



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102639283 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 09

(21) 申请号 201080051539. X

(22) 申请日 2010. 11. 10

(30) 优先权数据

09014234. 0 2009. 11. 13 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 05. 14

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2010/067188 2010. 11. 10

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/058045 DE 2011. 05. 19

(73) 专利权人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

专利权人 弗劳恩霍夫实用研究促进协会

(72) 发明人 贝恩德·布尔鲍姆

安德烈斯·加塞尔

托尔斯滕·扬博尔

斯特法尼·林嫩布林克

诺贝特·皮尔沙 尼古拉·阿里亚金

乔治·博斯坦约格洛

托尔斯滕·梅尔策-约基施

塞利姆·莫卡德姆 米夏埃尔·奥特

罗尔夫·维尔肯赫纳

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 张春水 田军锋

(51) Int. Cl.

B23K 26/32(2014. 01)

B23K 26/342(2014. 01)

B23P 6/00(2006. 01)

F01D 5/00(2006. 01)

F01D 5/12(2006. 01)

B05B 7/22(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2002/0148817 A1, 2002. 10. 17,

US 2002/0148817 A1, 2002. 10. 17,

US 5453329 A, 1995. 09. 26,

US 2004/0191064 A1, 2004. 09. 30,

US 5160822 A, 1992. 11. 03,

US 6054672 A, 2000. 04. 25,

US 5208431 A, 1993. 05. 04,

CN 101480756 A, 2009. 07. 15,

CN 101495265 A, 2009. 07. 29,

审查员 孔祥艳

权利要求书2页 说明书9页 附图6页

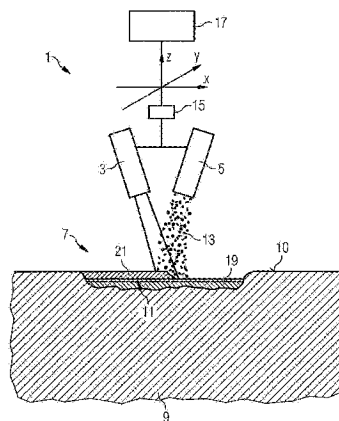
(54) 发明名称

具有焊接添加材料的特殊质量输送率的、用于焊接由耐高温超合金制成的工件的方法

(57) 摘要

提出一种用于焊接由耐高温超合金构成的工件的焊接方法。其包括：借助热源(3)在工件表面(10)上产生热引入区域(11)；借助于输送装置(5)将焊接添加材料(13)输送到热引入区域中；以及借助运输设备(15)在一方面热源(3)和输送装置(5)以及另一方面工件表面(10)之间产生相对运动。此外，该焊接方法包括：质量输送率为≤350mg/min。

CN 102639283 B



1. 一种用于焊接由耐高温超合金制成的工件的方法，
其中，将焊接添加材料 (13) 借助于热引入区域 (11) 和用于将所述焊接添加材料输送到所述热引入区域 (11) 中的输送区域施加到工件表面 (10) 上，
其中，所述热引入区域 (11) 和所述输送区域与所述工件表面 (10) 相对彼此运动；
其中，所述焊接添加材料的质量输送率为 $\leq 350\text{mg}/\text{min}$ ，
其中焊接过程速度为 $400\text{mm}/\text{min}$ 至 $600\text{mm}/\text{min}$ ，
激光束的直径为 $600\ \mu\text{m}$ ，
并且激光功率为 100W 至 300W ，
其中，通过分层地施加焊接添加材料 (13) 来产生焊缝，
其中，熔化在先的层 (19)，
其中，将先前施加的层以小于其层厚度的一半再次熔化。
2. 根据权利要求 1 所述的方法，
其特征在于，激光功率为 100W 至 200W 。
3. 根据权利要求 1 所述的方法，
其特征在于，激光功率为 100W 至 150W 。
4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，
其特征在于，质量输送率为 $\leq 330\text{mg}/\text{min}$ 。
5. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，
其特征在于，质量输送率为 $\leq 300\text{mg}/\text{min}$ 。
6. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，
至少焊接参数，即焊接功率、焊接过程速度、焊接射束的直径选择成，使得在材料结晶时冷却率为至少 8000 开尔文每秒 (K/s)。
7. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，
其特征在于，关于焊接功率以及所述热引入区域的直径的焊接参数调节成，使得在材料结晶时冷却率为至少 8000 开尔文每秒 (K/s)。
8. 根据权利要求 1 所述的方法，
其特征在于，对于每个层 (19、21)，将所述热引入区域 (11) 和所述输送区域沿着焊接方向 (S1、S2) 相对于所述工件表面 (10) 运动，并且将相继的层 (19、21) 的所述焊接方向 (S1、S2) 相对彼此转动。
9. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，
其特征在于，将所述热引入区域 (11) 和所述输送区域沿着焊接方向 (S1、S2) 在围绕所述焊接方向振荡的路径 (P1、P2) 上相对于所述工件表面 (10) 运动。
10. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，
其特征在于，所述工件具有含 γ' 的镍基超合金，并且所述焊接添加材料 (13) 由含 γ' 的镍基超合金材料制成。
11. 根据权利要求 10 所述的方法，
其特征在于，所述工件由含 γ' 的镍基超合金制成。
12. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，
其特征在于，在施加所述焊接添加材料 (13) 之后紧接着进行热处理。

13. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，其中，使用激光功率为 300W 的激光器。
14. 根据权利要求 12 所述的方法，其中，使用 Nd-YAG 激光器。
15. 根据权利要求 14 所述的方法，其中，使用具有 $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ 的 Nd-YAG 激光器。
16. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，其中，获得多晶的焊缝。
17. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，其中，质量输送率为至少 50mg/min。
18. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，其中，质量输送率为至少 100mg/min。

具有焊接添加材料的特殊质量输送率的、用于焊接由耐高温超合金制成的工件的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于焊接工件、尤其是例如燃气轮机叶片的燃气轮机工件的方法。

