



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102562305 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 11

(21) 申请号 201110371829. 9

(22) 申请日 2011. 11. 10

(30) 优先权数据

12/943646 2010. 11. 10 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 R·S·班克 D·M·格雷

D·M·利普金

(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 谭祐祥

(51) Int. Cl.

F02C 7/00(2006. 01)

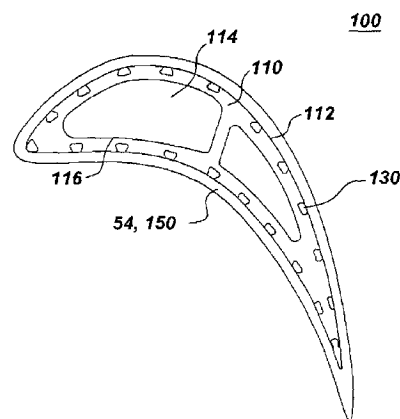
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 5 页

(54) 发明名称

构件以及制造和涂覆构件的方法

(57) 摘要

本发明涉及构件以及制造和涂覆构件的方法。公开了一种构件。该构件包括衬底,衬底包括外表面和内表面,其中,内表面限定至少一个中空内部空间,其中,外表面限定一个或多个凹槽,且其中,该一个或多个凹槽中的各个至少部分地沿着衬底的表面延伸且具有基部。一个或多个进入孔延伸通过相应的凹槽的基部,以将凹槽布置成与该至少一个中空内部空间中的相应的内部空间流体连通。该构件进一步包括设置在衬底表面的至少一部分上面的涂层,其中,涂层包括一个或多个层。层中的至少一个限定一个或多个可透过的槽口,使得相应的层不完全桥接该一个或多个凹槽中的各个。凹槽和涂层共同限定用于冷却该构件的一个或多个通路。还提供了用于制造和涂覆构件的方法。



1. 一种构件 (100), 包括:

包括外表面 (112) 和内表面 (116) 的衬底 (110), 其中, 所述内表面 (116) 限定至少一个中空内部空间 (114), 其中, 所述外表面 (112) 限定一个或多个凹槽 (132), 其中, 所述一个或多个凹槽 (132) 中的各个至少部分地沿着所述衬底 (110) 的所述表面 (112) 延伸且具有基部 (134), 其中, 一个或多个进入孔 (140) 延伸通过所述一个或多个凹槽 (132) 中的相应的一个的所述基部 (134), 以将所述凹槽 (132) 布置成与所述至少一个中空内部空间 (114) 中的相应的中空内部空间流体连通; 以及

设置在所述衬底 (110) 的所述表面 (112) 的至少一部分上面的涂层 (150), 其中, 所述涂层 (150) 包括一个或多个层 (50), 其中, 所述层 (50) 中的至少一个限定一个或多个可透过的槽口 (144), 使得相应的所述层 (50) 不完全桥接所述一个或多个凹槽 (132) 中的各个, 以及其中, 所述凹槽 (132) 和所述涂层 (150) 共同限定用于冷却所述构件 (100) 的一个或多个通路 (130)。

2. 根据权利要求 1 所述的构件 (100), 其特征在于, 所述可透过的槽口 (144) 中的各个相对于所述衬底 (110) 的表面法线 (52) 以角度 γ 倾斜, 以及其中, 所述角度 γ 相对于所述衬底 (110) 的所述表面法线 (52) 处于大约 25 度 -70 度的范围中。

3. 根据权利要求 1 所述的构件 (100), 其特征在于, 所述可透过的槽口 (144) 定向成大致垂直于所述衬底 (110)。

4. 根据权利要求 1 所述的构件 (100), 其特征在于, 所述涂层 (150) 包括两个或更多个层 (50), 以及其中, 所述层中的后来淀积的层 (56) 不完全桥接形成于较早淀积的层 (54) 中的所述可透过的槽口 (144), 使得所述可透过的槽口 (144) 延伸通过所述后来淀积的层 (56)。

5. 根据权利要求 1 所述的构件 (100), 其特征在于, 所述涂层 (150) 包括两个或更多个层 (50), 以及其中, 所述层中的后来淀积的层 (56) 桥接形成于较早淀积的层 (54) 中的所述可透过的槽口 (144), 从而基本密封所述可透过的槽口 (144)。

6. 根据权利要求 1 所述的构件 (100), 其特征在于, 所述可透过的槽口 (144) 构造成将冷却剂流体从相应的所述一个或多个通路 (130) 传输到所述构件的外表面, 其中, 所述涂层 (150) 包括结构涂层、结合涂层、抗氧化涂层和隔热涂层中的至少一个, 以及其中, 所述一个或多个凹槽 (132) 中的各个具有顶部 (136), 其中, 所述基部 (134) 比所述顶部 (136) 更宽, 使得所述一个或多个凹槽 (132) 中的各个包括凹角形凹槽 (132)。

7. 一种制造构件 (100) 的方法, 所述方法包括:

在衬底 (110) 的表面 (112) 中形成一个或多个凹槽 (132), 其中, 所述衬底 (110) 具有至少一个中空内部空间 (114), 其中, 所述一个或多个凹槽 (132) 中的各个至少部分地沿着所述衬底 (110) 的所述表面 (112) 延伸且具有基部 (134);

形成通过所述一个或多个凹槽 (132) 中的相应的一个的所述基部 (134) 的一个或多个进入孔 (140), 以将所述凹槽 (132) 连接成与所述至少一个中空内部空间 (114) 中的相应的中空内部空间流体连通; 以及

将涂层 (150) 淀积在所述衬底 (110) 的所述表面 (112) 的至少一部分上面, 使得所述一个或多个凹槽 (132) 和所述涂层 (150) 共同限定用于冷却所述构件 (100) 的一个或多个通路 (130), 以及其中, 当所述涂层 (150) 淀积在所述一个或多个凹槽 (132) 上面时, 所述一

个或多个凹槽 (132) 未被填充。

8. 根据权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 所述涂层 (150) 包括一个或多个层 (50), 以及其中, 所述层 (50) 中的至少一个限定一个或多个可透过的槽口 (144), 使得相应的所述层 (50) 不完全桥接所述一个或多个凹槽 (132) 中的各个。

9. 根据权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 所述方法进一步包括在淀积所述涂层 (150) 时使所述衬底 (110) 绕着至少一个轴线旋转, 使得所述涂层 (150) 以持续变化的角度淀积。

10. 根据权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 所述一个或多个凹槽 (132) 中的各个具有顶部 (136), 其中, 所述基部 (134) 比所述顶部 (136) 更宽, 使得所述一个或多个凹槽 (132) 中的各个包括凹角形凹槽 (132), 以及其中, 使用磨料液体射流、插入式电化学加工 (ECM)、具有旋转电极的放电加工 (EDM) (铣削 EDM) 和激光加工 (激光打孔) 中的一个或多个来形成所述一个或多个凹角形凹槽 (132)。

构件以及制造和涂覆构件的方法

技术领域

[0001] 本发明大体涉及燃气轮机发动机,并且更具体而言,涉及其中的微通路冷却。

背景技术

[0002] 在燃气轮机发动机中,空气在压缩机中加压,并且在燃烧器中与燃料混合,以产生热的燃烧气体。在高压涡轮(HPT)(其对压缩机提供动力)中以及在低压涡轮(LPT)(其对涡轮风扇航空器发动机应用中的风扇提供动力,或对用于航海应用和工业应用的外部轴提供动力)中从气体中提取能量。

[0003] 发动机效率随着燃烧气体的温度(的升高)而升高。但是,燃烧气体会沿着它们的流径而加热各种构件,这又需要冷却这些构件,以实现长的发动机寿命。典型地,通过从压缩机中放出空气来冷却热气路径构件。这个冷却过程会降低发动机效率,因为放出的空气未在燃烧过程中使用。

[0004] 燃气轮机发动机冷却技术是成熟的,并且包括关于各种热气路径构件中的冷却回路和特征的各种方面的许多专利。例如,燃烧器包括在运行期间需要冷却的径向外围衬套和径向内部衬套。涡轮喷嘴包括支承在外部带和内部带之间的中空导叶,它们也需要冷却。涡轮转子叶片是中空的,并且典型地在其中包括冷却回路,叶片由涡轮护罩包围,涡轮护罩也需要冷却。热的燃烧气体通过排气管排出,排气管也可带衬套的且被恰当地冷却。

[0005] 在所有这些示例性燃气轮机发动机构件中,典型地使用高强度超合金金属制成的薄的金属壁来增强耐用性,同时使它们对冷却的需要降到最低。在它们在发动机中的对应环境中,对这些单独的构件定制了各种冷却回路和特征。例如,可在热气路径构件中形成一系列的内部冷却通道或盘管。可从气室对盘管提供冷却流体,并且冷却流体可流过通道,从而冷却热气路径构件衬底和涂层。但是,这个冷却策略典型地导致有相当低的传热速率和不均匀的构件温度分布。

[0006] 微通路冷却有潜力通过这样来显著地降低冷却需求:将冷却布置成尽可能地靠近热区,从而对于给定的传热速率而降低热侧和冷侧之间的温差。但是,当前用于形成微通路的技术典型地需要使用牺牲填料来防止涂层淀积在微通路内以在淀积期间支承涂层,以及需要在涂层系统的淀积之后移除牺牲填料。但是,用短效材料来填充通路以及此后移除该材料两者都会给当前的微通路处理技术带来潜在的问题。例如,填料必须与衬底和涂层相容,又具有最小的收缩,但是还具有足够的强度。移除牺牲填料涉及溶出(leach)、侵蚀或蒸发的潜在地损害性过程,并且典型地需要长的时间。残留的填料材料也是个问题。

