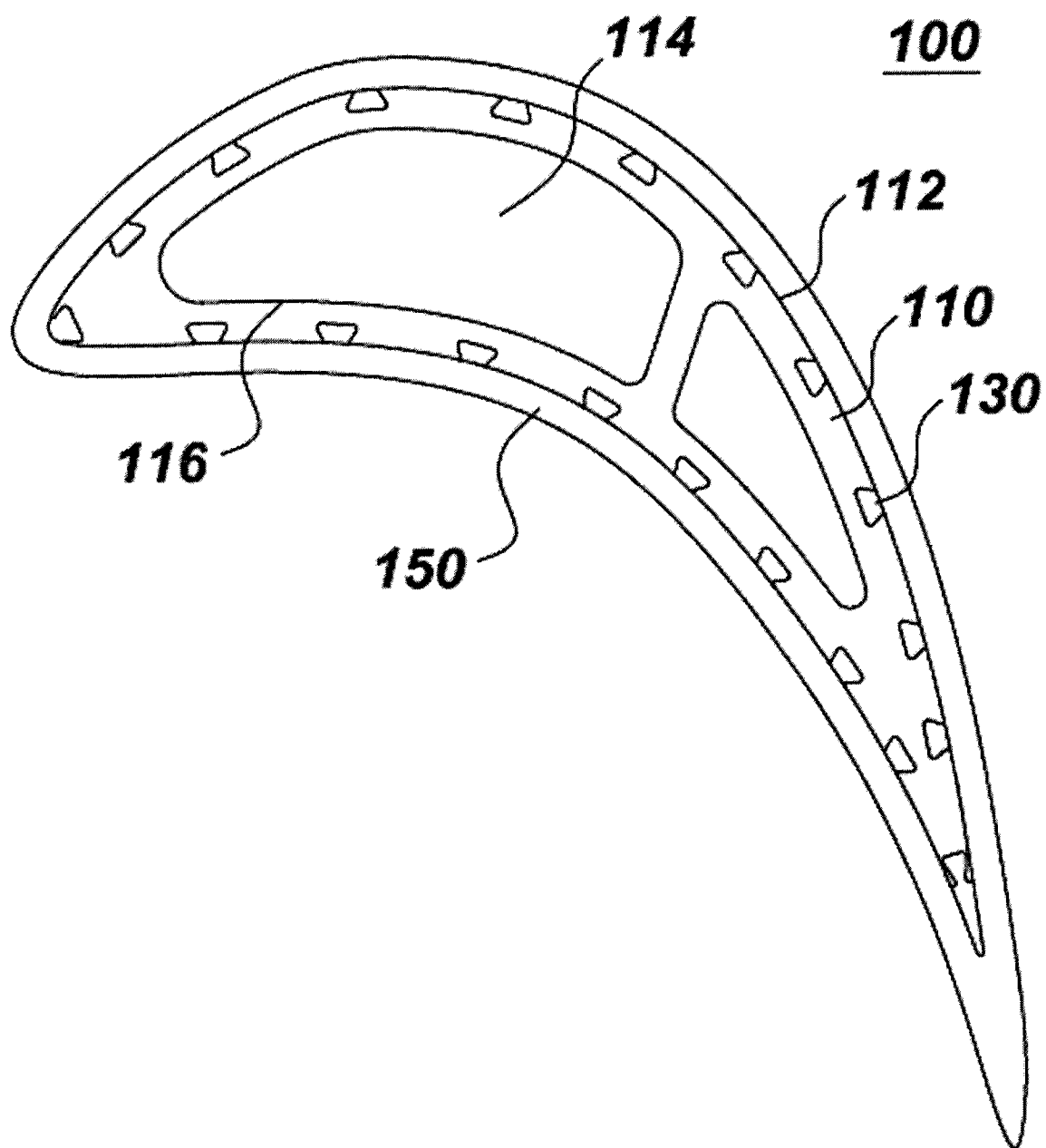


图 2