背景技术

[0002] 燃气轮机的转子叶片在工作中承受高温和巨大的机械负荷。因此,对于这种构件优选使用镍基超合金,所述镍基超合金可通过 γ' 相的析出来强化。但是,随着时间可能在转子叶片中出现裂缝,所述裂缝随着时间进一步扩大。这样的裂缝可例如由于在燃气轮机工作时极限的机械负荷而产生,但其也可能在制造过程期间就已经出现。因为由这种超合金来制造涡轮机叶片和其他工件是耗费且成本高昂的,所以力求尽可能少地在制造中产生废品并且确保所制造产品的长的使用寿命。

[0003] 当由于根据工作条件的应力不再可毫无问题地确保令人满意的功能时,那么定期维护并且必要时更换处于运行中的燃气轮机叶片。为了实现所更换的燃气轮机叶片的其他应用,将这些燃气轮机叶片尽可能再处理。这些燃气轮机叶片然后可以重新用在燃气轮机中。在这种再处理的过程中,例如需要在损伤的区域中堆焊,以便再次形成原始的壁厚。

[0004] 同样在制造过程中已含有裂纹的涡轮机叶片可以例如借助堆焊来适于使用,从而可在制造中减少废品。

[0005] 然而, γ' 强化镍基超合金现今仅能借助传统焊接方法用同种添加材料来困难地焊接。对此的原因是,必须避免微偏析,即熔融物的微小的离析。此外,焊接过程本身可导致在焊接区域中在后续的热处理期间生成裂纹。对此的原因是,由在焊接时的热引入期间的塑性变形引起的焊接固有应力。

[0006] 为了回避 γ' 硬化的镍基超合金的困难的可焊接性,通常用可延展的焊接添加材料来焊接,例如用不带有 γ' -硬化的镍基超合金来焊接。这样的不带有 γ' 硬化的镍基超合金典型的代表例如是 IN625。没有 γ' 硬化的添加材料的可延展性允许了消除在焊接之后的第一次热处理期间由塑性变形引起的焊接应力。然而,没有硬化的合金相比于 γ' 硬化的镍基超合金具有更低的耐高温性(不仅是低抗拉强度,而且是低持久强度)。因此,优选使用无延展的添加材料的焊接方法。这种方法可以划分为如下两类,即借助 γ' 相的粗糙化来进行基材的过老化以提高可延展性的方法和在预热基底时执行焊接过程的方法。在预热的基底上执行焊接过程通过在焊接过程期间的恢复来减小焊接固有应力。例如在 US 6, 120, 624 中说明了具有在前的过老化的焊接过程,例如在 US 5, 319, 179 中说明了在预热的工件上执行的焊接过程。

[0007] 然而,两种所述不带有可延展的焊接添加材料的焊接方法同样造成缺点。因此,例如在焊接过程之前执行过老化的情况下,在焊接之前对 γ' 硬化的镍基超合金执行相应的热处理,以便引起 γ' 相的过老化。在此,基材的可延展性明显得到提高。可延展性的这种提高实现了在室温下焊接材料。此外,该材料可以被冷校正。此外,这种热处理实现了使用

例如 Rene41 或 Haynes282 的镍基超合金作为焊接材料。所述这些镍基超合金虽然在组织中形成 γ' 相,但相比现今使用于例如燃气轮机叶片的燃气轮机热气体部件中的典型的含 γ' 镍基超合金(例如 IN 738LC、IN939、Rene80、IN6203DS、PWA1483SX、合金 247 等)仅具有明显更小的体积份额。因此,即使当在热过程之前进行过老化时也不可实现全结构的焊接。

[0008] 当进行涡轮机叶片的预热时,在焊接部位和涡轮机叶片的剩余部之间的温差和由此出现的应力梯度减小,由此可避免在由镍基超合金构成的构件中形成焊接裂纹。然而,这样的在 900°C 和 1000°C 之间的温度上借助于感应线圈进行涡轮机叶片的预加热的方法必须在保护气体下执行,这使得焊接过程变得复杂且昂贵。此外,由于存在于保护气体容器中的工件缺乏可接近性而不能在工件的所有区域执行这种方法。

[0009] 因此,存在用于堆焊的替选的焊接方法的需求,该焊接方法尤其适用于 γ' 硬化的镍基超合金,并且不具有或仅以减小的程度具有上述缺点。

发明内容

[0010] 该任务通过根据本发明的一种用于焊接由耐高温超合金制成的工件的方法来解决。下文包括本发明的有利的扩展方案,并且可有利地任意相互组合。

[0011] 在依据本发明的用于焊接由耐高温超合金构成的工件的方法中,实现将焊接添加材料借助热引入区域和用于将焊接添加材料输送到热引入区域中的输送区域来施加到工件表面上,其中,一方面所述热引入区域和所述输送区域与另一方面所述工件表面相对彼此运动;其中,所述焊接添加材料的质量输送率为 $\leq 350\text{mg}/\text{min}$,其中过程速度为 400mm/min 至 600mm/min,激光束的直径为 500 μm 至 800 μm ,并且可选的是:激光功率为 100W 至 300W。热引入区域和输送区域在焊接期间在工件表面上移动。该移动可沿着焊接方向进行,例如在直线的路径或者在围绕焊接方向振荡的路径上进行。

[0012] 依据本发明的质量输送率为 $\leq 350\text{mg}/\text{min}$ 。在该方法的改进方案中,焊接参数选择为使得在材料结晶时的冷却率为至少 8000K/s。

[0013] 用于在材料结晶时将冷却率设定为至少 8000K/s 而提供的主要参数是有关焊接功率和热引入区域的直径的方法参数,例如具有激光功率和激光束直径、进给率(过程速度)以及必要时输入的焊接添加材料的流量的形式。依据所使用激光源的类型,可通过这些参数的适合的匹配来调节待焊接的材料的要求的冷却率。过程速度在这种情况下可以是至少 250mm/min,尤其是大于 500mm/min。在过程速度大于 500mm/min 的情况下,关于焊接功率和热引入区域直径的方法参数例如调节成,使得在材料结晶时冷却率为至少 8000K/min。

