



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102039494 B

(45) 授权公告日 2015. 02. 18

(21) 申请号 201010510921. 4

B23K 26/34 (2014. 01)

(22) 申请日 2010. 10. 15

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

102009049518. 5 2009. 10. 15 DE

US 2008090093 A1, 2008. 04. 17,

US 2005092717 A1, 2005. 05. 05,

US 4562327 A, 1985. 12. 31,

CN 1203282 A, 1998. 12. 30,

CN 1455714 A, 2003. 11. 12,

(73) 专利权人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

专利权人 弗劳恩霍弗实用研究促进协会

审查员 张永锋

(72) 发明人 N·阿尔雅金 G·博斯坦约格洛

B·布尔鲍姆 A·加泽 T·扬博尔

S·林嫩布林克 T·梅尔策-约基施

M·奥特 N·皮尔赫

R·维尔肯赫纳

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 杨国治 梁冰

(51) Int. Cl.

B23K 26/14 (2014. 01)

B23K 26/32 (2014. 01)

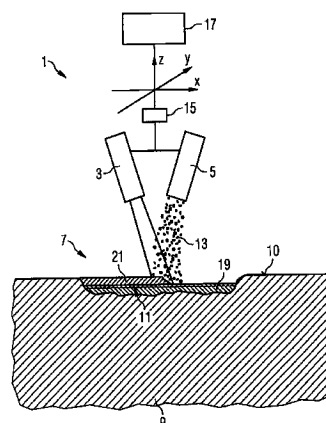
权利要求书3页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

用于焊接由耐高温的超合金制成的工件的方法和装置

(57) 摘要

本发明涉及用于焊接由耐高温的超合金制成的工件的方法和装置。用于焊接由耐高温的超合金制成的工件(9)的焊接装置包括:用于在工件表面(10)上产生热输入区域(11)的热源(3);用于将焊接填料(13)输入所述热输入区域的输入装置(5)以及用于产生一方面热源(3)和输入装置(5)与另一方面工件表面(10)之间的相对运动的输送装置(15)。该焊接装置还包括具有控制程序的控制单元(17),该控制程序执行相对运动,从而调节焊接功率以及热输入区域(11)的直径,使得材料凝固时的冷却率至少为8000开每秒。



1. 用于焊接由耐高温的超合金制成的工件 (9) 的方法, 其中, 借助于热输入区域 (11) 以及用于将焊接填料输入热输入区域 (11) 中的输入区域将焊接填料 (13) 施加到工件表面 (10) 上, 其中, 一方面所述热输入区域 (11) 和所述输入区域与另一方面所述工件表面 (10) 之间相对运动,

其特征在于,

使用激光器作为热源,

至少选择激光器功率、进给速度、激光束的直径这些焊接参数, 使得材料凝固时的冷却率至少为 8000 开每秒,

其中所述进给速度至少为 250mm/min, 并且

其中激光器功率为 100W 到 300W, 并且

其中激光束的直径为 500 μm 到 800 μm ,

由此形成多晶的焊层。

2. 按权利要求 1 所述的方法,

其特征在于,

调节热输入区域的直径方面的焊接参数, 使得材料凝固时的冷却率至少为 8000 开每秒。

3. 按权利要求 1 或 2 所述的方法,

其中, 通过按层地施加焊接填料 (13) 来产生焊缝。

4. 按权利要求 3 所述的方法,

其中, 熔化前面的层 (19)。

5. 按权利要求 4 所述的方法,

其特征在于,

将前面的层 (19) 再熔化了小于其层厚的一半。

6. 按权利要求 3 所述的方法,

其特征在于,

对于每个层 (19、21) 来说, 所述热输入区域 (11) 和所述输入区域沿着焊接方向 (S1、S2) 相对于工件表面 (10) 运动, 并且相互跟随的层 (19、21) 的焊接方向 (S1、S2) 相对旋转。

7. 按权利要求 4 到 6 中任一项所述的方法,

其特征在于,

所述热输入区域 (11) 和所述输入区域沿着焊接方向 (S1、S2) 以围绕所述焊接方向振荡的路径 (P1、P2) 相对于工件表面 (10) 运动。

8. 按权利要求 1 或 2 所述的方法,

其特征在于,

所述工件 (9) 具有含 γ' 的镍基超合金并且所述焊接填料 (13) 是形成 γ' 的镍基超合金材料。

9. 按权利要求 1 或 2 所述的方法,

其特征在于,

在施加焊接填料 (13) 之后进行热处理。

10. 按权利要求 1 或 2 所述的方法,

其中,使用 300W 激光器。

11. 按权利要求 10 所述的方法,

其中,使用 Nd-YAG 激光器。

12. 按权利要求 1 或 2 所述的方法,

其中,实现了多晶体的焊缝 (19、21)。

13. 按权利要求 1 所述的方法,

其中,所述进给速度是 400mm/min-600mm/min。

14. 按权利要求 1 所述的方法,

其中,所述进给速度是 500mm/min。

15. 按权利要求 1 所述的方法,

其中,激光器功率为 100W 到 200W。

16. 按权利要求 1 所述的方法,

其中,激光器功率为 100W 到 150W。

17. 按权利要求 1 所述的方法,

其中,激光束的直径是 600 μm 。

18. 按权利要求 8 所述的方法,

其中,所述工件 (9) 由含 γ' 的镍基超合金制成。

19. 按权利要求 11 所述的方法,

其中,使用具有 $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ 的 Nd-YAG 激光器。

20. 用于焊接由耐高温的超合金制成的工件 (9) 的焊接装置,该焊接装置包括:

- 用于在工件表面 (10) 上产生热输入区域 (11) 的热源 (3);

- 用于将焊接填料 (13) 输入所述热输入区域 (11) 的输入装置 (5) 以及

- 用于产生一方面所述热源 (3) 和所述输入装置 (5) 与另一方面所述工件表面 (10) 之间的相对运动的输送装置 (15),

其特征在于,

使用激光器作为热源,

设有控制单元 (17),该控制单元能够至少调节激光器功率、进给速度、激光束的直径这些焊接参数,使得材料凝固时的冷却率至少为 8000 开每秒,

其中所述进给速度至少为 250mm/min,并且

其中激光器功率为 100W 到 300W,并且

其中激光束的直径为 500 μm 到 800 μm ,

由此形成多晶的焊层。

21. 按权利要求 20 所述的焊接装置,

其特征在于,

所述控制单元 (17) 能够调节关于激光器功率以及热输入区域 (11) 的直径方面的焊接参数,使得材料凝固时的冷却率至少为 8000 开每秒。

22. 按权利要求 20 或 21 所述的焊接装置,

其特征在于,

所述控制单元 (17) 能够执行具有至少 250mm 每分钟的进给速度的相对运动。

23. 按权利要求 20 或 21 所述的焊接装置，
其特征在于，

控制单元使所述热输入区域 (11) 和所述输入区域沿着焊接方向 (S1、S2) 以围绕焊接方向 (S1、S2) 振荡的路径 (P1、P2) 在工件表面 (10) 上运动。

24. 按权利要求 20 或 21 所述的焊接装置，
其特征在于，

所述热源 (3) 是激光器。

25. 按权利要求 20 或 21 所述的焊接装置，
其特征在于，

控制单元在按层焊接时能够将相互跟随的层 (19、21) 的焊接方向 (S1、S2) 相对旋转。

26. 按权利要求 20 或 21 所述的焊接装置，
该焊接装置具有 300W 激光器作为所述热源。

27. 按权利要求 26 所述的焊接装置，
该焊接装置具有 Nd-YAG 激光器作为所述热源。

28. 按权利要求 27 所述的焊接装置，
使用具有 $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ 的 Nd-YAG 激光器。