[0007] 因此将合乎需要的是提供用于将涂层淀积在具有凹槽的热气路径构件上以在其中形成冷却通路的这样的方法:该方法会消除对填充和移除过程的需要。另外,将合乎需要的是提供用于将涂层淀积在热气路径构件上的这样的方法:当在不使用牺牲填料的情况下淀积时,该方法会减少淀积在通路的内部或暴露的壁表面上的涂层的量。

发明内容

[0008] 本发明的一方面在于一种涂覆包括衬底的构件的方法,其中,一个或多个凹槽形成于衬底的表面中且至少部分地沿着该表面延伸。该方法包括将涂层淀积在衬底的表面的至少一部分上面,其中,涂层包括一个或多个层。层中的至少一个以包括角度 α 的一个或多个角度淀积,其中, α 相对于衬底的表面法线处于大约 10 度 -85 度的范围中。该一个或多个凹槽和涂层共同限定用于冷却构件的一个或多个通路。

[0009] 本发明的另一方面在于一种包括衬底的构件,衬底包括外表面和内表面,其中,内表面限定至少一个中空内部空间,其中,外表面限定一个或多个凹槽,以及其中,该一个或多个凹槽中的各个至少部分地沿着衬底的表面延伸且具有基部。一个或多个进入孔延伸通过该一个或多个凹槽中的相应的一个的基部,以将凹槽布置成与该至少一个中空内部空间中的相应的内部空间流体连通。该构件进一步包括设置在衬底的表面的至少一部分上面的涂层。涂层包括一个或多个层,并且层中的至少一个限定一个或多个可透过的槽口,使得相应的层不完全桥接该一个或多个凹槽中的各个。凹槽和涂层共同限定用于冷却构件的一个或多个通路。

[0010] 本发明的又一方面在于一种制造构件的方法。该方法包括在衬底的表面中形成一个或多个凹槽,其中,衬底具有至少一个中空内部空间。该一个或多个凹槽中的各个至少部分地沿着衬底表面延伸且具有基部。该方法进一步包括形成通过该一个或多个凹槽中的相应的一个的基部的一个或多个进入孔,以将凹槽连接成与该至少一个中空内部空间中的相应的内部空间流体连通。该方法进一步包括将涂层淀积在衬底的表面的至少一部分上面,使得该一个或多个凹槽和涂层共同限定用于冷却构件的一个或多个通路。当涂层淀积在该一个或多个凹槽上面时,该一个或多个凹槽未被填充。

附图说明

[0011] 当参照附图阅读以下详细描述时,本发明的这些和其它特征、方面和优点将变得更好理解,在附图中,相同符号在所有图中表示相同部件,其中:

[0012] 图 1 是燃气轮机系统的示意图;

[0013] 图 2 是根据本发明的各方面的具有涂覆层的实例翼型件构造的示意性截面,涂覆层具有相对于衬底的表面法线以角度 α 定向的微结构;

[0014] 图 3 是具有形成于衬底中的冷却通路和设置在衬底上的涂覆层的冷却回路的一部分的示意性截面,涂覆层具有相对于衬底的表面法线以角度 α 定向的微结构;

[0015] 图 4 是具有形成于衬底中的冷却通道和堆迭在衬底上的第一涂覆层和第二涂覆层的冷却回路的一部分的示意性截面,第一涂覆层和第二涂覆层具有相对于衬底的表面法线以角度 α 和 β 定向的相应的微结构;

[0016] 图 5 显示了形成于镍合金衬底中的、具有第一镍合金涂覆层的四个实例冷却通路,第一镍合金涂覆层相对于衬底的表面法线以大约 45 度的角度 α 淀积;

[0017] 图 6 显示了具有额外的第二镍合金涂覆层的图 5 的四个实例冷却通路,额外的第二镍合金涂覆层相对于衬底的表面法线以大约 45 度的角度 β 淀积;

[0018] 图 7 是具有凹角 (re-entrant) 冷却通路和堆迭在衬底上的第一涂覆层和第二涂覆层的冷却回路的一部分的示意性截面,第一涂覆层和第二涂覆层具有相对于衬底的表面法线以角度 α 和 β 定向的相应的微结构;

[0019] 图 8 以透视图示意性地描绘了部分地沿着衬底的表面延伸且将冷却剂引导到相应的膜冷却孔的三个实例微通路；

[0020] 图 9 是图 8 的实例微通路中的一个的截面图，并且显示了将来自进入孔的冷却剂传输到膜冷却孔的微通路；以及

[0021] 图 10 以截面示意性地描绘了具有涂层的凹角形凹槽，涂层在凹槽的顶部上面延伸，以形成凹角形通路。

[0022] 部件列表：

[0023] 10 燃气轮机系统

[0024] 12 压缩机

[0025] 14 燃烧器

[0026] 16 涡轮

[0027] 18 轴

[0028] 20 燃料喷嘴

[0029] 50 涂覆层（一个或多个）

[0030] 52 衬底的表面法线

[0031] 54 第一涂覆层

[0032] 56 第二涂覆层

[0033] 80 热气路径流

[0034] 100 热气路径构件

[0035] 110 衬底

[0036] 112 衬底的外表面

[0037] 114 中空内部空间

[0038] 116 衬底的内表面

[0039] 130 通路

[0040] 132 凹槽（一个或多个）

[0041] 134 凹槽的基部

[0042] 136 凹槽的顶部（开口）

[0043] 138 凹槽壁

[0044] 140 进入孔（一个或多个）

[0045] 142 膜冷却孔（一个或多个）

[0046] 144 涂层中的可透过的槽口（一个或多个）

[0047] 150 涂层（一个或多个）

具体实施方式

[0048] 用语“第一”、“第二”等在本文中不表示任何顺序、数量或重要性，而是相反，它们用来将一个元件与另一个元件区别开。用语“一个”和“一种”在本文中不表示数量的限制，而是相反，表示存在所参照的项目中的至少一个。结合数量而使用的修饰语“大约”包括所述值，并且具有上下文所规定的意思，（例如，包括与特定数量的测量结果相关联的误差度）。另外，用语“组合”包括掺合物、混合物、合金、反应产物等。

[0049] 此外,在本说明书中,后缀“(一个或多个)”通常意图包括它所修饰的项目的单数和复数,从而包括一个或多个该项目(例如,“通道孔”可包括一个或多个通道孔,除非作出其它规定)。贯穿说明书,对“一个实施例”、“另一个实施例”、“实施例”等的参照指结合该实施例所描述的特定元素(例如特征、结构和/或特性)包括在本文中描述的至少一个实施例中,并且可存在或者可不存在于其它实施例中。另外,应当理解,所描述的创造性特性可以任何适合的方式结合在各种实施例中。

[0050] 图1是燃气轮机系统10的示意图。系统10可包括一个或多个压缩机12、燃烧器14、涡轮16和燃料喷嘴20。压缩机12和涡轮16可通过一个或多个轴18联接。轴18可为单个轴或联接在一起而形成轴18的多个轴节段。

[0051] 燃气轮机系统10可包括许多热气路径构件100。热气路径构件为系统10的至少部分地暴露于通过系统10的高温气流的任何构件。例如,轮叶组件(也称为叶片或叶片组件)、喷嘴组件(也称为导叶或导叶组件)、护罩组件、过渡件、保持环和压缩机排气构件全部都是热气路径构件。但是,应当理解,本发明的热气路径构件100不限于上面的实例,而是可为至少部分地暴露于高温气流的任何构件。另外,应当理解,本公开的热气路径构件100不限于燃气轮机系统10中的构件,而是可为可暴露于高温流的任何机械零件或其构件。

[0052] 当热气路径构件100暴露于热气流80时,热气路径构件100被热气流80加热,并且可到达热气路径构件100故障时的温度。因而,为了允许系统10用处于高温的热气流80运行,从而提高系统10的效率和性能,需要用于热气路径构件100的冷却系统。

[0053] 大体上,本公开的冷却系统包括形成于热气路径构件100的表面中的一系列的小通路或微通路。热气路径构件可设有涂层。可从气室对通路提供冷却流体,并且冷却流体可流过通路,从而冷却涂层。

[0054] 参照图2-9描述了涂覆构件100的方法。如例如图3、4和7中所指示,该方法包括在衬底110中形成一个或多个凹槽132。对于示出的实例,多个凹槽132形成于衬底110中。如例如图8和9中所指示,凹槽132至少部分地沿着衬底110的表面112延伸。如例如图3和4中所指示,该方法进一步包括将涂层150淀积在衬底110的表面112的至少一部分上面。更具体而言,涂层150在衬底110的表面112的至少一部分上面直接淀积在凹槽132中的开口的(未填充的)凹槽上面。如这里所用,“开口的”指凹槽132是空的,即,它们未填充有牺牲填料。但是,对于下面描述的备选过程构造,使用了牺牲填料。

[0055] 在美国专利No. 5,640,767和美国专利No. 5,626,462中提供了实例涂层150,这两个专利通过引用而以其整体结合在本文中。如美国专利No. 5,626,426中所论述,涂层150结合到衬底110的表面112的一部分上。涂层150包括一个或多个层50。对于图3中显示的实例布置,层50中的至少一个相对于衬底110的表面法线52以大约20度-85度的范围中的角度 α 淀积。更具体而言,示出的淀积角度 α 处于大约45度-80度的范围中,并且另外更具体而言,相对于衬底110的表面法线52处于大约50度-70度的范围中。更一般而言,层(50)中的至少一个以一个或多个角度淀积。如图3中所绘制,角度 α 且类似地图4中的角度 β 相对于衬底110的表面法线52而限定。图3和4将凹槽132显示为垂直于页面的平面,即显示为横向于凹槽方向的截面。但是,还可在衬底110中形成具有不同的定向的凹槽,并且对于这样的凹槽,进行微涂覆而使得涂层淀积角度一直横向于凹槽方向是