[0014] 由于高冷却率和高结晶速度,分配系数提高成,使得进一步避免微偏析也就是熔融物的微小离析。在焊缝金属中的熔融物成枝晶状结晶,即成树形结构结晶,其中,枝晶的生长方向沿着焊接轨迹变化,因为枝晶的可能的生长方向的定向相对于在结晶前沿上的温度梯度变化。实现这种具有相对于温度梯度最低的倾角的或者具有最小的生长速度的生长方向。此外,晶核形成在结晶前沿之前,该晶核在结晶期间被结晶前沿追上。所述晶核开始静态分布的枝晶生长方向。

[0015] 依据本发明的方法例如适用于借助于焊接添加材料焊接由含 γ' 镍基超合金构成

的工件,所述焊接添加材料是 γ' 构成的镍基超合金材料。那么可以基于使用同种添加材料而获得在焊缝金属中的高强度和可接受的焊接质量,也就是说非常低的裂纹数量以及非常低的平均裂纹长度。由于在室温下借助局部位于熔池中的保护气氛进行焊接过程的可能性,依据本发明的焊接方法达到高的经济性。

[0016] 该方法可尤其构成为堆焊方法,其中分层地进行焊接添加材料的施加。在这种情况下,依次连续的层的焊接方向可相对彼此转动,尤其是转动 90° 。通过转动不同层的焊接方向,可以避免在层之间的接合错误,尤其是当热引入区域和输入区域此外还沿着焊接方向在围绕焊接方向振荡的轨道上在工件表面上运动时。

[0017] 不规则分布的枝晶定向主要出现在焊接轨迹的上半部分中。因此有利的是,在依据本发明的方法中,将事先施加的层以小于其层厚度的一半再次熔化。在此,在结晶时接收再次熔化的区域的晶体结构。通过小的再熔化深度确保,结晶前沿堆到具有不规则分布的枝晶定向的区域上。这在多层焊接中结果上导致,生成具有晶粒的多晶体,该多晶体的直径平均非常小。晶界一般是关于在焊接期间或随后的热处理期间的临时应力情况下的裂纹形成的薄弱部位。由于晶界在平面中以及在其用依据本发明的方法焊接的焊缝金属中的不规则的定向中的低延展,焊缝金属相对于裂纹形成是不敏感的,从而可在室温下执行焊接过程。

[0018] 依据本发明的方法既可在多晶的也可在定向结晶的或单晶的基底中应用。在所有提到的情况下,含 γ' 镍基超合金可用作焊接添加材料。

[0019] 在依据本发明的焊接方法的过程中,热处理可以接着施加焊接添加材料进行。因此借助匹配于焊缝金属的热处理,可以调节所期望的 γ' 形态结构。这用于进一步改善焊缝金属的强度。

[0020] 依据本发明的用于焊接耐高温超合金的、用于执行依据本发明的方法的焊接设备包括:用于在工件表面上生成热引入区域的热源、用于输送焊接添加材料到热引入区域中的输送装置、和用于产生在一方面热引入区域和输送装置以及另一方面工件表面之间的相对运动的运输设备。运输设备有利地与热源和用于焊接添加材料的输送装置连接,以便为了引起相对运动而移动热源和输送装置。这通常与移动工件相比耗费得更少。在依据本发明的焊接设备中作为热源可以尤其使用激光器。依据本发明的焊接设备此外包括具有控制程序的控制单元,所述控制程序将焊接参数调节成使得在材料结晶时冷却率为至少 8000 开尔文每秒。尤其控制单元将在有关焊接功率以及热引入区域的直径的焊接参数调节成,使得在材料结晶时冷却率为至少 8000 开尔文每秒。在这种情况下,焊接可以以至少 250mm 每分钟的过程速度执行,尤其以大于 500mm 每分钟的过程速度执行。

[0021] 相对运动可尤其控制成,使得热引入区域和输送区域沿着焊接方向在围绕焊接方向振荡的路径上在工件表面上移动。此外,控制单元可执行带有或不带有振荡的相对运动,使得在相继的层中的焊接方向相对彼此转动,例如转动 90° 。

附图说明

[0022] 本发明的其他特征、特性和优点由实施例的参考附图的下面的描述获得。

[0023] 图 1 以局部纵剖图举例示出燃气轮机。

[0024] 图 2 以立体图示出涡轮机叶片。

- [0025] 图 3 以局部剖开的立体图示出燃气轮机燃烧室。
- [0026] 图 4 以示意图示出依据本发明的焊接设备。
- [0027] 图 5 示出用于焊接添加材料的第一层的焊接轨迹。
- [0028] 图 6 示出用于焊接添加材料的第二层的焊接轨迹。