用于焊接由耐高温的超合金制成的工件的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及用于焊接工件、尤其是燃气轮机工件例如燃气轮机叶片的方法和装置。

背景技术

[0002] 燃气轮机的转子叶片在运行中暴露在高温和强烈的机械载荷之下。因此,对于这种部件来说优选使用镍基超合金,所述镍基超合金能够通过析出 γ' 相得到加强。然而随着时间的推移,会在转子叶片中出现裂纹,所述裂纹随着时间进一步扩展。例如由于极端的机械载荷会在燃气轮机运行中出现这种裂纹,然而裂纹也会在制造过程中已经出现。因为由这种超合金制造涡轮机叶片和其它工件是耗费的并且是成本昂贵的,所以人们致力于在制造中生产尽可能少的次品并且确保所制造的产品的使用寿命。

[0003] 当由于运行引起的应力不能再毫无问题地确保无缺陷的功能时,通常维修并且必要时更换处于运行中的燃气轮机叶片。为了实现进一步使用更换的涡轮机叶片,尽可能对所述涡轮机叶片进行再加工。然后所述涡轮机叶片就能够重新用在燃气轮机中。在这种再加工的范围内例如会需要在受损区域中进行堆焊,从而再形成原始的壁厚。

[0004] 已经在制造过程中出现裂纹的涡轮机叶片也可以例如用堆焊使其变得适合于使用,从而能够减少制造中的次品。

[0005] 然而借助于常规的用相同种类的填料进行的焊接方法目前很难焊接 γ' 增强的镍基超合金。对此的原因是,必须避免微观偏析,也就是熔液的微小的偏析。此外,焊接过程本身会导致在后面的热处理期间裂纹在焊接区域中的产生。对此的原因是在焊接时输入热量期间由塑性变形引起的焊接内应力。

[0006] 为了回避 γ' 硬化的镍基超合金的困难的可焊接性,经常用可延展的焊接填料、例如用没有 γ' 硬化的镍基合金进行焊接。这种没有 γ' 硬化的镍基合金的典型代表例如是 IN625。没有 γ' 硬化的填料的延展性允许在焊接之后在第一热处理期间降低通过塑性变形引起的焊接应力。然而所述未硬化的合金相对于 γ' 硬化的镍基超合金具有较小的耐高温强度(不仅拉伸强度很小而且持久强度也很小)。因此,优选使用没有可延展的填料的焊接方法。所述方法可以分成两类,也就是为了提高可延展性借助于 γ' 相的粗化进行基材的过时效处理的方法以及在预热基底的情况下实施焊接过程的方法。在预热的基底上实施焊接过程在焊接过程期间通过恢复降低了焊接内应力。

[0007] 例如在 US 6,120,624 中描述了具有事先的过时效处理的焊接过程,例如在 US 5,319,179 中描述了在预热的工件上实施的焊接过程。

[0008] 然而,所述两种没有可延展的焊接填料的焊接方法同样具有缺点。例如在焊接过程前面实施的过时效处理中在焊接之前对可 γ' 硬化的镍基超合金进行相应的热处理,从而引起 γ' 相的过时效处理。在此,显著提高了基材的可延展性。可延展性的这种提高实现了在室温下焊接材料。此外能够对所述材料进行冷整形。此外,这种热处理实现了使用镍基超合金例如 Rene41 或者 Haynes282 作为焊接填料。这虽然形成了 γ' 相组织,但是比

目前用于燃气轮机热气组件例如燃气轮机叶片的典型的含 γ' 的镍基超合金（例如 IN738LC、IN939、Rene80、IN6203DS、PWA1483SX、Alloy247 等）具有明显更少的体积份额。因此，即使在焊接过程前进行过时效处理也不能进行全结构的焊接。

[0009] 如果预热涡轮机叶片，那么减少焊接部位与涡轮机叶片的其余部位之间的温度差以及由此形成的应力梯度，由此可以避免在由镍基超合金制成的部件中形成焊接裂纹。然而，这种借助于感应线圈将涡轮机叶片预热到 900℃ 和 1000℃ 之间的温度的方法必须在有保护气体的情况下实施，这使得焊接过程复杂化并且使该焊接过程变得昂贵。此外，由于缺乏对处于保护气体容器中的工件的可接近性，不能在工件的所有区域上实施所述方法。

发明内容

[0010] 因此，需要作为替代方案的用于堆焊的焊接方法，所述焊接方法尤其适合于 γ' 硬化的镍基超合金并且不具有或者仅仅在很小的程度上具有上述缺点。本发明的另一任务是提供一种适合于实施按本发明的方法的焊接装置。

[0011] 第一个任务通过按权利要求 1 所述的用于堆焊的方法得到解决，第二个任务通过按权利要求 12 所述的焊接装置得到解决。

[0012] 从属权利要求包含本发明的有利的设计方案并且能够有利地相互任意组合。

[0013] 在按本发明的用于焊接由耐高温的超合金制成的工件的方法中，借助于热输入区域以及将焊接填料输入热输入区域中的输入区域将焊接填料施加到工件表面上。所述热输入区域和输入区域在焊接期间在工件表面上运动。该运动可以沿着焊接方向进行，例如在线性的路径上或者在围绕焊接方向振荡的路径上。在按本发明的方法中如此选择焊接参数，使得材料凝固时的冷却率至少为 8000K/s。

[0014] 为了在材料凝固时出现至少 8000K/s 的冷却率所提供的主要参数是在焊接功率和热输入区域的直径方面的方法参数例如激光器功率和激光束的直径形式的方法参数以及进给（处理速度）和必要时输入的焊接填料流。根据所使用的激光源的种类，可以通过合适地调整所述参数来调节有待焊接的材料的要求的冷却率。在此，处理速度可以至少为 250mm/min，尤其大于 500mm/min。例如在处理速度大于 500mm/min 时可以调节在焊接功率和热输入区域的直径方面的方法参数，使得材料凝固时的冷却率至少为 8000K/s。

[0015] 通过高的冷却率以及高的凝固速度在一定程度上提高了分配系数，从而在一定程度上避免了微观偏析，也就是熔液的微小的偏析。焊接物中的熔液枝状地凝固，也就是以树状结构进行凝固，其中枝状晶的生长方向沿着焊接轨迹变化，因为枝状晶的可能的生长方向的定向朝凝固前线上的温度梯度变化。进行具有朝温度梯度最小的倾向的或者说具有最小的生长速度的生长方向。此外，在凝固前线前面形成晶核，该晶核在凝固时由凝固前线填补。所述晶核推动按统计学分布的枝状晶生长方向。

[0016] 按本发明的方法例如适合于借助于焊接填料焊接由含 γ' 的镍基超合金制成的工件，该焊接填料是形成 γ' 的镍基超合金材料。这样就可以在焊接物中由于使用同类的填料而获得较高的强度并且获得可接受的焊接质量，也就是非常少量的裂纹以及非常小的平均裂纹长度。由于在具有局部处于熔化池旁的保护气体气氛的室温下实施焊接过程的可能性，按本发明的焊接方法实现了较高的经济性。