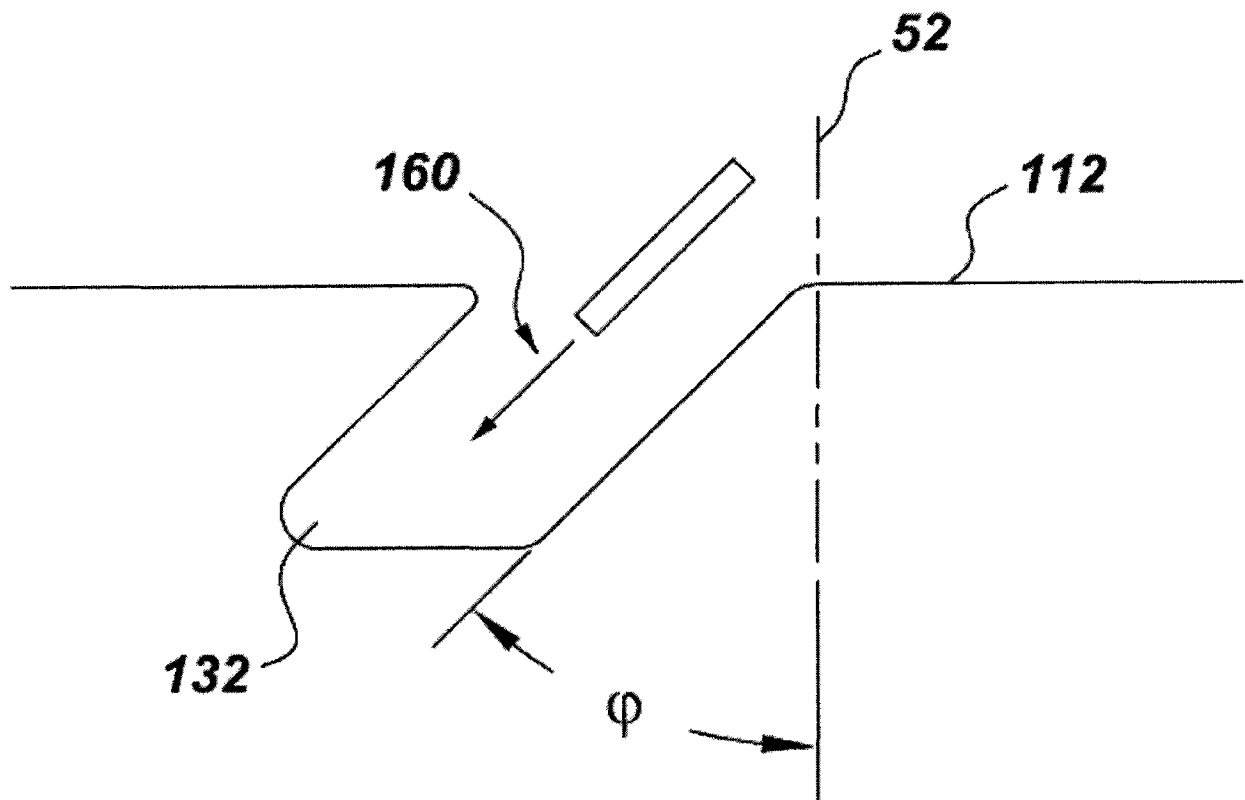


图 3

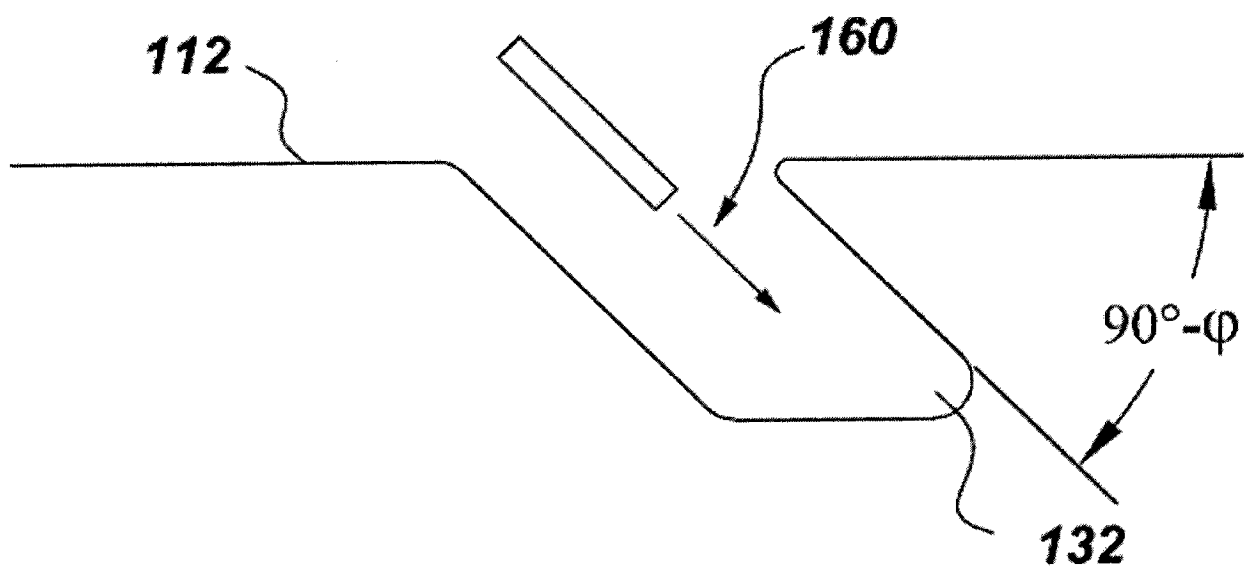