具体实施方式

- [0029] 图 1 以局部纵剖图举例示出燃气轮机 100。
- [0030] 燃气轮机 100 在内部具有带有轴 101 的、可围绕旋转轴线 102 转动地安装的转子 103, 该转子也称为涡轮机电枢。
- [0031] 沿着转子 103 依次为进气壳体 104、压缩机 105、带有多个同轴设置的燃烧器 107 的尤其为环形燃烧室的例如环面状的燃烧室 110、涡轮机 108 和排气壳体 109。
- [0032] 环形燃烧室 110 与例如环形的热气体通道 111 连通。在那里例如四个相继连接的涡轮级 112 形成涡轮机 108。
- [0033] 每个涡轮级 112 例如由两个叶片环形成。沿工质 113 的流动方向观察, 在热气体通道 111 中, 由转子叶片 120 形成的排 125 跟随导向叶片排 115。
- [0034] 在此, 导向叶片 130 固定在定子 143 的内壳体 138 上, 而该排 125 的转子叶片 120 例如借助涡轮盘 133 安装在转子 103 上。
- [0035] 发电机或者做功机械 (未示出) 耦接于转子 103。
- [0036] 在燃气轮机 100 工作期间, 压缩机 105 通过进气壳体 104 将空气 135 吸入并且压缩。在压缩机 105 的涡轮侧的端部处提供的压缩空气被引至燃烧器 107 并且在那里与燃料混合。接着混合物在燃烧室 110 中燃烧, 从而形成工质 113。工质 113 从那里起沿着热气体通道 111 流过导向叶片 130 和转子叶片 120。工质 113 在转子叶片 120 处以传递动量的方式膨胀, 使得转子叶片 120 驱动转子 103 并且该转子驱动耦接在其上的做功机械。
- [0037] 暴露于热工质 113 的构件在燃气轮机 100 工作期间承受热负荷。除了加衬于环形燃烧室 110 的热屏蔽元件之外, 沿工质 113 的流动方向观察的第一涡轮机级 112 的导向叶片 130 和转子叶片 120 承受最高的热负荷。
- [0038] 为了经受住那里存在的温度, 可借助冷却剂来冷却第一涡轮机级的导向叶片和转子叶片。
- [0039] 同样, 构件的基质可以具有定向结构, 这就是说它们是单晶的 (SX 结构) 或仅具有纵向定向的晶粒 (DS 结构)。
- [0040] 例如, 铁基、镍基或钴基超合金用作用于构件的材料, 特别是用作用于涡轮叶片 120、130 的材料和用于燃烧室 110 的构件的材料。例如由 EP 1 204 776 B1、EP 1 306 454、EP 1 319 729 A1、WO 99/67435 或 WO 00/44949 已知这样的超合金。
- [0041] 叶片 120、130 同样可以具有抗腐蚀的覆层 (MCrAlX; M 是铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni) 中的至少一种元素, X 是活性元素并代表钇 (Y) 和 / 或硅、钪 (Sc) 和 / 或至少一种稀土元素, 或铪)。由 EP 0 486 489 B1、EP 0 786 017 B1、EP 0 412 397 B1 或 EP 1 306 454 A1 已知这样的合金。
- [0042] 在 MCrAlX 上还可以存在隔热层, 并且隔热层例如由 ZrO_2 、 Y_2O_3 - ZrO_2 构成, 即, 隔热层由于氧化钇和 / 或氧化钙和 / 或氧化镁而非稳定、部分稳定或完全稳定。

[0043] 通过例如电子束气相淀积 (EB-PVD) 的适当的覆层方法在隔热层中产生柱状晶粒。

[0044] 导向叶片 130 具有朝向涡轮机 108 的内壳体 138 的导向叶片根部 (这里未示出), 以及与导向叶片根部相对置的导向叶片顶部。导向叶片顶部朝向转子 103 并固定在定子 143 的固定环 140 处。

[0045] 图 2 以立体图示出流体机械的沿着纵轴线 121 延伸的转子叶片 120 或导向叶片 130。

[0046] 所述流体机械可以是蒸汽轮机、压缩机或飞机的或用于发电的发电厂的燃气轮机。

[0047] 叶片 120、130 沿着纵轴线 121 相继具有: 固定区域 400、邻接于固定区域的叶片平台 403 以及叶身 406 和叶片梢部 415。

[0048] 作为导向叶片 130, 叶片 130 可以在其叶片梢部 415 处具有另一平台 (未示出)。

[0049] 在固定区域 400 中形成有用于将转子叶片 120、130 固定在轴或盘上的叶片根部 183 (未示出)。

[0050] 叶片根部 183 例如构成为锤头形。作为枞树形根部或燕尾形根部的其他构形是可行的。

[0051] 叶片 120、130 对于流过叶身 406 的介质具有迎流棱边 409 和出流棱边 412。

[0052] 在传统叶片 120、130 中, 在叶片 120、130 的所有区域 400、403、406 中使用例如实心的金属材料、尤其是超合金。

[0053] 例如由 EP 1 204 776 B1、EP 1 306 454、EP 1 319 729 A1、WO 99/67435 或 WO 00/44949 已知这样的超合金。

[0054] 在这种情况下, 叶片 120、130 可以通过铸造法, 也可以借助定向结晶、通过锻造法、通过铣削法或其组合来制造。

[0055] 将带有一个或多个单晶结构的工件用作用于机器的在运行中承受高的机械的、热的和 / 或化学的负荷的构件。

[0056] 这种单晶工件的制造例如通过由熔融物的定向结晶来进行。在此涉及铸造法, 其中液态金属合金结晶为单晶构造物、即单晶工件, 或者定向结晶。

[0057] 在这种情况下, 枝状晶体沿热流定向, 并且形成柱状晶体的晶粒结构 (柱状地, 这就是说在工件的整个长度上分布的晶粒, 并且在此根据一般的语言习惯称为定向结晶), 或者形成单晶结构, 这就是说整个工件由唯一的晶体构成。在这些方法中, 必须避免过渡成球状的 (多晶的) 结晶, 因为通过非定向的生长不可避免地构成横向和纵向晶界, 所述横向和纵向晶界使定向结晶的或单晶的构件的良好特性不起作用。

[0058] 如果一般性地提到定向结晶组织, 则是指不具有晶界或最多具有小角度晶界的单晶和确实具有沿纵向方向分布的晶界但不具有横向晶界的柱状晶体结构。第二种所提到的晶体结构也称为定向结晶组织 (directionally solidified structures)。由 US-PS 6, 024, 792 和 EP 0 892 090 A1 已知这样的方法。

[0059] 叶片 120、130 同样可以具有抗腐蚀或抗氧化的覆层, 例如 (MCrAlX; M 是铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni) 中的至少一种元素, X 是活性元素并代表钇 (Y) 和 / 或硅和 / 或至少一种稀土元素, 或铪 (Hf))。由 EP 0 486 489 B1、EP 0 786 017 B1、EP 0 412 397 B1 或 EP 1