不可行的,而是相反,涂覆角度在效果上将复合角度,相对于表面法线具有限定的角度 α 或 β ,而且相对于局部凹槽方向还具有角度(未显示)。

[0056] 如例如图 3、4、8 和 9 中所显示,凹槽 132 和涂层 150 共同限定用于冷却构件 100 的许多通路 130。虽然凹槽 132 和通路 130 在图 3、4、8 和 9 中被显示为长方形的,但是它们也可呈现其它形状。例如,凹槽 132(和通路 130)可为凹角凹槽 132(凹角通路 130),如下面参照图 7 和 10 所描述。另外,凹槽 132(通路 130)的侧壁不需要是直的。对于各种应用,凹槽 132(通路 130)的侧壁可为弯曲的或圆形的。

[0057] 典型地在将凹槽 132 形成于衬底 110 的表面 112 中之前铸造衬底 110。如共同转让的美国专利 No. 5, 626, 462(其通过引用而以其整体结合在本文中)中所论述的那样,衬底 110 可由任何适合的材料(本文中描述为第一材料)形成。取决于构件 100 所意图的应用,其可包括 Ni 基超合金、Co 基超合金以及 Fe 基超合金。Ni 基超合金可为包含 γ 和 γ' 相两者的那些,特别是其中 γ' 相占超合金的体积的至少 40% 的包含 γ 和 γ' 相两者的那些 Ni 基超合金。已知这样的合金是有利的,因为组合了合乎需要的属性,包括高温强度和抗高温蠕变性。第一材料还可包括 NiAl 金属间合金,因为也已知这些合金具有对于在用于航空器的涡轮发动机应用中使用有利的优良的属性(包括高温强度和抗高温蠕变性)的组合。在 Nb 基合金的情况下,具有优良的抗氧化性的经涂覆的 Nb 基合金将是优选的,例如 Nb/Ti 合金,并且特别是按照原子百分数包含 Nb-(27-40)Ti-(4.5-10.5)Al-(4.5-7.9)Cr-(1.5-5.5)Hf-(0-6)V 的那些合金。第一材料还可包括包含至少一种次生相的 Nb 基合金,例如包含 Nb 的金属间化合物、包含 Nb 的碳化物或包含 Nb 的硼化物。这些合金类似于复合材料,因为它们包含可延展相(即 Nb 基合金)和强化相(即包含 Nb 的金属间化合物、包含 Nb 的碳化物或包含 Nb 的硼化物)。

[0058] 对于图 2、8 和 9 中示出的实例布置,涂层 150 沿着衬底 110 的翼型形状的外表面 112 沿纵向延伸。涂层 150 与翼型形状的外表面 112 相一致,并且覆盖凹槽 132,从而形成微通路 130。如例如图 8 和 9 中所指示,衬底 110 和涂层 150 可进一步限定多个离开膜孔 142。对于图 9 中显示的实例构造,微通路 130 将来自进入孔 140 的冷却剂传输到膜冷却孔 142。应当注意,如所描绘的那样,涂层 150 仅是覆盖通路的第一涂层或结构涂层。对于某些应用,单个涂层可为所有所使用的涂层。但是,对于其它应用,还使用了结合涂层和隔热涂层(TBC)。对于图 8 和 9 中示出的实例布置,微通路 130 将来自相应的进入孔 140 的冷却流引导到离开膜孔 142。对于图 8 和 9 中显示的实例,凹槽将流体传输到离开膜孔 142。但是,其它构造不需要膜孔,微通路仅沿着衬底表面 112 延伸且离开构件的边缘,例如后缘或轮叶尖部或端壁缘。另外,应当注意,虽然膜孔在图 8 中显示为圆形的,但是这仅是非限制性实例。膜孔还可为非圆形形状的孔。

[0059] 典型地,微通路长度处于膜孔直径的 10 倍至 1000 倍的范围中,并且更具体而言,处于膜孔直径的 20 倍至 100 倍的范围中。有益地,微通路 130 可用于构件的表面上的任何地方(翼型件本体、前缘、后缘、叶片尖部、端壁、平台)。另外,虽然微通路显示为具有直壁,但是通路 130 可具有任何构造,例如,它们可为直的、弯曲的,或具有多个弯曲部等。涂层 150 包含可为任何适合的材料第二材料,并且结合到衬底 110 的翼型形状的外表面 120 上。对于特定的构造,涂层 150 具有的厚度处于 0.1 毫米至 2.0 毫米的范围中,并且更具体而言,处于 0.1 毫米至 1 毫米的范围中,并且另外更具体而言对于工业构件为 0.1 毫米至

0.5 毫米。对于航空构件,这个范围典型地为 0.1 毫米至 0.25 毫米。但是,可使用其它厚度,这取决于特定构件 100 的需要。

[0060] 对于图 4 中显示的实例构造,涂层 150 包括两个层 54、56。虽然在图 4 中仅显示了两个涂覆层 54 和 56,但是可对某些应用施用额外的涂覆层 50。对于图 4 中显示的实例布置,层 50 中的第一层 54 以角度 α 淀积在衬底 110 上,而层 50 中的第二层 56 以角度 β 淀积在第一层 54 上面。对于某些过程构造,角度 β 可与角度 α 基本相同(即 $\beta = \alpha + /-10^\circ$),使得第一层 54 和第二层 56 的定向基本镜像相反。对于其它过程构造,淀积角度 β 和 α 可更显著地不同。例如,第二层 56 可以比第一层 54 的淀积角度 α 更靠近表面法线 52 的角度 β 淀积。通过在不同的侧之间改变或调整涂层淀积角度使得以一个角度 α 施用第一涂覆层 54 而以相反的角度 $\beta = 180 - \alpha$ 施用第二涂覆层 56,建立了可封闭单向涂覆留下来的敞开的区域的涂层微结构,如根据图 5 和 6 的比较结果而明显可见的那样。这个改变可对两个层或对额外的层进行。

[0061] 对于图 4 中描绘的实例构造,第一涂覆层 54 和第二涂覆层 56 完全桥接相应的凹槽 132,使得涂层 (150) 密封相应的微通路 130。但是,对于其它构造,第一层 54 限定一个或多个可透过的槽口 144,使得第一层 54 不完全桥接相应的凹槽 132 中的各个。图 5 和 6 中显示了实例多孔层 54、56。图 5 显示了形成于 GTD 444®衬底中的、具有 Rene 142C®第一涂覆层 54 的四个实例冷却通路,第一涂覆层 54 相对于衬底 110 的表面法线 52 以大约 45 度的角度 α 淀积。图 6 显示了具有额外的第二 Rene 142C®涂覆层 56 的图 5 的四个实例冷却通路,涂覆层 56 相对于衬底 110 的表面法线 52 以大约 45 度的角度 β 淀积。对于更特别的构造,第二层 56 还限定一个或多个可透过的槽口 144,使得第一层 54 和第二层 56 不完全桥接相应的凹槽 132 中的各个。如图 5 中所指示,典型地,空隙(可透过的槽口)144 具有不规则的几何结构,在施用涂层 150 且增大厚度时,空隙 144 的宽度变化。最初,在涂层 54 的第一部分施用到衬底 110 上时,空隙 144 的宽度可达到微通路 130 的顶部 136 的宽度的 50% 那么大。在建立涂层 150 时,空隙 144 然后可变窄至顶部 136 的宽度的 5% 或更小。对于特定实例,空隙 144 的宽度在其最窄点处为相应的微通路顶部 136 的宽度的 5% 至 20%。另外,可透过的槽口 144 可为多孔的,在这个情况下,“多孔”空隙 144 可具有一些连接部,即具有零空隙的一些点或位置。有益地,空隙 144 为涂层 150 提供了应力消除。

[0062] 但是,虽然具有第一涂层 54 中的空隙 144 提供的应力消除是重要的,但是第一涂覆层 54 中得到的空隙 144 比原来的开口 136 更小。因而,在第二涂覆层 56 中对空隙存在较少的需要。因而,虽然未确切地显示,但是对于某些构造,在第一涂覆层 54 和连续(无空隙)的第二涂覆层 56 中存在可透过的槽口 144。这个特定构造可例如通过这样来实现:在淀积第二涂覆层 56 期间使衬底 110 绕着一个或多个轴旋转,或者以别的方式大致垂直于衬底 110 或更一般地相对于衬底 110 的表面法线 52 以大约 $+/-20$ 度的范围中的角度 β 淀积第二涂覆层 56,以便完全涂覆在形成于第一涂覆层 54 中的可透过的槽口 144 上面。用于产生这个具体构造(即,第一涂覆层 54 中的空隙 144 与连续的第二涂覆层 56)的另一种技术将为施用备选类型的第二涂层,例如空气等离子体喷涂涂层。另外,施用较厚的第二涂覆层 56 也将最终封闭空隙 144。更一般地,可透过的槽口 144 可形成于一个或多个涂覆层 50 中,后来淀积的层桥接槽口,从而有效地密封槽口 144。因而,取决于它们的具体功能,可透过的槽口 144 可延伸或者 (1) 通过所有的涂覆层或者 (2) 仅通过一些涂层而非所有涂层。

有益地,可透过的槽口 144 用作结构涂层(一个或多个)的应力/应变消除部。另外,当可透过的槽口 144 延伸通过所有涂层时,可透过的槽口 144 可用作冷却机构,即对于此构造,可透过的槽口 144 构造成将来自相应的通路 130 的冷却剂流体传输到构件的外表面。另外,当由上部涂层桥接时,可透过的槽口 144 在那些涂层被损害或剥落的情况下用作被动冷却机构。