图 4

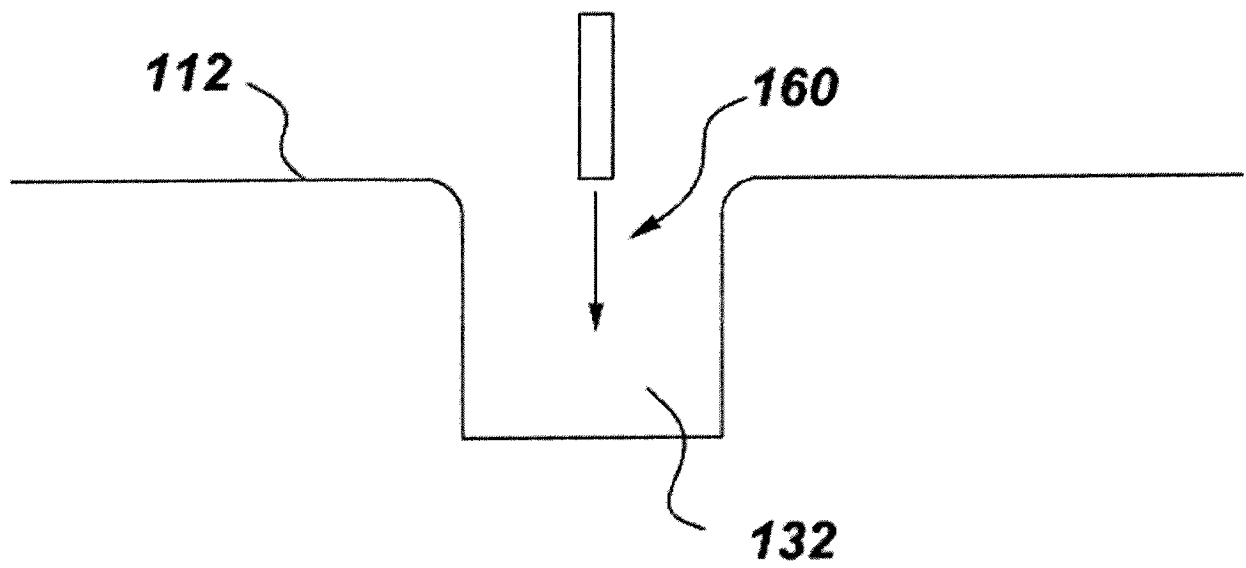


图 5