306 454 A1 已知这样的合金。

[0060] 密度优选地是理论密度的 95%。

[0061] 保护性氧化铝层 (TGO = thermal grown oxide layer (热生长氧化层)) 形成在 MCrAlX 层上 (作为中间层或最外层)。

[0062] 优选地, 层成分具有 Co-30Ni-28Cr-8Al-0.6Y-0.7Si 或 Co-28Ni-24Cr-10Al-0.6Y。除这些钴基保护覆层外, 也优选地使用镍基保护层, 例如 Ni-10Cr-12Al-0.6Y-3Re 或 Ni-12Co-21Cr-11Al-0.4Y-2Re 或 Ni-25Co-17Cr-10Al-0.4Y-1.5Re。

[0063] 在 MCrAlX 上还可以有隔热层, 隔热层优选是最外层并例如由 ZrO_2 、 Y_2O_3 - ZrO_2 组成, 即, 隔热层由于氧化钇和 / 或氧化钙和 / 或氧化镁而非稳定、部分稳定或完全稳定。隔热层覆盖整个 MCrAlX 层。

[0064] 通过例如电子束气相淀积 (EB-PVD) 的适当的覆层方法在隔热层中产生柱状晶粒。

[0065] 其他覆层方法也是可以考虑的, 例如气相等离子喷涂 (APS)、LPPS (低压等离子喷涂)、VPS (真空等离子喷涂) 或 CVD (化学气相沉积)。隔热层可以具有多孔的、有微观裂纹或宏观裂纹的晶粒, 用于更好地耐热冲击。因此, 隔热层优选地比 MCrAlX 层更为多孔。

[0066] 再处理 (Refurbishment) 意味着在使用构件 120、130 之后, 必要时必须将保护层从涡轮叶片 120、130 上去除 (例如通过喷砂)。接着, 进行腐蚀层和 / 或氧化层及腐蚀产物和 / 或氧化产物的去除。必要时, 还修复在构件 120、130 中的裂纹。然后, 进行构件 120、130 的再覆层以及构件 120、130 的重新使用。

[0067] 叶片 120、130 可以构造成空心的或实心的。如果要冷却叶片 120、130, 则叶片为空心的并且必要时还具有薄膜冷却孔 418 (由虚线表示)。

[0068] 图 3 示出燃气轮机的燃烧室 110。燃烧室 110 例如构建为所谓环形燃烧室, 其中, 多个沿周向围绕旋转轴线 102 设置的燃烧器 107 通到共同的燃烧室腔 154 中, 其产生火焰 156。为此, 燃烧室 110 以其整体构建为呈环形的结构, 所述呈环形的结构围绕旋转轴线 102 定位。

[0069] 为了实现相对高的效率, 燃烧室 110 针对为大约 1000°C 至 1600°C 的工作介质 M 的相对高的温度来设计。为了还在这些对于材料不适宜的运行参数的情况下实现相对长的运行持续时间, 燃烧室壁 153 在其朝向工作介质 M 的侧上设有由热屏蔽元件 155 形成的内衬。

[0070] 每个由合金构成的热屏蔽元件 155 在工作介质侧配备有尤其耐热的保护层 (MCrAlX 层和 / 或陶瓷覆层) 或者由耐高温的材料 (实心的陶瓷石) 制成。

[0071] 保护层能够是类似涡轮叶片的, 于是 MCrAlX 例如表示: M 是铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni) 中的至少一种元素, X 是活性元素并代表钇 (Y) 和 / 或硅和 / 或至少一种稀土元素, 或铪 (Hf)。从 EP 0 486 489 B1、EP 0 786 017 B1、EP 0 412 397 B1 或 EP 1 306 454 A1 中已知这样的合金。

[0072] 在 MCrAlX 上还可以有例如陶瓷的隔热层, 并且隔热层由例如 ZrO_2 、 Y_2O_3 - ZrO_2 构成, 即, 隔热层由于氧化钇和 / 或氧化钙和 / 或氧化镁非稳定、部分稳定或完全稳定。

[0073] 通过例如电子束气相淀积 (EB-PVD) 的适当的覆层工艺在隔热层中产生柱状晶粒。

[0074] 其他覆层工艺也是可以考虑的,例如气相等离子喷涂 (APS)、LPPS、VPS 或 CVD。隔热层可以具有多孔的、有微观裂纹或宏观裂纹的晶粒,用于更好的耐热冲击性。

[0075] 再处理 (Refurbishment) 意味着在使用热屏蔽元件 155 之后,必要时必须将保护层从热屏蔽元件上除去 (例如通过喷砂)。接着,进行腐蚀和 / 或氧化层或腐蚀和 / 或氧化产物的去除。必要时,还修复在热屏蔽元件 155 中的裂纹。其后,进行热屏蔽元件 155 的再覆层以及重新使用热屏蔽元件 155。

[0076] 此外,由于在燃烧室 110 的内部中的高温,能够为热屏蔽元件 155 或为其保持元件设置冷却系统。那么,热屏蔽元件 155 例如是空心的并且必要时还具有通到燃烧室腔 154 中的冷却孔 (未示出)。

[0077] 图 4 以极其简化的图示示出焊接设备 1。

[0078] 该焊接设备包括激光器 3 和粉末输送装置 5,借助该粉末输送装置可将粉末状的焊接添加材料施加到工件的待焊接的区域上。借助激光束,可以在工件表面上形成热引入区域 11,粉末也由粉末输送装置 5 带入到工件表面中。激光器优选是 300W 激光器,尤其是 Nd-YAG 激光器,特别尤其具有 $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ 。激光器功率是在 100W 和 300W 之间并且优选在 100W 和 200W 之间,特别尤其在 100W 和 150W 之间。那么,有利地,焊接材料良好地熔化,并且也熔焊底部,由此获得紧密的焊接部位。