[0063] 对于图 7 中显示的实例构造,凹槽 132 中的各个具有基部 134 和顶部 136,其中,基部 134 比顶部 136 更宽,使得凹槽 132 中的各个包括凹角形凹槽 132。对于特定构造,凹角形凹槽 132 中的相应的一个的基部 134 为相应的凹槽 132 的顶部 136 的至少 2 倍宽。对于更特别的构造,相应的凹角形凹槽 132 的基部 134 为相应的凹槽 132 的顶部 136 的至少 3 倍宽,并且更具体而言,处于相应的凹槽 132 的顶部 136 的大约 3 倍-4 倍宽的范围中。有益地,上面描述的成角度涂层淀积可与对应于 GE 档案号 246424-1 的共同转让的、同时提交的、Ronald S. Bunker 等人的美国专利申请“具有凹角形冷却通路的构件和制造方法 (Components with re-entrant shaped cooling channels and methods of manufacture)”中提供的凹角凹槽 132 结合起来使用,该申请通过引用而以其整体结合在本文中。有益地,通过以较大的淀积角度施用涂层,涂层 150 可桥接在凹角凹槽 132 上面,而不进行填充或部分填充。另外,凹角凹槽相对于在顶部 136 处具有相同宽度的简单形状的凹槽(即,具有宽度大致相等的顶部 136 和基部的凹槽)提供增强的冷却。

[0064] 可使用各种各样的技术来淀积涂层 150。对于特定过程,通过执行等离子区淀积来将涂层 150 设置在衬底 110 的表面 112 的至少一部分上面。在 Weaver 等人的共同转让的美国公开专利申请 No. 20080138529 “用于阴极电弧等离子区淀积的方法和设备 (Method and apparatus for cathodic arc ion plasma deposition)”中提供了实例阴极电弧等离子区淀积设备和方法,该专利申请通过引用而以其整体结合在本文中。简要地,等离子区淀积包括:将涂层材料形成的阴极置于真空室内的真空环境中;在真空环境内提供衬底 110;对阴极供应电流,以在阴极表面上形成阴极电弧,从而导致涂层材料从阴极表面上腐蚀或蒸发掉;以及将来自阴极的涂层材料淀积在衬底表面 112 上。

[0065] 在一个非限制性实例中,等离子区淀积过程包括等离子体气相淀积过程。涂层 150 的非限制性实例包括结构涂层、结合涂层、抗氧化涂层和隔热涂层,如下面参照美国专利 No. 5,626,462 更详细地论述的那样。对于某些热气路径构件 100,涂层 150 包含镍基合金或钴基合金,并且更具体而言,包含超合金或 NiCoCrAlY 合金。例如,在衬底 110 的第一材料为包含 γ 和 γ' 相两者的 Ni 基超合金时,涂层 150 可包含这些相同的材料,如下面参照美国专利 No. 5,626,462 更详细地论述的那样。

[0066] 对于其它过程构造,通过执行热喷涂过程和冷喷涂过程中的至少一个来将涂层 150 设置在衬底 110 的表面 112 的至少一部分上面。简要地,冷喷涂是非热喷涂过程,其中,金属粉末在惰性气体射流中被加速。在与衬底碰撞之后,金属颗粒经历塑性变形而粘附到衬底表面上。例如,热喷涂过程可包括燃烧喷涂或等离子体喷涂,燃烧喷涂可包括高速氧气燃料喷涂 (HVOP) 或高速空气燃料喷涂 (HVOF),而等离子体喷涂可包括大气(例如空气或惰性气体)等离子体喷涂,或低压等离子体喷涂 (LPPS,其也称为真空等离子体喷涂或 VPS)。在一个非限制性实例中, NiCrAlY 涂层通过 HVOF 或 HVOF 淀积。用于淀积涂层 150 中的一个或多个层的其它实例技术包括(不限于)溅射、电子束物理气相淀积、无电镀覆和电镀。

[0067] 对于某些构造,合乎需要的是采用多种淀积技术来形成涂层系统 150。例如,第一层 54 可使用等离子区淀积来淀积,而第二层 56 和可选的额外的层(未显示)可使用诸如燃烧喷涂过程(例如 HVOF 或 HVOF)的其它技术或使用等离子体喷涂过程(例如 LPPS)来淀积。取决于所使用的材料,对涂层 50 使用不同的淀积技术可在应变容限方面和/或在延展性方面提供益处。

[0068] 更一般而言,并且如美国专利 No. 5,626,462 中所论述,用来形成涂层 150 的第二材料包括任何适合的材料。对于被冷却的涡轮构件 100 的情况,第二材料必须能够承受大约 1150°C 的温度,而 TBC 可到达大约 1320°C。涂层 150 必须与衬底 110 的翼型形状的外表面 112 相容且适于结合到该外表面 112 上。这个结合可在涂层 150 淀积到衬底 110 上时形成。结合可在淀积期间受许多参数影响,包括淀积方法、淀积期间的衬底 110 的温度、淀积表面是否相对于淀积源而偏置,以及其它参数。结合还可受随后的热处理或其它处理的影响。另外,在淀积之前的衬底 110 的表面形态、化学性质和清洁度可影响冶金结合进行的程度。除了在涂层 150 和衬底 110 之间形成坚固的冶金结合之外,合乎需要的是这个结合随着时间的过去且在高温处关于相的变化和互扩散而保持稳定,如本文中所描述。就相容而言,优选这些元件之间的结合在热力学方面是稳定的,使得结合的强度和延展性不会随着时间的过去(例如长达 3 年)由以下情形显著地损坏:互扩散或其它过程,甚至对于 Ni 基合金翼型件支承壁 40 和 Ni 基翼型件外皮 42 而言暴露于大约 1150°C 的高温处,或者在使用更高温的材料(例如 Nb 基合金)的情况下暴露于大约 1300°C 的更高的温度。

[0069] 如美国专利 No. 5,626,462(其中,衬底 110 的第一材料为包含 γ 和 γ' 相两者的 Ni 基超合金或 NiAl 金属间合金)中所论述,涂层 150 的第二材料可包括这些相同的材料。涂层 150 和衬底 110 材料的这种组合对于诸如其中运行环境的最大温度类似于现有发动机的那些(例如低于 1650°C)的应用是优选的。在衬底 110 的第一材料为 Nb 基合金的情况下,涂层 150 的第二材料还可包括 Nb 基合金,包括相同的 Nb 基合金。

[0070] 如美国专利 No. 5,626,462 中所论述,对于其它应用,例如施加了使金属合金涂层 150 的使用不合需要的温度、环境或其它约束的应用,优选涂层 150 包含具有单独地优于金属合金的那些属性的属性的材料,例如呈金属间化合物 (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 可为与翼型件支承壁 40 所用相同的合金或不同的材料,这取决于翼型件的需要。这些复合物大体来说是类似的,因为它们组合了相对较高的延展性的相 M 或 I_M 与相对较低的延展性的相 I_s , 以便产生获得两种材料的优点的涂层 150。另外,为了有成功的复合物,该两种材料必须是相容的。如本文中关于复合物所使用,用语相容指材料必须能够形成它们的相的期望初始分布,以及能够如上面所描述的那样在 1150°C 或更高的使用温度处保持该分布达延长的时间段,而不经历大大削弱复合物的强度、可延展性、刚性和其它重要属性的冶金反应。也可在相稳定性方面来表示这种相容性。也就是说,复合物的单独的相在延长的时间段里的温度处运行期间必须具有稳定性,使得这些相保持分开和分离,从而保持它们的单独的同一性和属性,而不由于互扩散的原因变成单个相或多个不同的相。还可在 I_s/M 或 I_s/I_M 复合物层之间的相间边界界面的形态稳定性方面表示相容性。这种不稳定性可由中断任一层的连续性的褶积(convolution)所表现。还要注意,在给定的涂层 150 内,还可使用多种 I_s/M 或 I_s/I_M 复合物,并且这样的复合物不限于两种材料或两相的组合。这样的组合的使用对

于潜在的组合仅是说明性的,而不是详尽的或限制性的。因而 $M/I_M/I_S$ 、 $M/I_{S1}/I_{S2}$ (其中, I_{S1} 和 I_{S2} 是不同的材料) 和许多其它组合是可行的。

[0071] 如美国专利 No. 5, 626, 462 (其中, 衬底 110 包括包含 γ 和 γ' 相两者的混合物的 Ni 基超合金) 中所论述, 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, 并且 M 可包括包含 γ 和 γ' 相两者的混合物的 Ni 基超合金。在包含 γ 和 γ' 相两者的混合物的 Ni 基超合金中, 元素 Co、Cr、Al、C 和 B 几乎一直作为合金成分而存在, Ti、Ta、Nb、V、W、Mo、Re、Hf 和 Zr 的变化的组合也是一样。因而, 所描述的示例性 I_S 材料的成分对应于典型地在可用作第一材料 (来形成衬底 110) 的 Ni 基超合金中找到的一种或多种材料, 并且因而可适于实现本文中描述的相和互扩散的稳定性。作为在第一材料 (衬底 110) 包括 $NiAl$ 金属间合金的情况下的额外的实例, 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, 并且 I_M 可包括 Ni_3Al 金属间合金。再次, 在 $NiAl$ 金属间合金中, 元素 Co、Cr、C 和 B 中的一个或多个几乎一直作为合金成分而存在, Ti、Ta、Nb、V、W、Mo、Re、Hf 和 Zr 的变化的组合也是一样。因而, 所描述的示例性 I_S 材料的成分对应于典型地在可用作第一材料的 $NiAl$ 合金中找到的一种或多种材料, 并且因而可适于实现本文中描述的相和互扩散的稳定性。