[0017] 所述方法尤其可以设计成堆焊方法，其中按层地施加焊接填料。在此，相互跟随的

层的焊接方向能够相互旋转尤其 90° 。通过旋转不同层的焊接方向,尤其在热输入区域和输入区域还沿着焊接方向以围绕焊接方向振荡的轨道在工件表面上运动时能够避免层之间的连接缺陷。

[0018] 不规则分布的枝状晶定向主要处于焊接轨迹的上面一半中。因此在按本发明的方法中有利地将前面施加的层再熔化到少于其层厚的一半的程度。在此,在凝固时承受再熔化区域的晶体结构。通过微小的再熔化深度确保了凝固前线放在具有不规则分布的枝状晶定向的区域上。结果是,这在多层焊接中导致产生了具有晶粒的多晶体,所述晶粒的直径平均很小。晶界通常是在焊接过程或者后面的热处理过程期间的瞬时应力下形成裂纹方面的薄弱部位。通过晶界在平面内微小的伸展以及其在用按本发明的方法进行焊接的焊接物中不规则的定向使得焊接物对于裂纹形成不敏感,从而能够在室温下实施焊接过程。

[0019] 按本发明的方法不仅能够应用在多晶体的基底中而且也能够应用在定向凝固的或者单晶的基底中。在所有所述情况下能够将含 γ' 的镍基超合金用作焊接填料。

[0020] 在按本发明的焊接方法的范围内,可以在施加焊接填料之后进行热处理。用与焊接物匹配的热处理能够调节所希望的 γ' 形态。这用于进一步改善焊接物的强度。

[0021] 按本发明的用于焊接耐高温的超合金的焊接装置适合于实施按本发明的方法,该焊接装置包括用于在工件表面上产生热输入区域的热源、用于将焊接填料输入所述热源中输入装置以及用于产生一方面热输入区域和输入装置与另一方面工件表面之间的相对运动的输送装置。所述输送装置有利地与热源和用于焊接填料的输入装置连接,从而为了引起相对运动而使热源和输入装置运动。这通常比让工件运动耗费得少。作为热源,在按本发明的焊接装置中尤其可以使用激光器。此外,按本发明的焊接装置包括具有控制程序的控制单元,该控制程序如此调节焊接参数,使得冷却率在材料凝固时至少为 8000 开每秒。控制单元尤其如此调节在焊接功率以及热输入区域的直径方面的焊接参数,使得冷却率在材料凝固时至少为 8000 开每秒。在此,可以以至少 250mm 每分钟的处理速度、尤其用大于 500mm 每分钟的处理速度进行焊接。

[0022] 尤其能够如此控制相对运动,使得热输入区域和输入区域沿着焊接方向以围绕焊接方向振荡的路径在工件表面上运动。此外,所述控制单元能够如此执行具有振荡或者没有振荡的相对运动,从而在相互跟随的层中将焊接方向相互旋转例如 90° 。

[0023] 按本发明的焊接装置实现了通过使用控制程序来实施按本发明的焊接方法,所述控制程序为了焊接过程包含在方法范围内描述的焊接参数,例如一方面热源和输入装置与另一方面工件之间的相对运动的轨道、处理速度、激光器功率、射束直径等。在方法范围内描述的方法参数以及机理帮助抑制在基材和熔液中形成裂纹例如凝固裂纹或者再熔化裂纹。尤其在不仅基材而且焊接填料都是形成 γ' 的镍基超合金时也是这种情况。由此获得可用按本发明的方法和按本发明的焊接装置实现的焊接质量,该焊接质量对于例如为了在涡轮机叶片或者其它工件的承受高载荷的区域中进行修复或者接合而在结构上进行的焊接来说是可接受的。

附图说明

[0024] 本发明的其它特征、特性和优点从下面参照附图对实施例所作的描述中获得。

[0025] 图 1 示例性地示出了燃气涡轮机的部分纵剖图。

- [0026] 图 2 示出了涡轮机叶片的透视图。
- [0027] 图 3 示出了燃气涡轮机燃烧室的部分剖开的透视图。
- [0028] 图 4 示出了按本发明的焊接装置的示意图。
- [0029] 图 5 示出了焊接填料上第一层的焊道。
- [0030] 图 6 示出了焊接填料上第二层的焊道。

具体实施方式

- [0031] 图 1 示例性地示出了燃气涡轮机 100 的部分纵剖图。
- [0032] 燃气涡轮机 100 在内部具有围绕旋转轴线 102 得到旋转支承的具有轴 101 的转子 103, 该转子也称为涡轮机转子。
- [0033] 沿着转子 103 先后跟随着进气壳体 104、压缩机 105、例如环面状的燃烧室 110 尤其其环形燃烧室连同多个同轴布置的燃烧器 107、涡轮机 108 以及排气壳体 109。
- [0034] 所述环形燃烧室 110 与例如环形的热气通道 111 相通。在那里, 例如四个前后连接的涡轮机级 112 形成了涡轮机 108。
- [0035] 每个涡轮机级 112 例如由两个叶片环形成。沿着工作介质 113 的流动方向看, 在热气通道 111 中, 由转子叶片 120 形成的组 125 跟随着导向叶片组 115。
- [0036] 在此, 导向叶片 130 固定在定子 143 的内部壳体 138 上, 相反, 组 125 的转子叶片 120 例如借助于涡轮叶轮盘 133 安置在转子 103 上。
- [0037] 发电机或者工作机器 (没有示出) 联结在转子 103 上。
- [0038] 在燃气涡轮机 100 运行期间, 由压缩机 105 通过进气壳体 104 吸入并且压缩空气 135。在压缩机 105 的涡轮机侧的端部提供的压缩的空气通向燃烧器 107 并且在那里与燃烧剂混合。然后, 该混合物在形成工作介质 113 的情况下在燃烧室 110 中燃烧。从那里出发, 工作介质 113 沿着热气通道 111 流过导向叶片 130 以及转子叶片 120。工作介质 113 在转子叶片 120 上传递脉冲地膨胀, 使得转子叶片 120 驱动转子 103 并且该转子驱动联结在其上的工作机器。
- [0039] 暴露在热的工作介质 113 下的部件在燃气涡轮机 100 运行期间处于热载荷下。除了给环形燃烧室 110 加衬的隔热元件之外, 沿着工作介质 113 的流动方向看的第一涡轮机级 112 的导向叶片 130 和转子叶片 120 经受最多的热载荷。
- [0040] 为了经受住那里存在的温度, 可以借助于冷却剂将其冷却。
- [0041] 所述部件的基底同样可以具有定向结构, 也就是说所述基底是单晶结构 (SX 结构), 或者仅仅具有纵向定向的晶粒 (DS 结构)。
- [0042] 作为用于所述部件的材料、尤其用于涡轮机叶片 120、130 和燃烧室 110 的部件的材料, 例如使用铁基、镍基或者钴基的超合金。
- [0043] 这种超合金例如由 EP 1 204 776 B1、EP 1 306 454、EP 1 319 729A1、WO 99/67435 或者 WO 00/44949 公开。
- [0044] 所述叶片 120、130 同样可以具有抗腐蚀的涂层 (MCrAlX; M 是铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni) 组中的至少一种元素, X 是活性元素并且表示钇 (Y) 和 / 或硅、钪 (Sc) 和 / 或至少一种稀土元素或者说铪)。这种合金由 EP 0 486 489 B1、EP 0 786 017 B1、EP 0 412 397 B1 或者 EP 1 306 454 A1 公开。