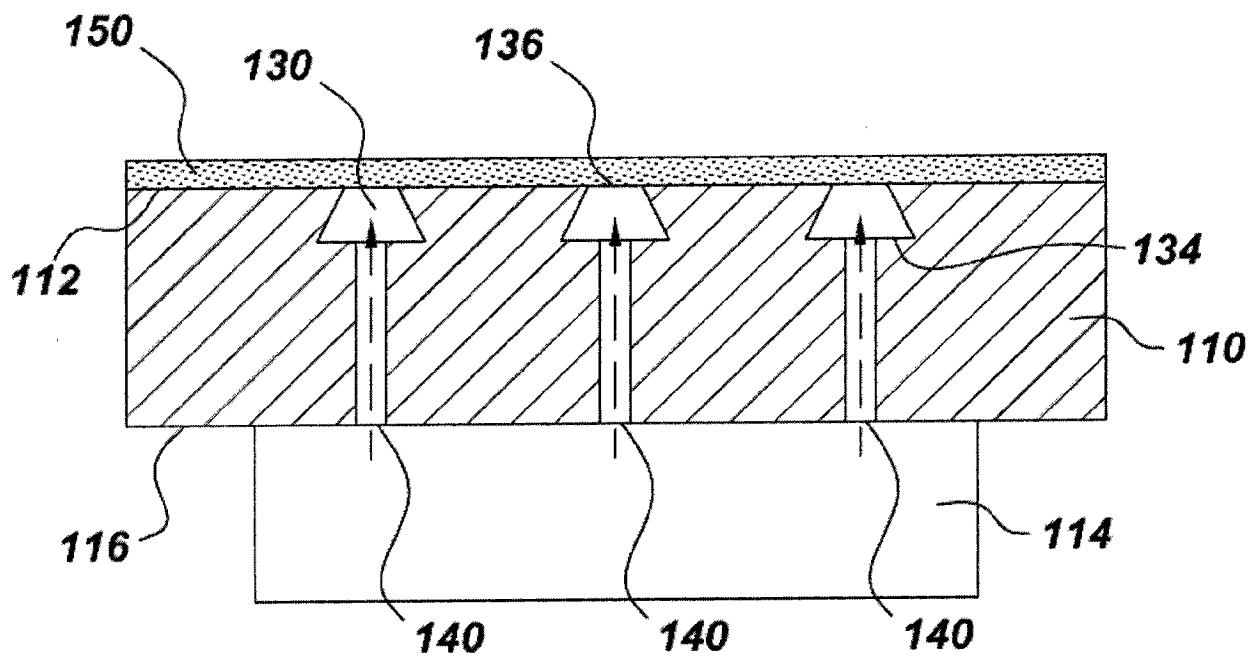


图 6