[0072] 如美国专利 No. 5, 626, 462 (其中, 衬底 110 包含 Nb 基合金, 包括包含至少一种次生相的 Nb 基合金) 中所论述, I_S 可包括含 Nb 金属间化合物、含 Nb 碳化物或含 Nb 硼化物, 并且 M 可包括 Nb 基合金。优选这种 I_S/M 复合物包括包含 Ti 而使得合金的 Ti 与 Nb 的原子比率 (Ti/Nb) 处于 0.2-1 的范围中的 Nb 基合金的 M 相, 以及包括 Nb 基硅化物、 $Cr_2[Nb, Ti, Hf]$ 和 Nb 基铝化物组成的组的 I_S 相, 以及其中, Nb、Ti 和 Hf 中的 Nb 基于原子为 $Cr_2[Nb, Ti, Hf]$ 的主要成分。这些化合物均具有 Nb 作为共同的成分, 并且因而可适于实现美国专利 No. 5, 626, 462 中描述的相和互扩散的稳定性。

[0073] 所施用的涂层具有足够的颗粒大小、强度和粘附性 (结合性) 来桥接凹槽 132 的开口空隙 136, 而在涂层淀积期间不使用牺牲填料, 并且在凹槽的内侧淀积最少量的涂层材料。但是, 典型地, 一些涂层材料还将略微在外表面的下方填充在开口中, 如例如图 10 中所指示。对于淀积在小尺寸的开口凹槽上面的等离子体气相淀积 (PVD) TBC 涂层, 以前已经记录了这个桥接效应。有益地, 使用具有热喷涂涂层的当前的成角度淀积技术会产生能够桥接较大的空隙 136 大小的较大的颗粒结块。

[0074] 现在参照图 3 和 4, 对于某些构造, 涂层 150 完全桥接相应的凹槽 132, 使得涂层 150 密封相应的微通路 130。更具体而言, 对于图 4 和 7 中显示的实例布置, 第一涂覆层 54 和第二涂覆层 56 完全桥接相应的凹槽 132。对于其它构造, 涂层 150 限定一个或多个可透过的槽口 144, 使得涂层 150 不完全桥接相应的凹槽 132 中的各个, 如例如图 5 和 6 中所显示。这个多孔构造为涂层 150 提供应力消除。

[0075] 有益地, 通过以角度 α 、 β 淀积涂层 150, 不必使用牺牲填料 (未显示) 以将涂层 150 施用到衬底 110 上。这消除了对填充过程和对更困难的移除过程的需要。另外, 在具有狭窄的开口 136 (顶部) (例如具有大约 10 密耳-12 密耳宽的范围中的开口 136) 的凹角形凹槽上执行成角度涂层淀积, 开口 136 可由涂层 150 桥接, 而不使用牺牲填料, 从而消除用于传统的通路形成技术的主要处理步骤中的两个 (填充和溶出)。

[0076] 除了涂层 150 之外,可进一步修改凹槽 132 的内表面(或微通路 130 的内表面,如果涂层 150 的第一(内)层不特别抗氧化的话),以改进其抗氧化性和/或抗热腐蚀性。用于将抗氧化涂层(未确切地显示)施用到凹槽 132 的(或微通路 130 的)内表面上的适合的技术包括气相或浆料镀铬(chromiding),气相或浆料镀铝,或通过蒸发、溅射、等离子区淀积、热喷涂和/或冷喷涂进行的覆盖淀积。实例抗氧化覆盖涂层包含 MCrAlY 族($M = \{Ni, Co, Fe\}$)中的材料以及选自 NiAlX 族($X = \{Cr, Hf, Zr, Y, La, Si, Pt, Pd\}$)的材料。

[0077] 但是,对于某些过程构造,可采用填料和随后的溶出过程。对于这些过程构造,该方法进一步包括在淀积涂层 150 之前对凹槽 132 填充填料(未显示)。例如,可通过用金属浆料“墨”(未显示)对构件 100 进行浆料、浸渍涂覆或喷涂涂覆来施用填料,使得凹槽 132 被填充。对于其它构造,可使用微型笔或注射器来施用填料。对于某些实现,可对凹槽 132 过度填充填料材料。可移除(例如可擦去)多余的填料,使得凹槽 132 “被看见”。填料的非限制性实例材料包括 UV 可固化树脂、陶瓷、具有有机溶剂载体的铜或钼墨、具有水基和载体的石墨粉。更一般地,填料可包括悬浮在具有可选的粘合剂的载体中的感兴趣的颗粒。另外,取决于所采用的填料的类型,填料可流入或可不流入进入孔 140 中。在共同转让的美国专利 No. 5,640,767 中以及在共同转让的美国专利 No. 6,321,449 中论述了实例填料材料(或通路填充剂或牺牲材料),这些专利通过引用而以其整体结合在本文中。对于此过程构造,该方法进一步包括在淀积涂层 150 之后从凹槽 132 中移除填料。例如,可使用化学溶出过程来使填料从微通路 130 中溶出。如美国专利 No. 5,640,767 中所论述,可例如通过熔化/抽取、高温分解或侵蚀来移除填料(或通路填充剂)。类似地,美国专利 No. 6,321,449 中论述的填料材料(牺牲材料)可通过在水、酒精、丙酮(actetone)、氢氧化钠、氢氧化钾或硝酸中溶解来移除。

[0078] 参照图 2-10 描述了构件 100。如例如图 2 中所指示,构件 100 包括具有外表面 112 和内表面 116 的衬底 110。如例如图 2 中所指示,内表面 116 限定至少一个中空内部空间 114。如例如图 2-4、7 和 8 中所指示,外表面 112 限定一个或多个凹槽 132。对于示出的实例,衬底 110 限定多个凹槽。如例如图 7-9 中所指示,凹槽 132 中的各个至少部分地沿着衬底 110 的表面 112 延伸且具有基部 134。为了降低任何涂层淀积在凹槽 132 的内部侧壁上的可能性,顶部处的通路开口宽度合乎需要地处于 0.010 英寸至 0.02 英寸的范围中。

[0079] 进入孔 140 延伸通过凹槽 132 的相应的基部 134,以在凹槽 132 和中空内部空间(一个或多个)114 之间提供流体连通,如例如图 3、4 和 7 中所显示。进入孔 140 在截面方面典型地为圆形或椭圆形,并且可例如使用激光加工(激光打孔)、磨料液体射流、放电加工(EDM)和电子束打孔中的一个或多个来形成。进入孔 140 可垂直于相应的凹槽 132 的基部 134(如图 3、4 和 7 中所显示),或者更一般地,可相对于凹槽的基部 134 以处于 20 度-90 度的范围中的角度来打孔。

[0080] 如例如图 3、4 和 7 中所指示,构件 100 进一步包括设置在衬底 110 的表面 112 的至少一部分上面的涂层 150,其中,涂层 150 包括一个或多个层 50。如上面所论述,凹槽 132 和涂层 150 共同限定用于冷却构件 100 的许多通路 130。上面提供了实例涂层。对于实例构造,涂层 150 包括结构涂层、结合涂层、抗氧化涂层和隔热涂层中的至少一个。

[0081] 对于图 5 和 6 中显示的实例布置,涂覆层 50 中的至少一个限定一个或多个可透过的槽口 144,使得相应的层 50 不完全桥接相应的凹槽 132 中的各个。如上面所论述,对于某

些布置,可透过的槽口 144 延伸通过所有涂覆层,从而将来自通路 130 的冷却剂传输到构件的外表面。对于其它构造,可透过的槽口 144 可形成于一个或多个涂覆层 50 中,后来淀积的层桥接槽口,从而有效地密封槽口 144。如上面所提到,可透过的槽口 144 对涂层 150 提供了应力消除。另外,应当注意,虽然在图中显示了空隙 144 的一个实例截面,但是对于其它布置,孔隙率(且因此截面)会沿着微通路的长度而改变。

[0082] 对于特定构造,使用空隙 144 来通过涂层(一个或多个)150 而将冷却流输送到构件 100 的外表面。例如,如果仅施用结构涂层,则将得到一种类型的蒸发冷却,冷却流有益地沿着整个通路长度放出。另外,如果仅施用等离子体气相淀积(PVD)隔热涂层(TBC),则TBC的柱状特性将再次允许冷却流通过空隙 144 放出。通过可透过的槽口 144 的这个冷却流对于冷却航空涡轮翼型件是特别有益的。

[0083] 对于图 5 中显示的实例构造,可透过的槽口 144 中的各个相对于衬底 110 的表面法线 52 以角度 γ 倾斜,其中,角度 γ 相对于衬底 110 的表面法线 52 处于大约 25 度-70 度的范围中。可使用以下等式来使槽口倾斜角度 γ 与淀积角度 α 相关:

$$[0084] \quad \tan \alpha = 2 \tan \gamma \quad (\text{等式 1})$$

[0085] 对于更特别的构造,角度 γ 相对于衬底 110 的表面法线 52 处于大约 30 度-55 度的范围中。应当注意,典型地仅对于在涂覆过程期间固定的构件,将得到图 5 和 6 中显示的构造。另外,对于弯曲构件,由于构件的局部曲率的原因,角度 γ 可沿着通路 130 的长度而改变。此外,对于弯曲构件,角度 γ 可针对不同的通路基于构件的局部曲率而改变。