[0045] 在 MCrAlX 上还可以存在隔热层,该隔热层例如由 ZrO_2 、 Y_2O_3 - ZrO_2 制成,也就是说该隔热层不是部分或者完全地通过氧化钇和 / 或氧化钙和 / 或氧化镁来稳定。

[0046] 通过合适的涂层方法例如电子束气相沉积 (EB-PVD) 在隔热层中产生杆状晶粒。

[0047] 所述导向叶片 130 具有面对涡轮机 108 的内部壳体 138 的导向叶根 (这里没有示出) 以及与导向叶根对置的导向叶片顶部。该导向叶片顶部面对转子 103 并且固定在定子 143 的固定环 140 上。

[0048] 图 2 以透视图示出了流体机械的转子叶片 120 或导向叶片 130,该转子叶片或者导向叶片沿着纵轴线 121 延伸。

[0049] 该流体机械可以是飞机的或者用于发电的发电厂的燃气涡轮机、蒸汽涡轮机或者压缩机。

[0050] 所述叶片 120、130 沿着纵轴线 121 先后跟随地具有固定区域 400、邻接的叶片平台 403 以及叶身 406 和叶尖 415。

[0051] 作为导向叶片 130,该叶片 130 在其叶尖 415 上可以具有另一平台 (没有示出)。

[0052] 在固定区域 400 中形成了叶根 183,该叶根用于将转子叶片 120、130 固定在轴上或者盘上 (没有示出)。

[0053] 例如将叶根 183 设计成锤头。其它作为枫树叶根或者燕尾叶根的设计方案也是可以的。

[0054] 所述叶片 120、130 对于流过叶身 406 的介质具有流入边缘 409 和流出边缘 412。

[0055] 在常规的叶片 120、130 中,在叶片 120、130 的所有区域 400、403、406 中例如使用实心的金属材料、尤其超合金。

[0056] 这种超合金例如由 EP 1 204 776 B1、EP 1 306 454、EP 1 319 729A1、WO 99/67435 或者 WO 00/44949 公开。

[0057] 在此,所述叶片 120、130 可以通过铸造方法、也借助于定向凝固、通过锻造方法、通过铣削方法或者这些方法的组合制成。

[0058] 具有单晶结构的工件用作机器的部件,所述部件在运行中暴露在高的机械、热和 / 或化学载荷之下。

[0059] 例如通过由熔液的定向凝固来制造这种单晶的工件。在此涉及铸造方法,其中将液态的金属合金定向凝固成单晶结构,也就是定向凝固成单晶的工件。

[0060] 在此,枝状的晶体沿着热流定向,并且要么形成杆状晶的晶粒结构 (柱状晶,也就是在工件的整个长度上延伸的并且在这里根据普通的语言惯用语称为定向凝固的晶粒) 要么形成单晶的结构,也就是整个工件由一个唯一的晶体构成。在这种方法中必须避免过渡到球状晶的 (多晶的) 凝固,因为通过非定向的生长必然形成横向和纵向的晶界,这些晶界使得定向凝固的或者单晶的部件的良好特性遗失殆尽。

[0061] 如果通常谈及定向凝固的组织,那么以此不仅是指没有晶界或者最多具有小角度晶界的单晶体,而且是指具有可能沿纵向延伸的晶界、但是没有横向晶界的杆状晶结构。这两种提到的晶体结构人们也称为定向凝固的组织 (directionally solidified structured)。

[0062] 这种方法由 US-PS 6,024,792 以及 EP 0 892 090 A1 公开。

[0063] 所述叶片 120、130 同样可以具有抗腐蚀或抗氧化的涂层,例如 (MCrAlX;M 是铁

(Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni) 组中的至少一种元素, X 是活性元素并且表示钇 (Y) 和 / 或硅和 / 或至少一种稀土元素或者说铪 (Hf))。这种合金由 EP 0 486 489 B1、EP 0 786 017 B1、EP 0 412 397 B1 或者 EP 1 306 454 A1 公开。

[0064] 密度优选是理论密度的 95%。

[0065] 在 MCrAlX 层 (作为中间层或者最外面的层) 上形成了保护性的氧化铝层 (TGO = 热生长氧化层)。

[0066] 优选所述层成分具有 Co-30Ni-28Cr-8Al-0.6Y-0.7Si 或者 Co-28Ni-24Cr-10Al-0.6Y。除了所述钴基的保护涂层之外, 也优选使用镍基的保护层, 例如 Ni-10Cr-12Al-0.6Y-3Re 或者 Ni-12Co-21Cr-11Al-0.4Y-2Re 或者 Ni-25Co-17Cr-10Al-0.4Y-1.5Re。

[0067] 在 MCrAlX 上还可以存在隔热层, 该隔热层优选是最外面的层并且例如由 ZrO_2 、 Y_2O_3 - ZrO_2 制成, 也就是说该隔热层不是部分或者完全地通过氧化钇和 / 或氧化钙和 / 或氧化镁来稳定。

[0068] 所述隔热层覆盖整个 MCrAlX 层。

[0069] 通过合适的涂层方法例如电子束气相沉积 (EB-PVD) 在隔热层中产生杆状晶粒。

[0070] 可以考虑其它涂层方法, 例如大气等离子喷涂 (APS)、LPPS、VPS 或者 CVD。所述隔热层可以具有多孔的、带有微观裂纹或者宏观裂纹的晶粒用于更好地抵抗热冲击。因此, 该隔热层优选比 MCrAlX 层更多孔。

[0071] 再加工 (翻新) 是指, 所述部件 120、130 在其使用之后必要时必须除去保护层 (例如通过喷砂)。随后去除腐蚀层和 / 或氧化层或者说腐蚀产物和 / 或氧化产物。必要时也还要修复部件 120、130 中的裂纹。随后重新对部件 120、130 进行涂层并且重新使用部件 120、130。

[0072] 所述叶片 120、130 可以构造成空心的或者实心的。如果要冷却所述叶片 120、130, 那么该叶片是空心的并且必要时还具有薄膜冷却孔 418 (虚线示出)。

[0073] 图 3 示出了燃气涡轮机的燃烧室 110。该燃烧室 110 例如构造成所谓的环形燃烧室, 在该燃烧室中大量沿周向围绕旋转轴线 102 布置的燃烧器 107 通入共同的燃烧室空间 154 中, 产生火焰 156。为此, 燃烧室 110 整体构造成环形的结构, 该结构围绕旋转轴线 102 进行定位。

[0074] 为了获得比较高的效率, 所述燃烧室 110 设计用于工作介质 M 的较高的从大约 1000°C 到 1600°C 的温度。为了在这种对于材料来说不利的工作参数下也能实现较长的使用寿命, 燃烧室壁 153 在其面对工作介质 M 的一侧设有由隔热元件 155 形成的内衬板。

[0075] 每个由合金制成的隔热元件 155 在工作介质侧设有特别耐热的保护层 (MCrAlX 层和 / 或陶瓷涂层) 或者由耐高温的材料 (实心的陶瓷砖) 制成。

[0076] 所述保护层可以类似于涡轮机叶片, 也就是例如意味着 MCrAlX : M 是铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni) 组中的至少一种元素, X 是活性元素并且代表钇 (Y) 和 / 或硅和 / 或至少一种稀土元素或者说铪 (Hf)。这种合金由 EP 0 486 489 B1、EP 0 786 017 B1、EP 0 412 397 B1 或者 EP 1 306 454 A1 公开。