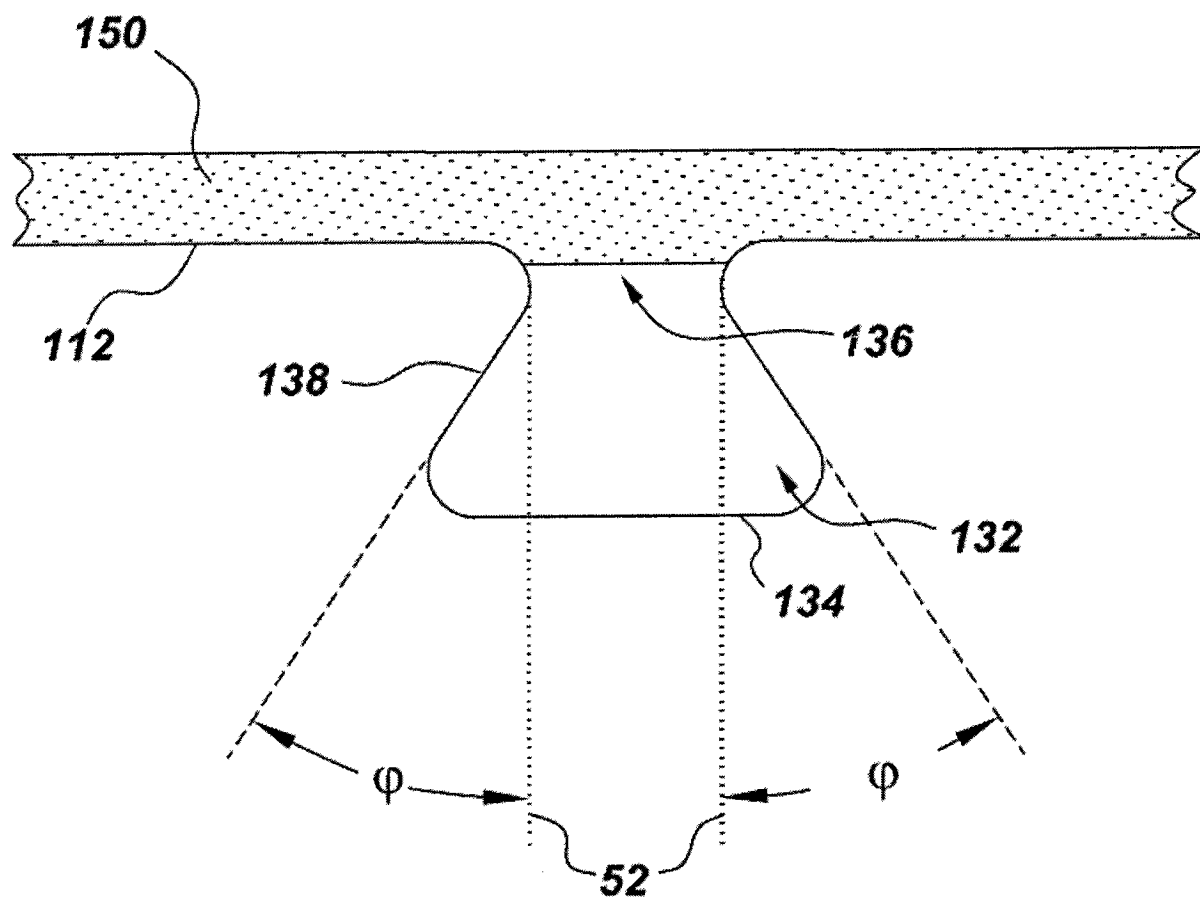


图 7

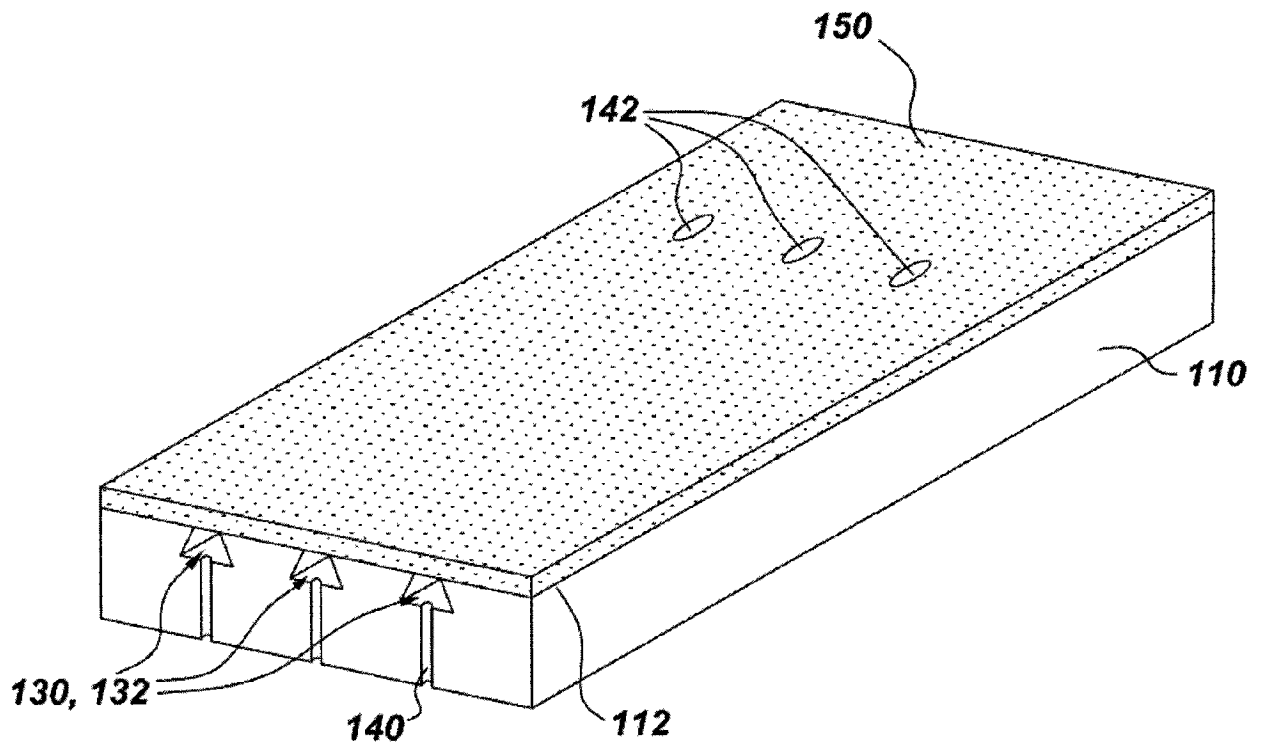