[0079] 激光器 3 和粉末输送装置 5 设置在扫描装置 15 处,该扫描装置实现了激光器 3 和粉末输送装置 5 在两个维度中沿着具有待焊接区域 7 的构件表面 (图 4 中的 x 方向和 y 方向) 移动。过程速度为至少 250mm/min,尤其为 400mm/min 至 600mm/min,特别尤其为 500mm/min。那么,可以有利地将热引入到焊接材料和基底中。此外,本实施例的扫描设备 15 实现了激光器 3 和粉末输送装置 5 垂直于构件表面 (图 4 中的 z 方向) 移动。借助于扫描装置 15,可以由此沿着预先规定的路径移动热引入区域和粉末的冲击区域。例如可以采用机器人臂作为扫描装置。激光束的直径尤其为 $500 \mu\text{m}$ 至 $700 \mu\text{m}$,特别尤其为 $600 \mu\text{m}$ 。由此,所输送的焊接材料有利地被加热。

[0080] 由扫描装置 15 促成的运动的控制通过控制单元 17 实现,所述控制单元也控制焊接过程的常规参数。与本实施例不同的是,焊接过程的常规参数的控制也可以通过额外的控制来进行,也就是说与运动进程控制分开。此外,不同于所示实施例,替代用于移动激光器 3 和粉末输送装置 5 的扫描装置 15,也可以使用可运动的构件保持器。在本发明的范围中,仅在一方面激光器 3 以及粉末输送装置 5 和工件之间的相对运动是有意义的。

[0081] 依据本发明的用于堆焊工件表面的方法可以用于材料覆层,尤其用于多层材料覆层到构件的待焊接区域 7 上。构件在此既不需要预热,也不借助于热处理来过老化。

[0082] 下面,借助在作为工件的涡轮叶片 9 的表面 10 上的堆焊来说明该方法。本实施例的涡轮叶片由 γ' 强化的镍基超合金,例如 IN738LC、IN939、Rene80、IN6203DS、PWA1483SX、合金 247 等制成。在涡轮叶片 9 的表面 10 中的待焊接的区域 7 分层地堆焊,其中,热引入区域连同粉末的冲击区域一起沿着焊接方向在涡轮叶片 9 的待焊接区域 7 上运动。粉末在当前情况下由含 γ' 镍基超合金,例如 IN738LC、IN939、Rene80、IN6203DS、PWA1483、合金 247 等制成。

[0083] 在图 5 中示意地示出在将第一层堆焊在待焊接区域 7 上时热引入区域 11 以及粉末的冲击区域经过的路径 P1。该附图示出具有待焊接区域 7 和在堆焊第一层 19 时的焊接

方向 S1 的涡轮叶片 9。然而,同时示出用于粉末的冲击区域的热引入区域 11 非直线地沿着焊接方向 S1 移动,而是在沿着焊接方向移动期间同时在垂直于焊接方向的方向上振荡。由此,热引入区域 11 和粉末的冲击区域在待焊接的区域 7 上沿着蜿蜒的路径 P1。

[0084] 对于第二层 21 的堆焊(图 4)而言,激光器 3 和粉末输送装置 5 沿着扫描装置 15 的 z 方向略微移动。此外,在本实施例中,焊接方向 S2 相对用于第一层的焊接方向 S1 转动 90° 。在图 6 中示出在堆焊第二层 21 时的热引入区域 11 和用于粉末的冲击区域的路径 P2。同样在堆焊第二层 21 时,热引入区域 11 连同粉末的冲击区域一起在垂直于焊接方向 S2 的方向上振荡。总体上,因此在待焊接区域 7 上获得热引入区域 11 的和用于粉末的冲击区域的蜿蜒的路径 P2。

[0085] 在该实施例范围中描述的路径仅是不同的可能的变型方案中的一种。原则上,存在多种执行焊接的可行性:1. 单向堆焊 2. 双向(例如蜿蜒地)堆焊。在这些方案中的每一种中,第二层的轨迹(路径)可以平行偏移于或垂直于第一层的轨迹(路径)地焊接。所有这些变型方案可在依据本发明的方法中使用。

[0086] 在激光器和粉末输送单元运动时,振荡可以选择为,使得以唯一的路径沿着焊接方向涂抹整个待焊接的区域 7,如在图 5 中所示,或者使得待焊接区域的仅一部分被涂抹,且在焊接方向 S2 上经过多个并排延伸的路径 P2,以用于整个区域的堆焊,如在图 6 中所示。

[0087] 在当前实施例中,热引入区域 11 和粉末的冲击区域沿着 P1 或 P2 的运动以至少 500mm/min 的过程速度进行。质量输送率为 $\leq 350\text{mg}/\text{min}$, 优选 $\leq 330\text{mg}/\text{min}$ (因为涉及堆焊,所以排除零,即至少 50mg/min,尤其至少 100mg/min)。具有的优点是,输送的焊接材料很好地熔化,获得高温,并且因此在冷却时大幅冷却。

[0088] 激光功率、射束直径和粉末流量在此选择为,使得在结晶时涂抹区域的冷却率大于 8000K/s。此外,在施加第二层 21 时,关于激光功率和射束直径的过程参数选择为,使得直至第一层 19 再次被熔化的再熔化深度小于所述第一层 19 的轨迹高度的 50%。再熔化深度在图 4 中用虚线简示出。原则上,其他作为在本例子中说明的过程速度也是可行的,那么其中,常规的参数激光功率、射束直径和粉末流量必须相应地匹配。