[0077] 在 MCrAlX 上还可以存在例如陶瓷的隔热层, 并且该隔热层例如由 ZrO_2 、 Y_2O_3 - ZrO_2 制成, 也就是说该隔热层不是部分或者完全地通过氧化钇和 / 或氧化钙和 / 或氧化镁来稳

定。

[0078] 通过合适的涂层方法例如电子束气相沉积 (EB-PVD) 在隔热层中产生杆状晶粒。

[0079] 可以考虑其它涂层方法,例如大气等离子喷涂 (APS)、LPPS、VPS 或者 CVD。所述隔热层可以具有多孔的、带有微观裂纹或者宏观裂纹的晶粒用于更好地抵抗热冲击。

[0080] 再加工 (翻新) 是指,所述隔热元件 155 在其使用之后必要时必须除去保护层 (例如通过喷砂)。随后去除腐蚀层和 / 或氧化层或者说腐蚀产物和 / 或氧化产物。必要时也还要修复隔热元件 155 中的裂纹。随后重新对隔热元件 155 进行涂层并且重新使用隔热元件 155。

[0081] 此外,由于燃烧室 110 内部的高的温度,可以为隔热元件 155 或者说为其保持元件设置冷却系统。这样,所述隔热元件 155 例如是空心的并且必要时还具有通入燃烧室空间 154 的冷却孔 (没有示出)。

[0082] 图 4 以非常示意性的视图示出了按本发明的焊接装置 1。

[0083] 所述焊接装置包括激光器 3 以及粉末输入装置 5,用该粉末输入装置能够将粉末状的焊接填料施加到工件 9 的有待焊接的区域上。借助于激光束在工件表面上形成热输入区域 11,由粉末输入装置 5 也将粉末 13 置入该热输入区域 11 中。所述激光器优选是 300W 激光器,尤其是 Nd-YAG 激光器,特别具有 $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ 。该激光器功率在 100W 和 300W 之间,并且优选在 100W 和 200W 之间,尤其在 100W 和 150W 之间。就这样有利地很好地熔化焊接材料并且也熔化底座,由此获得密封的焊接部位。

[0084] 所述激光器 3 和粉末输入装置 5 布置在扫描装置 15 上,该扫描装置实现了将激光器 3 和粉末输入装置 5 沿着具有有待焊接的区域 7 的部件表面在两个维度中 (图 4 中的 x 和 y 方向) 进行移动。处理速度至少为 250mm/min,特别是 400mm/min-600mm/min,尤其是 500mm/min。如此实现了将热量有利地输入焊接材料和基底中。

[0085] 此外,按本实施例的扫描装置 15 实现了激光器 3 和粉末输入装置 5 垂直于部件表面 (图 4 中的 z 方向) 的移动。由此,借助于扫描装置 15 能够沿着预先给定的路径移动热输入区域和粉末的冲击区域。作为扫描装置例如可以使用机械臂。激光束的直径尤其为 $500 \mu\text{m}$ 到 $700 \mu\text{m}$,特别是 $600 \mu\text{m}$ 。由此能够有利地加热输入的焊接材料。

[0086] 通过控制单元 17 对由扫描装置 15 促成的运动进行控制,该控制单元也控制焊接过程的其余参数。然而与本实施例不同的是,也可以通过附加的控制、也就是与运动过程的控制分开地对焊接过程的其余参数进行控制。此外与所示出的实施例不同的是,也可以使用可运动的部件夹具来代替用于使激光器 3 和粉末输入装置 5 运动的扫描装置 15。在本发明的范围内,只有在一方面激光器 3 以及粉末输入装置 5 和另一方面工件 9 之间的相对运动是有意义的。

[0087] 按本发明的用于给工件表面进行堆焊的方法能够用于在部件 9 的有待焊接的区域 7 上进行材料施加尤其多层的材料施加。在此,所述部件 9 既不需要预热,也不需要借助于热处理进行过时效处理。

[0088] 下面根据在作为工件的涡轮机叶片 9 的表面 10 上的堆焊对本方法进行描述。本实施例的涡轮机叶片由 γ' 增强的镍基超合金制成,例如由 IN738LC、IN939、Rene80、IN6203DS、PWA1483SX、Alloy247 等制成。涡轮机叶片 9 的表面 10 中有待焊接的区域 7 按层进行堆焊,其中热输入区域连同用于粉末 13 的冲击区域一起沿着焊接方向在涡轮机叶片 9

的有待焊接的区域 7 上运动。在这种情况下,所述粉末 13 是由含 γ' 的镍基超合金制成的粉末,例如由 IN738LC、IN939、Rene80、IN6203DS、PWA1483、Alloy247 等制成。

[0089] 在图 5 中示意性地示出了热输入区域 11 以及粉末 13 的冲击区域在堆焊第一层时在有待焊接的区域 7 上经过的路径 P1。附图示出了具有有待焊接的区域 7 以及在堆焊第一层 19 时的焊接方向 S1 的涡轮机叶片 9。然而,同时表示用于粉末 13 的冲击区域的热输入区域 11 没有沿着焊接方向 S1 线性移动,而是在沿着焊接方向移动的同时沿着垂直于焊接方向的方向振荡。由此,热输入区域 11 和粉末 13 的冲击区域在有待焊接的区域 7 上产生了曲折形的路径 P1。

[0090] 为了堆焊第二层 21 (图 4),稍微沿着扫描装置 15 的 z 方向移动激光器 3 和粉末输入装置 5。此外,在本实施例中焊接方向 S2 相对于用于第一层的焊接方向 S1 旋转了 90° 。在图 6 中示出了热输入区域 11 和用于粉末 13 的冲击区域在堆焊第二层 21 时的路径 P2。在堆焊第二层 21 时,热输入区域 11 连同粉末 13 的冲击区域一起也沿着垂直于焊接方向 S2 的方向振荡。因此,总体上获得了热输入区域 11 和用于粉末 13 的冲击区域在有待焊接的区域 7 上的曲折形的路径 P2。

[0091] 在实施例范围内描述的路径仅仅表示不同可能的变型方案之一。原则上存在多种方案用于实施焊接:1. 单向的或者 2. 双向的(例如曲折形的)堆焊。在每种变型方案中,第二层的轨迹(路径)可以与第一层的轨迹(路径)平行错开地或者垂直地进行焊接。可以在按本发明的方法的范围内应用所有这些变型方案。

[0092] 在激光器和粉末输入单元移动时可以如此选择所述振荡,从而沿着焊接方向以一个唯一的路径扫过整个有待焊接的区域 7,如图 5 中所示,或者仅仅扫过有待焊接的区域 7 的一部分,并且为了堆焊整个区域沿焊接方向 S2 走过多个并排延伸的路径 S2,如图 6 中所示。

[0093] 在本实施例中以至少 500mm/min 的处理速度进行热输入区域 11 和粉末 13 的冲击区域沿着路径 P1 或者说 P2 的移动。在此,如此选择激光器功率、射束直径和粉末流,使得凝固时扫过的区域的冷却率大于 8000K/s。此外,在堆焊第二层 21 时如此选择关于激光器功率和射束直径的处理参数,使得第一层 19 再次熔化的再熔化深度小于第一层 19 的轨迹高度的 50%。在图 4 中用虚线示出了再熔化深度。原则上也可以使用不同于在本例子中说明的处理速度,然后必须相应地调整激光器功率、射束直径和粉末流这些其余的参数。