图 8

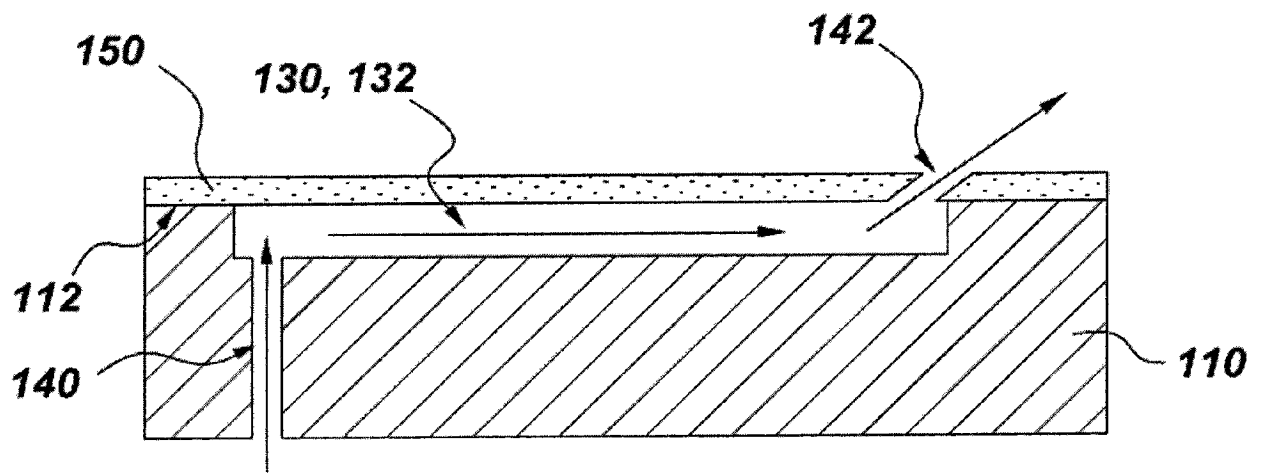


图 9