[0089] 由于高冷却率和高结晶速度,分配系数提高到使得尽可能避免微偏析。由于热引入区域 11 导致的熔融物枝晶地结晶,其中,该晶体结构被在再熔化区域中存在的晶体结构接收。在此,枝晶的生长方向沿着路径 P1、P2 变化。对此的原因是,枝晶的可能的生长方向的定向关于温度梯度变化,其中,实现具有相对于温度梯度最小倾角或者具有最小生长速度的生长方向。此外,在结晶前沿之前形成的并且在结晶期间被结晶前沿追上的晶核开始静态分布的枝晶生长方向。不规则分布的枝晶定向主要出现在层 19 的上半部分中。借助低的再熔化深度确保,结晶前沿堆到具有不规则分布的枝晶定向的区域中,这在多层堆焊中导致,生成具有晶粒的多晶体,该多晶体的直径平均非常小。由此,涡轮叶片 9 的焊接区域对于裂纹不敏感。

[0090] 在施加需要的数量的层 19、21 之后,涡轮叶片 9 可以经热处理,这引起,出现所期望的 γ' 形态结构。这用于进一步改善涡轮叶片 9 的焊接区域的强度。

[0091] 借助依据本发明的方法,在室温下并且事先不进行待焊接构件的过老化地进行堆焊,其中,结晶裂纹和再熔化裂纹的出现得到抑制。这结果上导致尤其对于燃气轮机叶片的高负荷区域的结构化焊接而言,但也对于其他构件的高负荷区域的结构化焊接而言是可以