[0094] 通过高的冷却率以及高的凝固速度在一定程度上提高了分配系数,从而在一定程度上避免了微观偏析。通过热输入区域 11 引起的熔液枝状地凝固,其中晶体结构由在再熔化的区域中存在的晶体结构承担。在此,枝状晶的生长方向沿着路径 P1、P2 改变。对此的原因是,枝状晶的可能的生长方向的定向朝温度梯度变化,其中生长方向具有朝温度梯度最小的倾向或者说具有最小的生长速度。此外,在凝固前线前面形成的并且在凝固时由凝固前线填补的晶核推动了按统计学分布的枝状晶生长方向。不规则分布的枝状晶定向绝大多数处于层 19 的上面一半中。因此,用微小的再熔化深度确保了将凝固前线放到具有不规则分布的枝状晶定向的区域上,这在多层堆焊时导致产生具有直径平均很小的晶粒的多晶体。由此,所述涡轮机叶片 9 的焊接的区域对于裂纹形成不敏感。

[0095] 在涂覆所需要数量的层 19、21 之后,可以使涡轮机叶片 9 经热处理,该热处理使得出现所希望的 γ' 形态。这用于进一步改善涡轮机叶片 9 的焊接的区域的强度。

[0096] 用按本发明的方法能够在室温下并且在有待焊接的部件没有事先进行过时效处理的情况下进行堆焊,其中抑制形成凝固裂纹以及再熔化裂纹。这引起对于结构上的焊接来说尤其可以被燃气涡轮机叶片的经受高载荷的区域所接受的然而也被其它部件所接受的焊接质量。同时,仅仅对基材产生非常小的影响,因为由于较小的热影响区域(不进行预热)以及对热影响区域中再熔化裂纹的抑制仅仅将非常少的热量输入基底中。