[0086] 对于图 6 中显示的实例构造,可透过的槽口 144 的倾斜角度在涂层 150 的厚度中有所变化。如图 6 中所显示,第二涂覆层 56 中的槽口 144 的倾斜角度 γ' (相对于衬底 110 的表面法线 52) 不同于第一涂覆层 54 中的槽口 144 的倾斜角度 γ (相对于表面法线 52)。可使用以下等式来使槽口的倾斜角度 γ' 与淀积角度 β 相关:

$$[0087] \quad \tan \beta = 2 \tan \gamma' \quad (\text{等式 2})$$

[0088] 对于其它构造,可透过的槽口 144 定向成大致垂直于衬底 110。典型地将在衬底 110 在淀积涂层期间绕着一个或多个轴旋转时得到这个构造。如这里所使用,用语“大致”应当理解为指相对于局部表面法线具有 ± 15 度。

[0089] 对于图 5 和 6 中显示的实例构造,第一层 54 可限定一个或多个可透过的槽口 144,使得第一层 54 不完全桥接相应的凹槽 132 中的各个。另外,对于图 6 中显示的实例布置,第二层 56 还限定了一个或多个可透过的槽口 144,使得第一层 54 和第二层 56 不完全桥接相应的凹槽 132 中的各个。

[0090] 如上面所论述,虽然通路 130 被显示为具有直壁,但是通路 130 可具有任何构造,例如,它们可为直的、弯曲的,或具有多个弯曲部等。对于图 7 和 10 中显示的实例构造,凹槽为凹角形的。即,对于图 7 和 10 的布置,凹槽 132 中的各个的基部 134 比相应的凹槽 132 的顶部 136 更宽,使得凹槽 132 中的各个为凹角形凹槽 132。更具体而言,相应的凹角形凹槽 132 的基部 134 为相应的凹槽 132 的顶部 136 的至少两倍宽,并且另外更具体而言,处于相应的凹槽 132 的顶部 136 的大约 3 倍-4 倍宽的范围中。对于特定的构造,凹角形凹槽 132 中的相应的一个的壁 13 相对于表面法线以处于大约 10 度-80 度的范围中的角度 ϕ 定向,如例如图 10 中所指示。更具体而言,凹角形凹槽 132 中的相应的一个的壁 138 相对于表面法线以处于大约 10 度-45 度的范围中的角度 ϕ 定向。

[0091] 如上面所提到,通过在具有狭窄的开口 136(顶部)(例如具有大约 10 密耳-12 密耳宽的范围中的开口 136)的凹角形凹槽上执行成角度涂层淀积,开口 136 可由涂层 150 桥接,而不使用牺牲填料,从而消除用于传统的通路形成技术的主要处理步骤中的两个(填充和溶出)。另外,较宽的基部 134 增加了对通路 130 的冷却。

[0092] 参照图 2-10 描述了制造构件 100 的方法。如上面参照图 3、4 和 7 所论述,该方法包括在衬底 110 的表面 112 中形成一个或多个凹槽 132。对于示出的实例,多个凹槽 132 形成于衬底表面 112 中。如例如图 2 中所指示,衬底 110 具有至少一个中空内部空间 114。典型地在将凹槽 132 形成于衬底 110 的表面 112 中之前铸造衬底 110,并且上面提供了实例衬底材料。如上面参照图 7-9 所论述,凹槽 132 中的各个至少部分地沿着衬底 110 的表面 112 延伸且具有基部 134。

[0093] 该制造方法进一步包括形成许多进入孔 140。更具体而言,对每个凹槽 132 提供一个或多个进入孔 140。对于示出的实例,对每个凹槽 132 提供一个进入孔 140。如例如图 3、4 和 7 中所指示,进入孔 140 中的各个形成为通过凹槽 132 中的相应的一个的基部 134,以在凹槽 132 和中空内部空间 114 之间提供流体连接。上面提供了实例进入孔几何结构和形成方法。

[0094] 如例如图 3 中所指示,该制造方法进一步包括在衬底 110 的表面 112 的至少一部分上面将涂层 150 直接淀积在开口的(未填充的)凹槽 132 上面。如上面所提到,“开口的”指凹槽 132 是空的,即它们未填充有牺牲填料。上面提供了实例涂层。对于实例构造,涂层 150 包括结构涂层、结合涂层、抗氧化涂层和隔热涂层中的至少一个。涂层 150 可完全桥接相应的凹槽 132,使得涂层 150 密封相应的通路 130,如例如图 3、4 和 7 中所指示。对于其它构造,涂层 150 限定一个或多个可透过的槽口 144,使得涂层 150 不完全桥接相应的凹槽 132 中的各个,如例如图 5 和 6 中所显示。

[0095] 对于特定的构造,该方法进一步包括在淀积涂层 150 时使衬底 110 绕着至少一个轴线旋转,使得涂层 150 以持续变化的角度淀积。如这里所用,短语“持续变化的”应当理解为随着时间持续变化的。衬底可安装在旋转夹具(未显示)上,例如单轴线旋转夹具或多轴线(行星)旋转夹具。因而,对于具有变化的曲率的复杂部件,例如涡轮叶片,涂层相对于表面法线而淀积的角度将随着时间持续变化,使得得到的可透过的槽口 144 将大致垂直于衬底表面(即,在局部表面法线的 ± 15 度内)。

[0096] 对于图 7 中显示的实例构造,凹槽基部 134 比凹槽的顶部 136 更宽,使得凹槽 132 中的各个包括凹角形凹槽 132。可使用磨料液体射流、插入式(plunge)电化学加工(ECM)、具有旋转电极的放电加工(EDM)(铣削 EDM)和激光加工(激光打孔)中的一个或多个来形成凹角形凹槽 132。Bunker 等人(的专利申请中)提供了用于在衬底 110 中形成凹角凹槽 132 的技术。例如,凹角形凹槽 132 可通过这样来形成:在磨料液体射流的第一次传送中,相对于衬底 110 的表面 112 以横向角度引导磨料液体射流(未显示),然后以与该横向角度(的角度)基本相反的角度作出随后的传送,以及可选地执行额外的传送,其中,以介于横向角度和基本相反的角度之间的一个或多个角度来将磨料液体射流引导向凹槽 132 的基部 134,使得材料被从凹槽 132 的基部 134 中移除,如 Bunker 等人(的专利申请)的图 3-5 中所显示。还可使用射流 160 的其它加工路径构造。例如,射流 160 可沿着半径扫掠(图 5),并且沿着通路长度方向遵循之字形加工路径运动。这样,可形成较狭窄的凹槽开口

136(凹槽的顶部)。为了扫掠射流 160,可采用多轴线数控(NC)加工路径功能来控制射流 160 的枢转点,以确保狭窄的开口 136。通路的深度由扫掠速度以及在设定了射流压力时沿着通路的射流行进速度确定。

[0097] 如上面所论述,通过以角度 α 、 β 淀积涂层 150,不必使用牺牲填料(未显示)以将涂层 150 施用到衬底 110 上。这消除了对填充过程和对更困难的移除过程的需要。另外,以角度 α 、 β 淀积涂层 150 有助于防止构件表面上的冷却通路的内部的局部涂覆。

[0098] 虽然本文中仅示出和描述了本发明的某些特征,但是本领域技术人员将想到许多修改和改变。因此应当理解,所附权利要求意图覆盖落在本发明的真实精神内的所有这样的修改和改变。