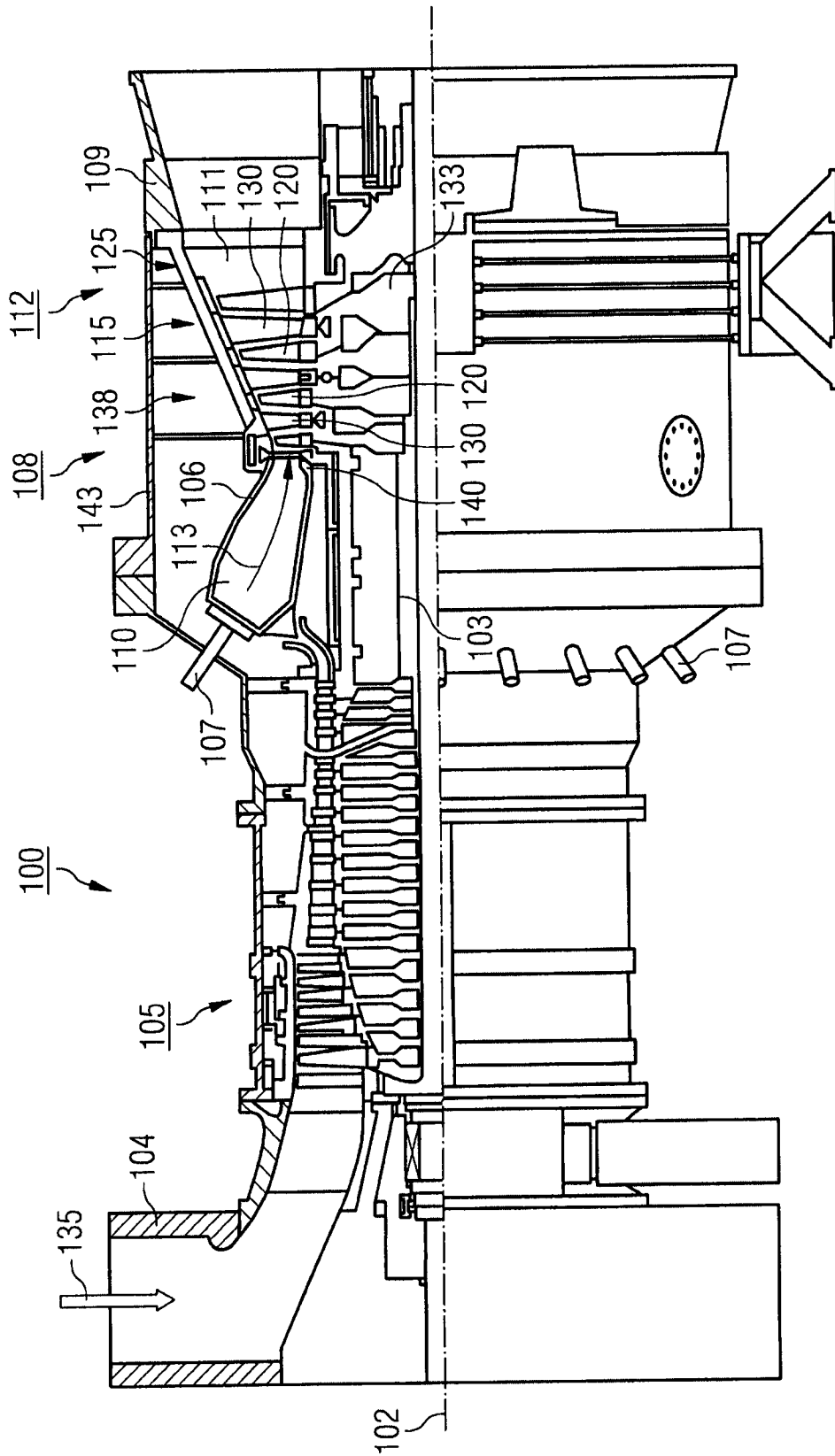


图 1

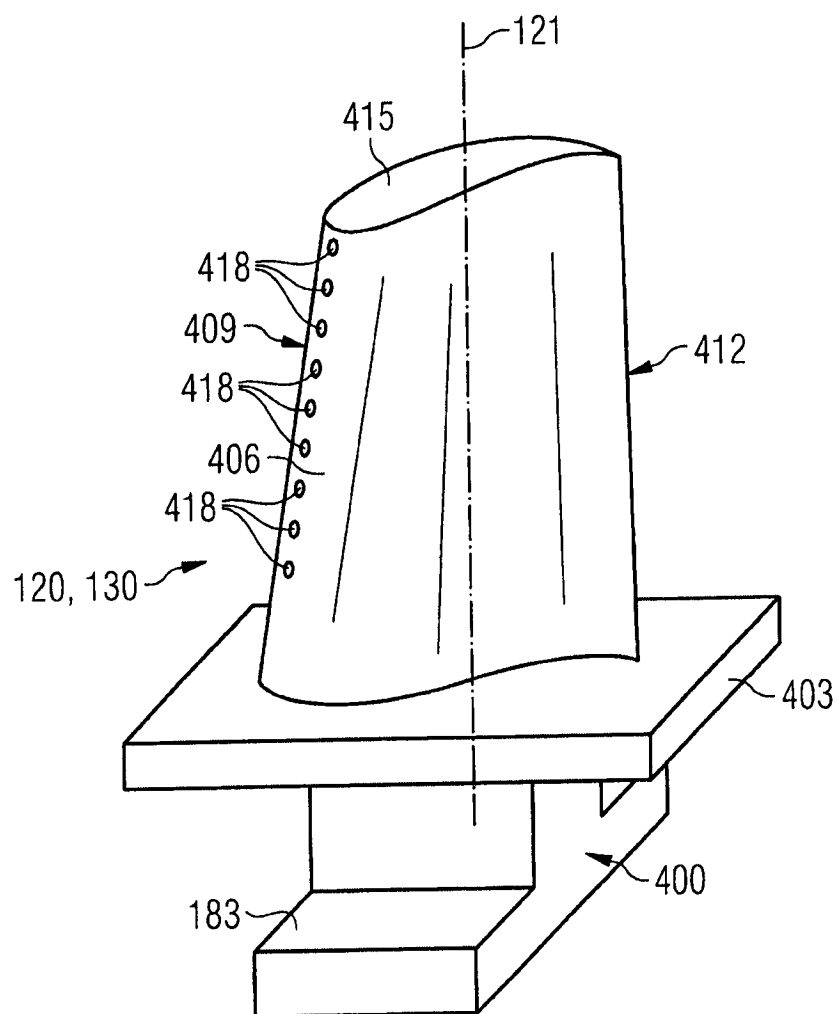


图 2

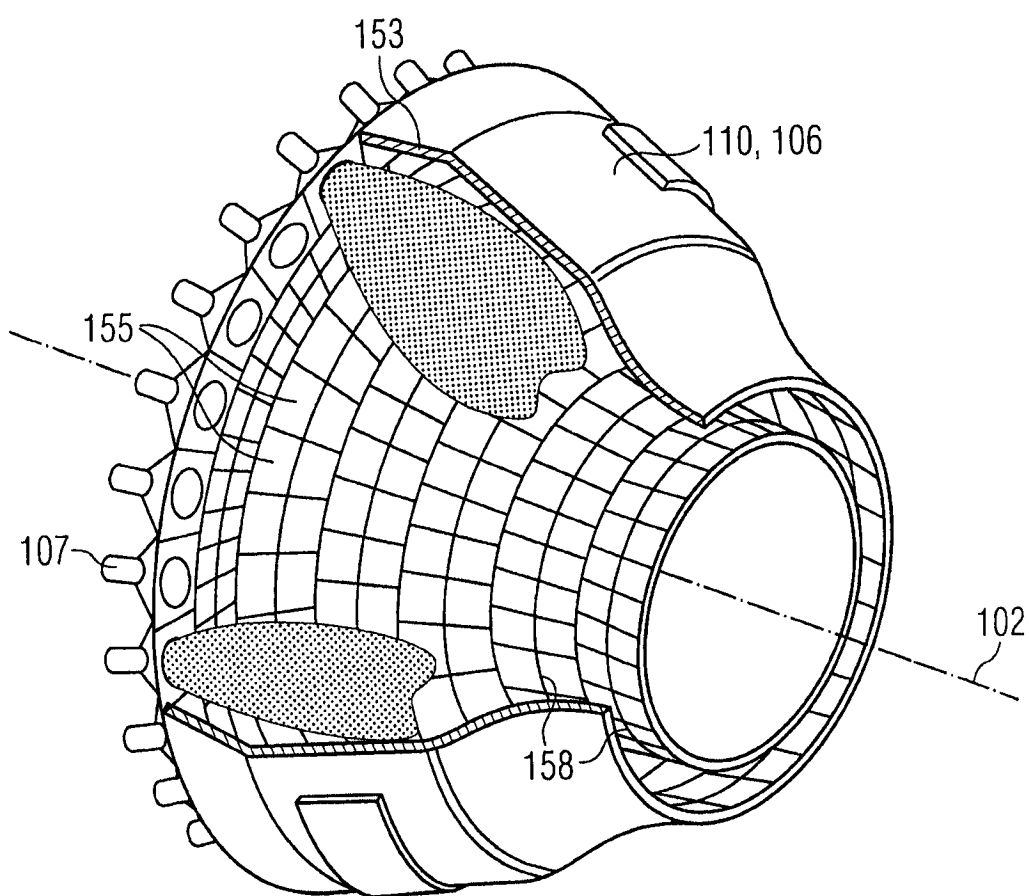


图 3

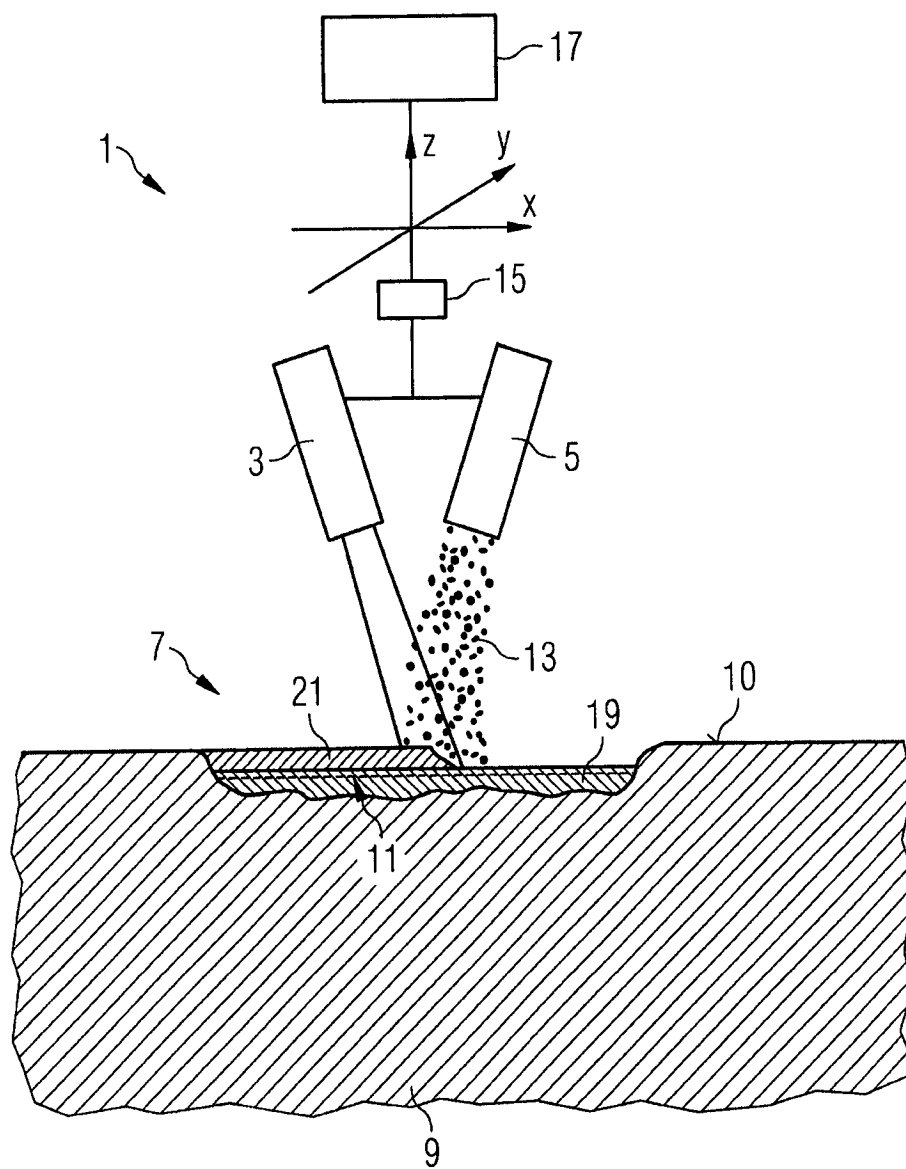


图 4

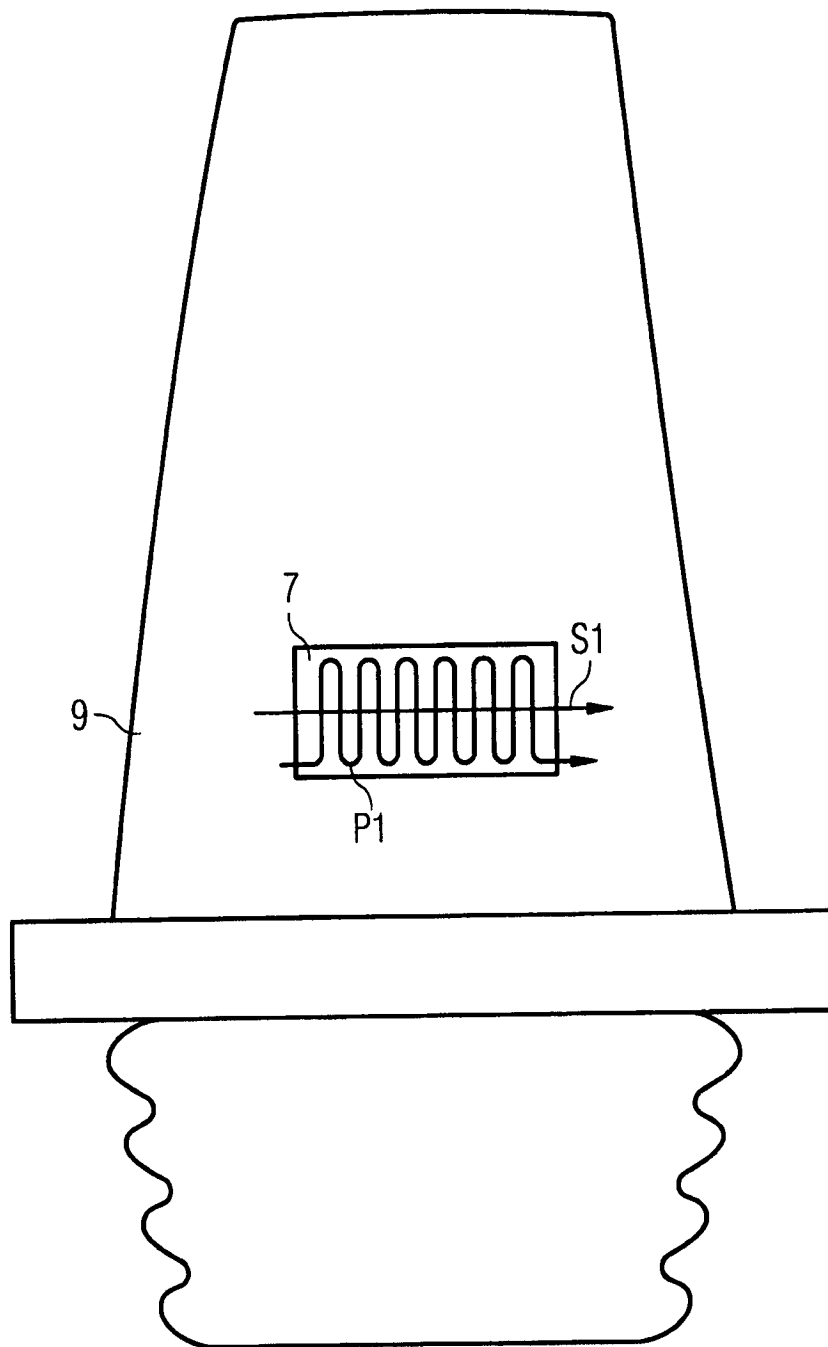


图 5

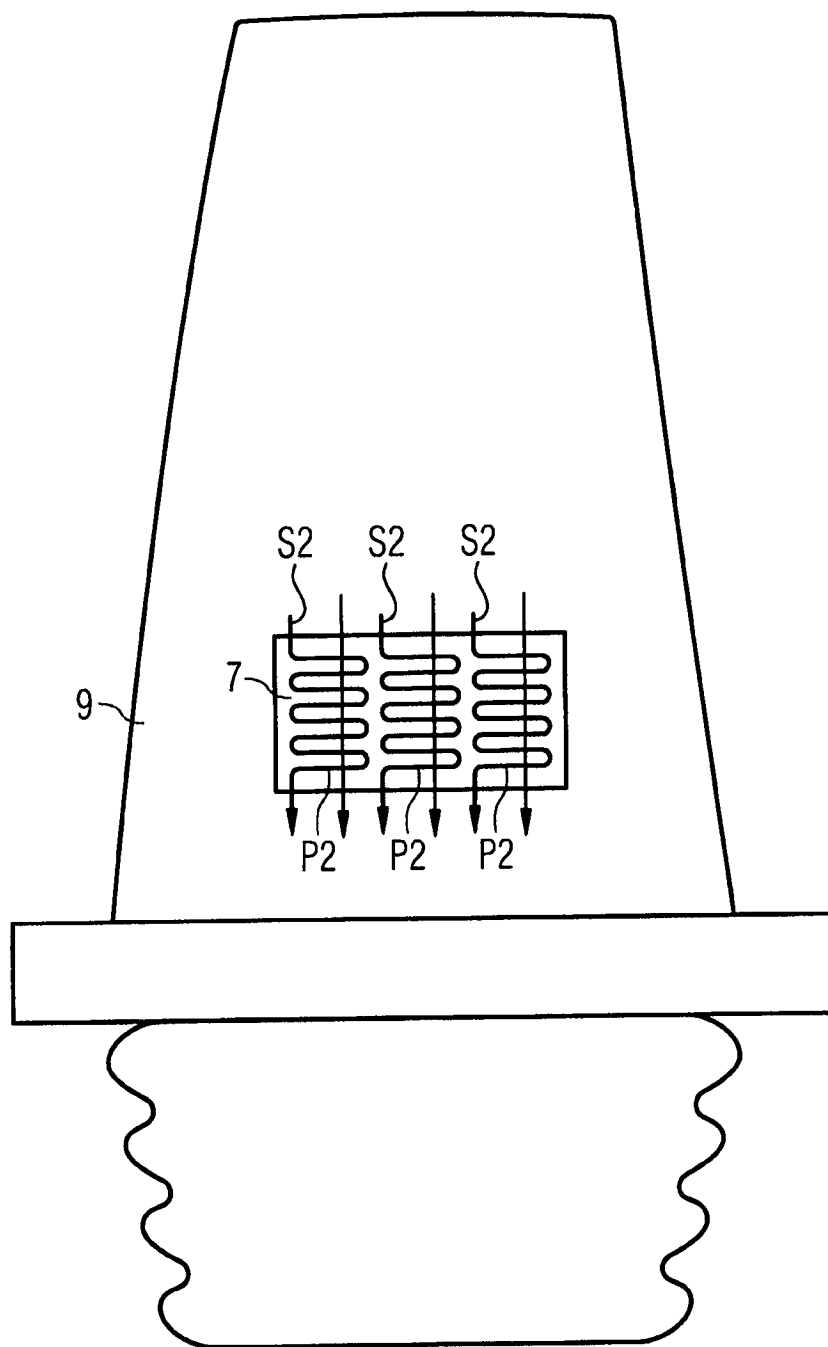


图 6