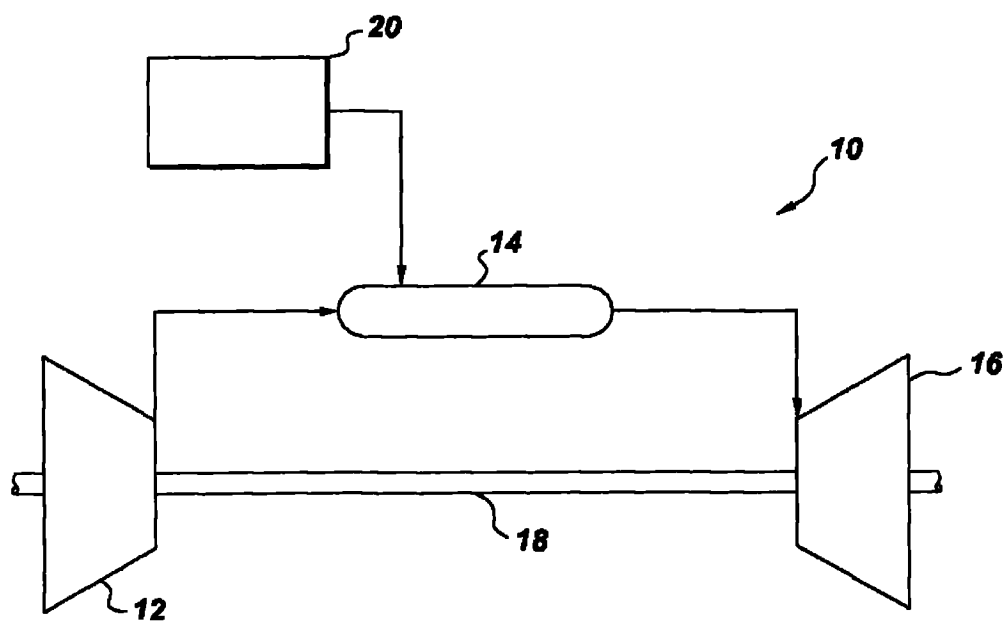


图 1

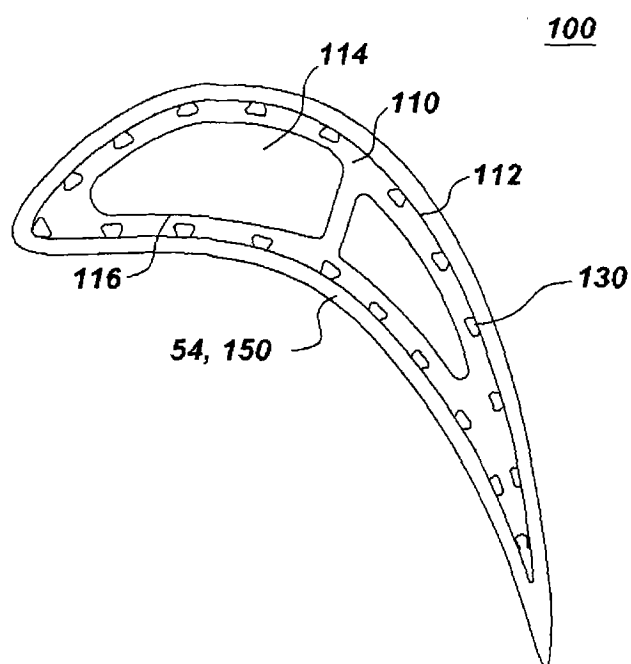


图 2

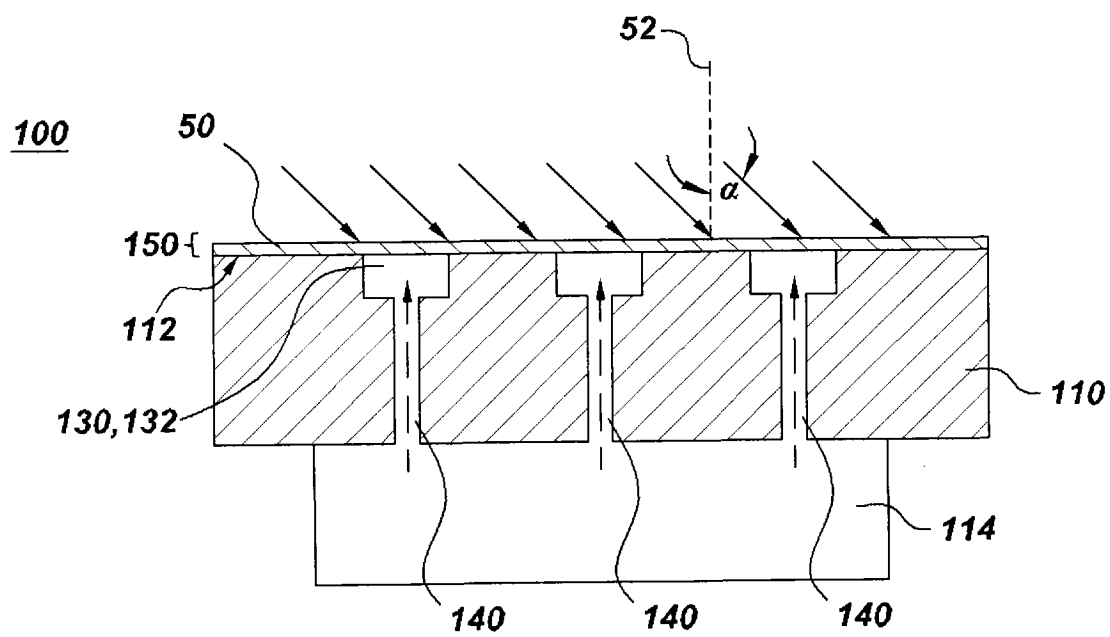


图 3

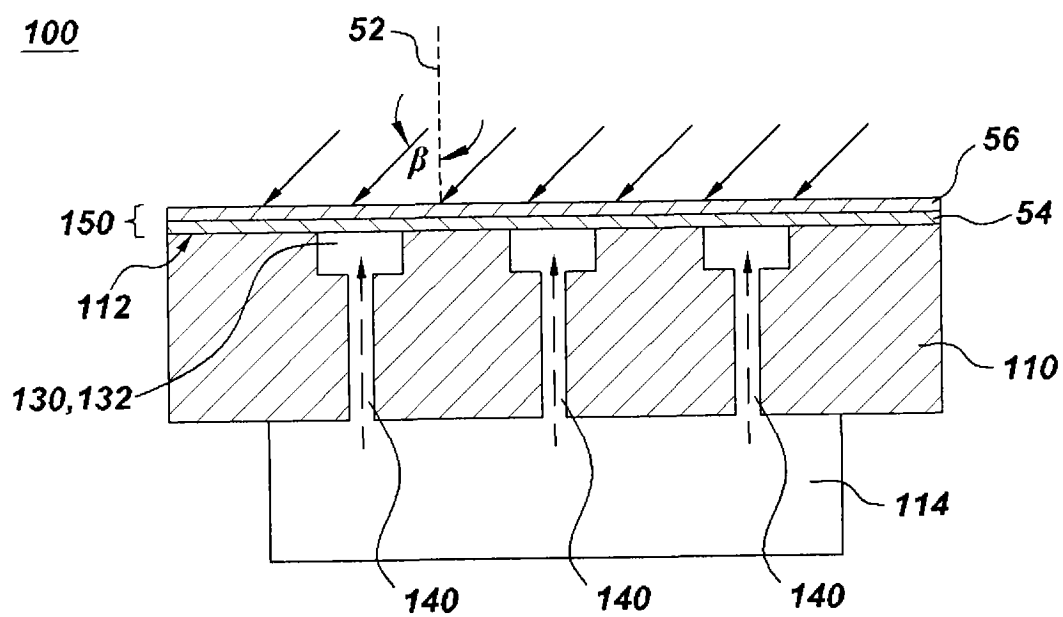


图 4

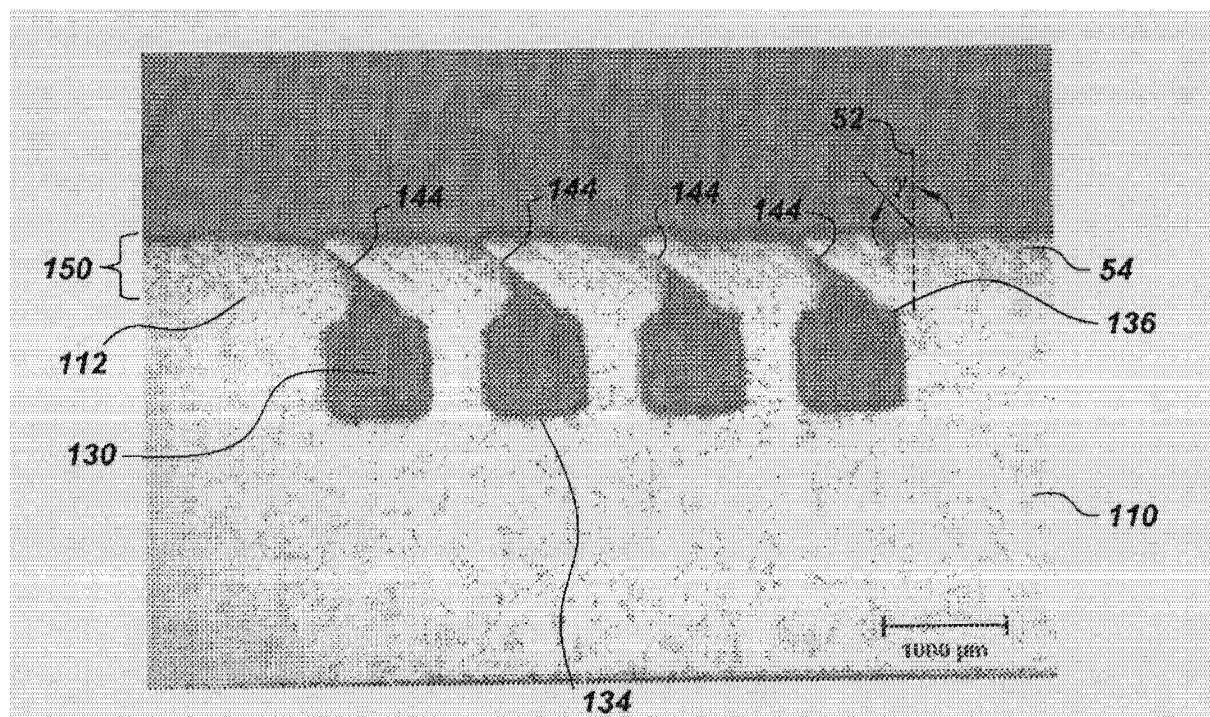


图 5

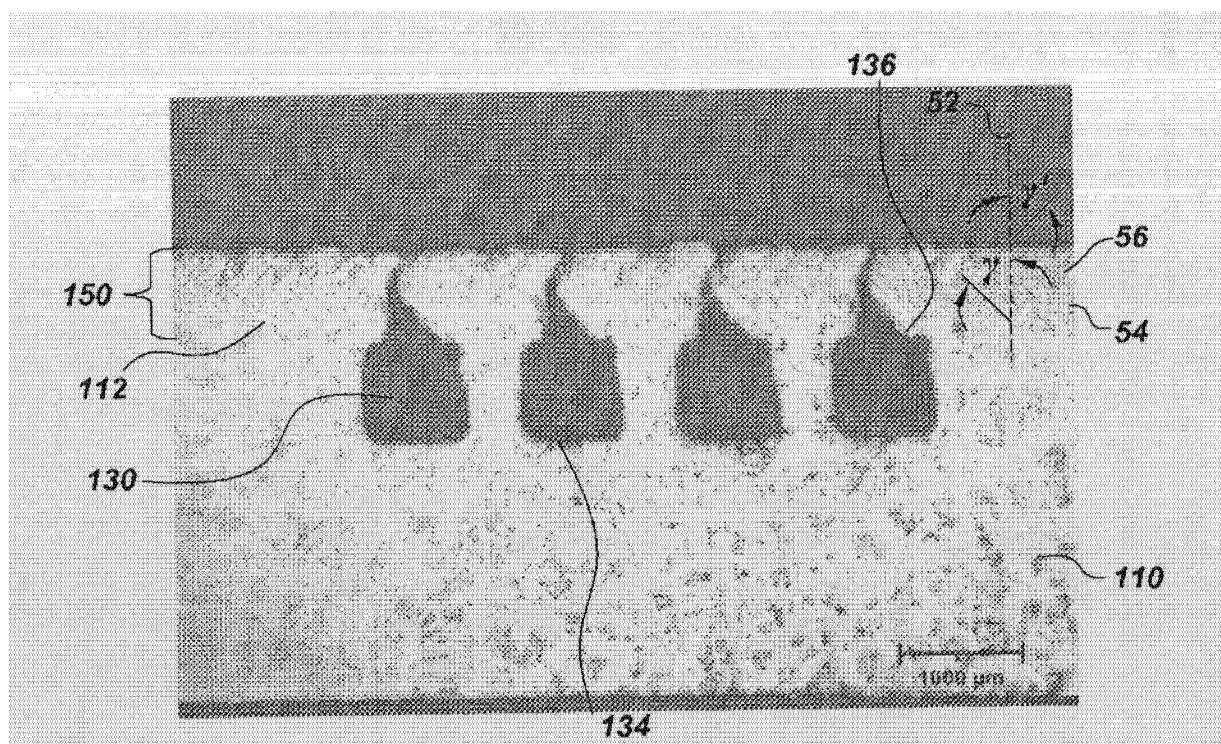


图 6

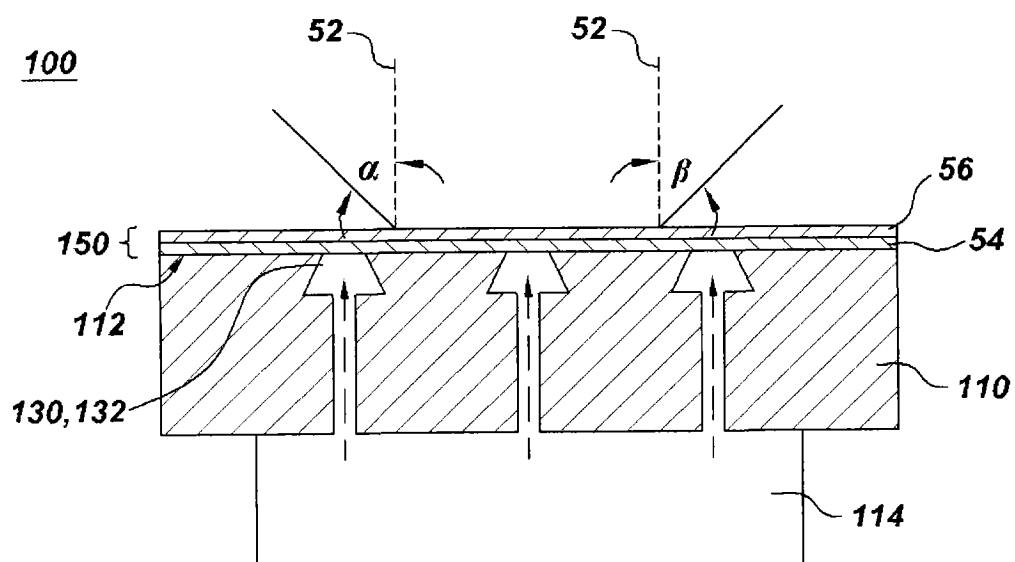


图 7

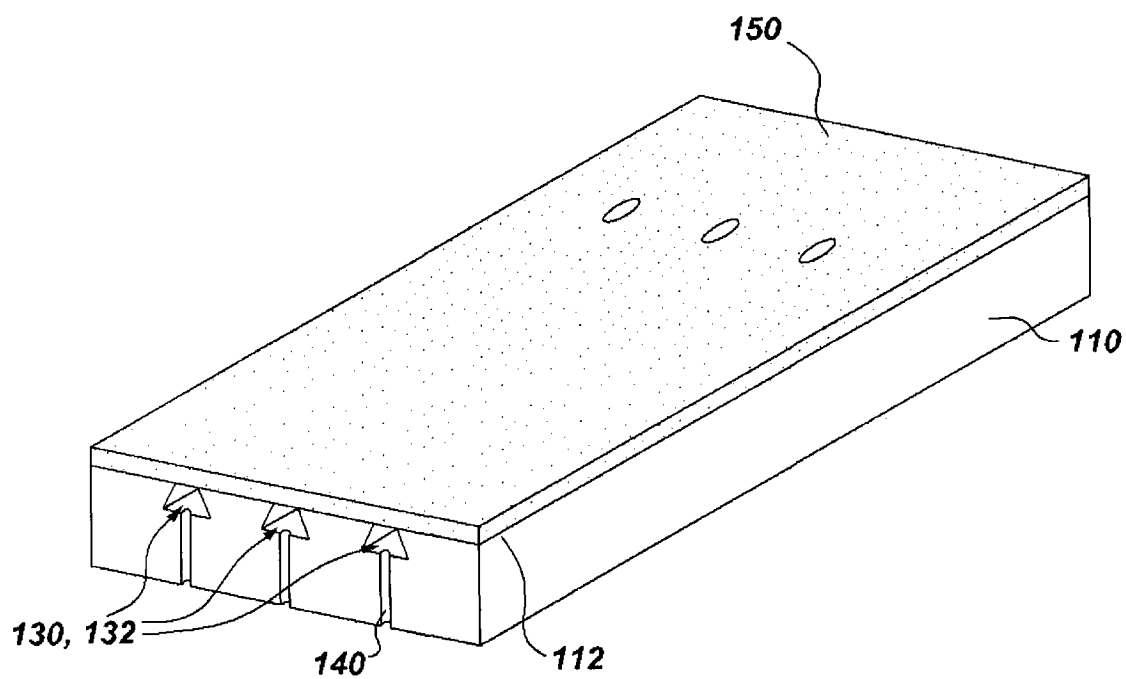


图 8

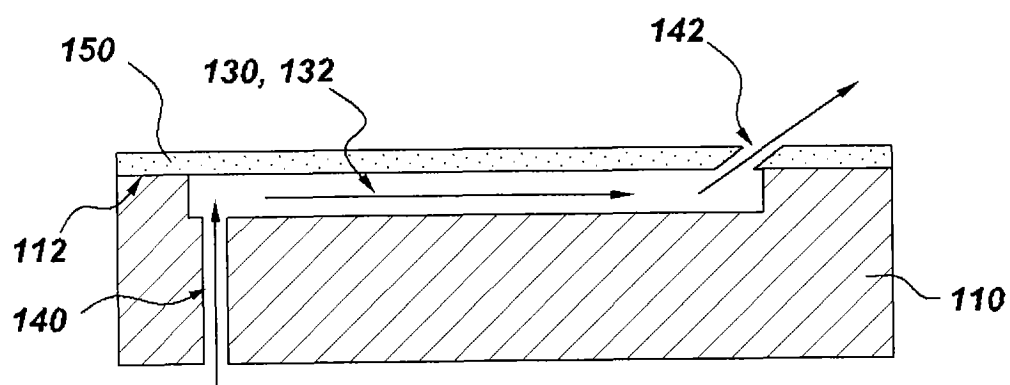


图 9

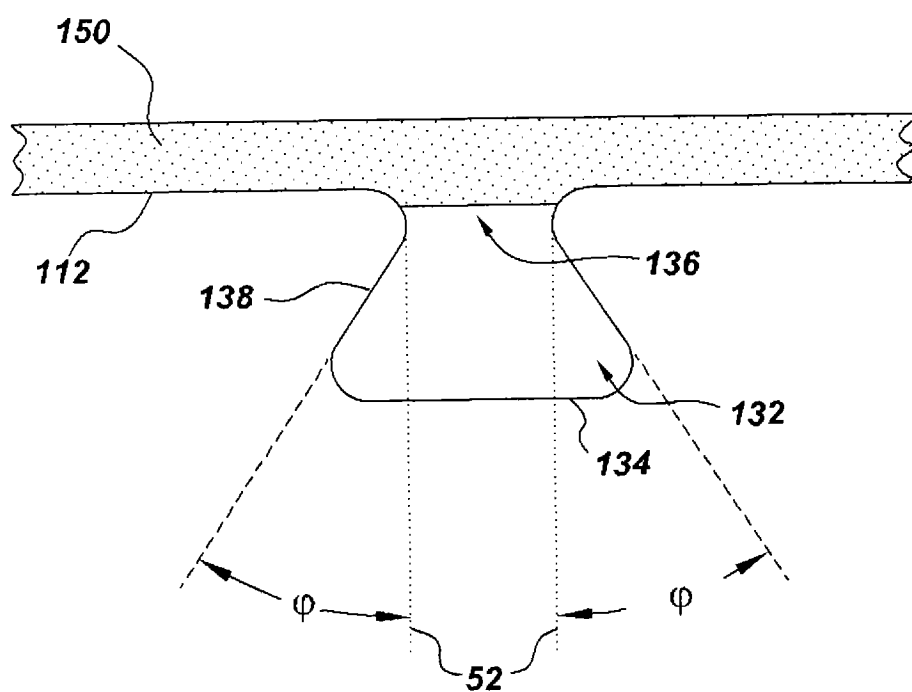


图 10