接受的焊接质量。同时,仅产生非常小的对基材的影响,因为由于小的热影响区域(不进行预热)和在热影响区域中的再熔化裂纹的抑制实现仅很少量的热引入到基底中。

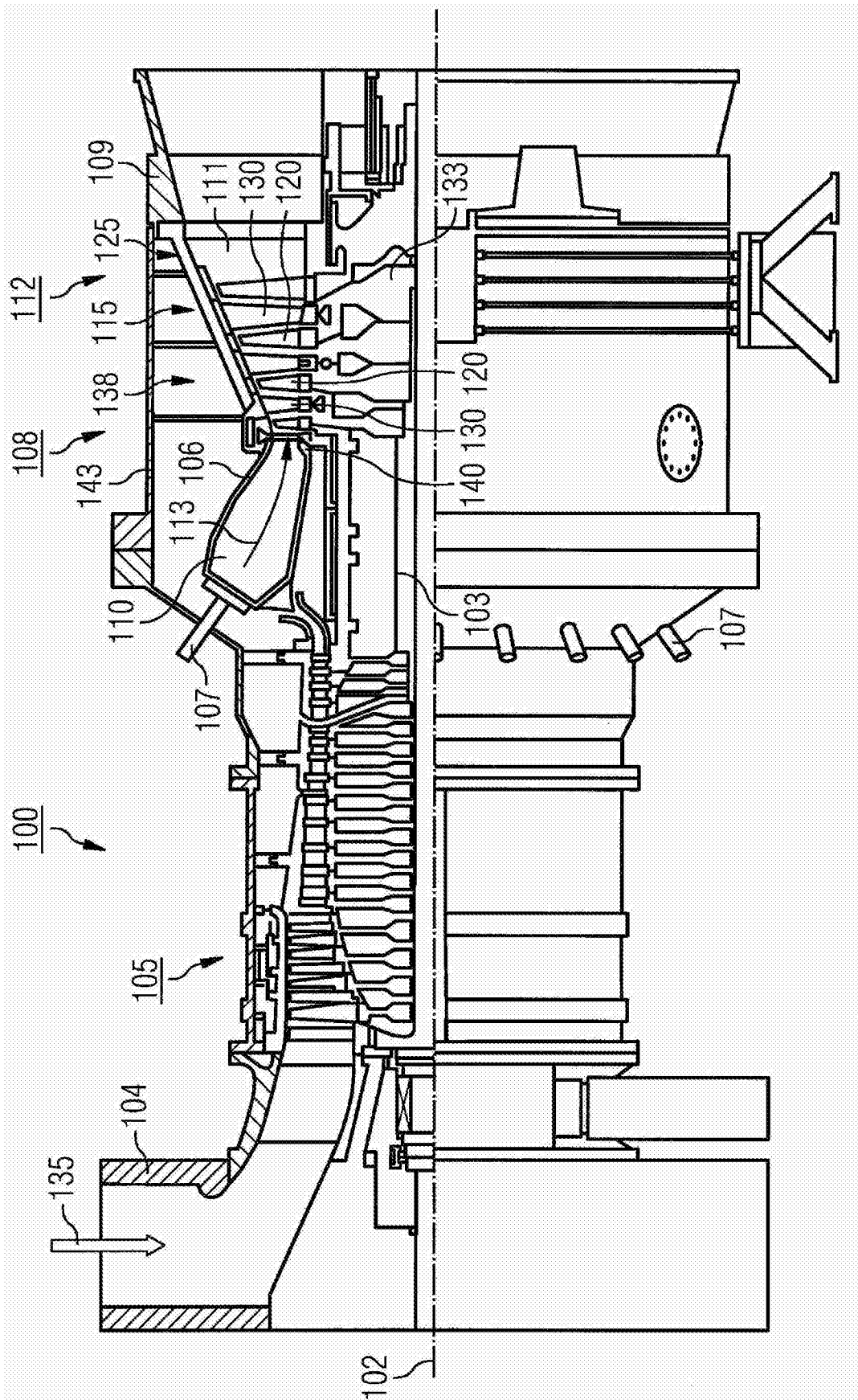


图 1

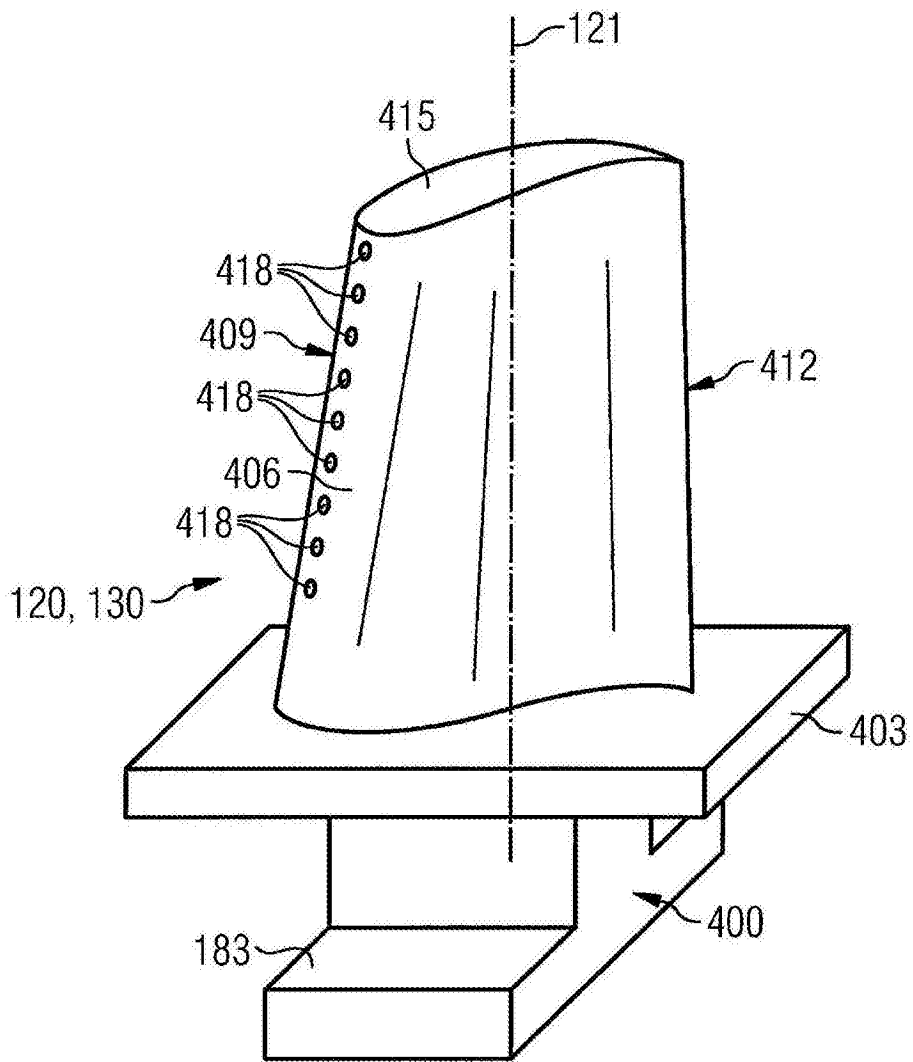


图 2

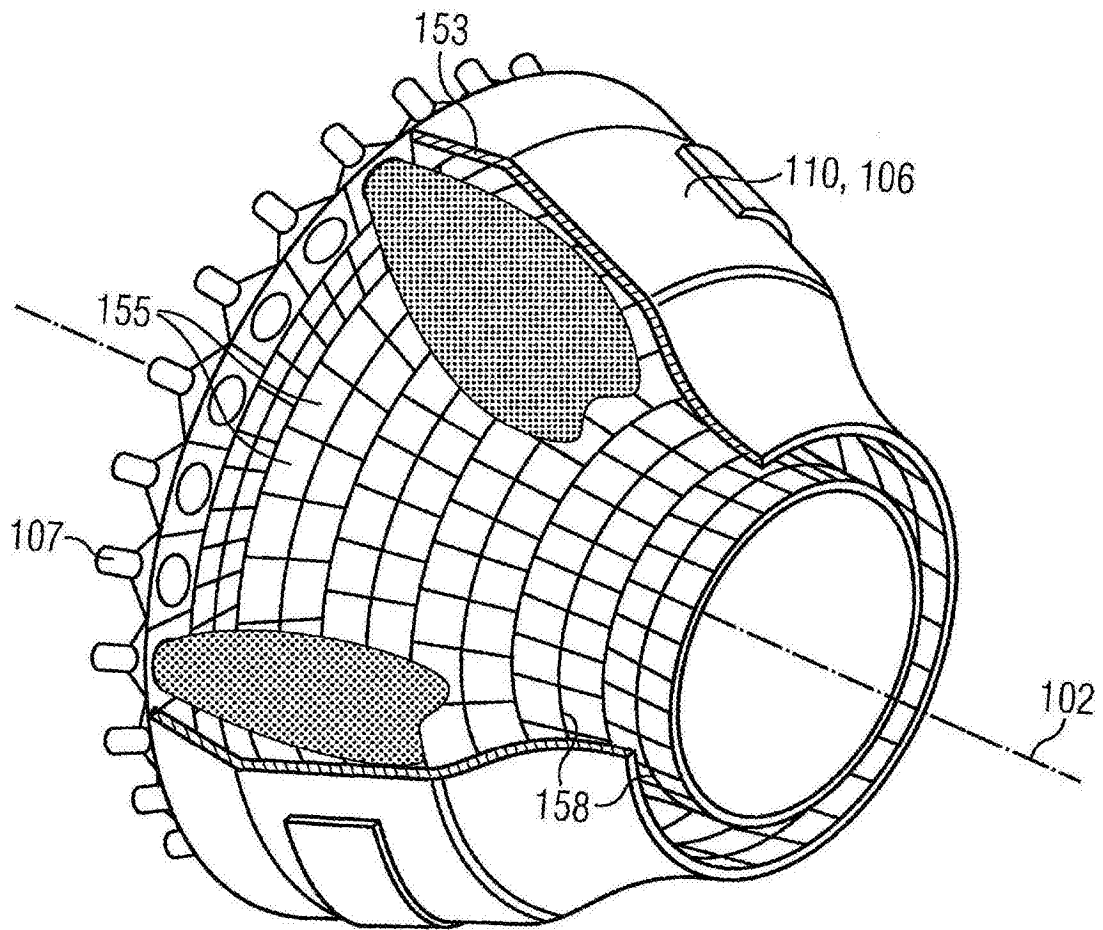


图 3

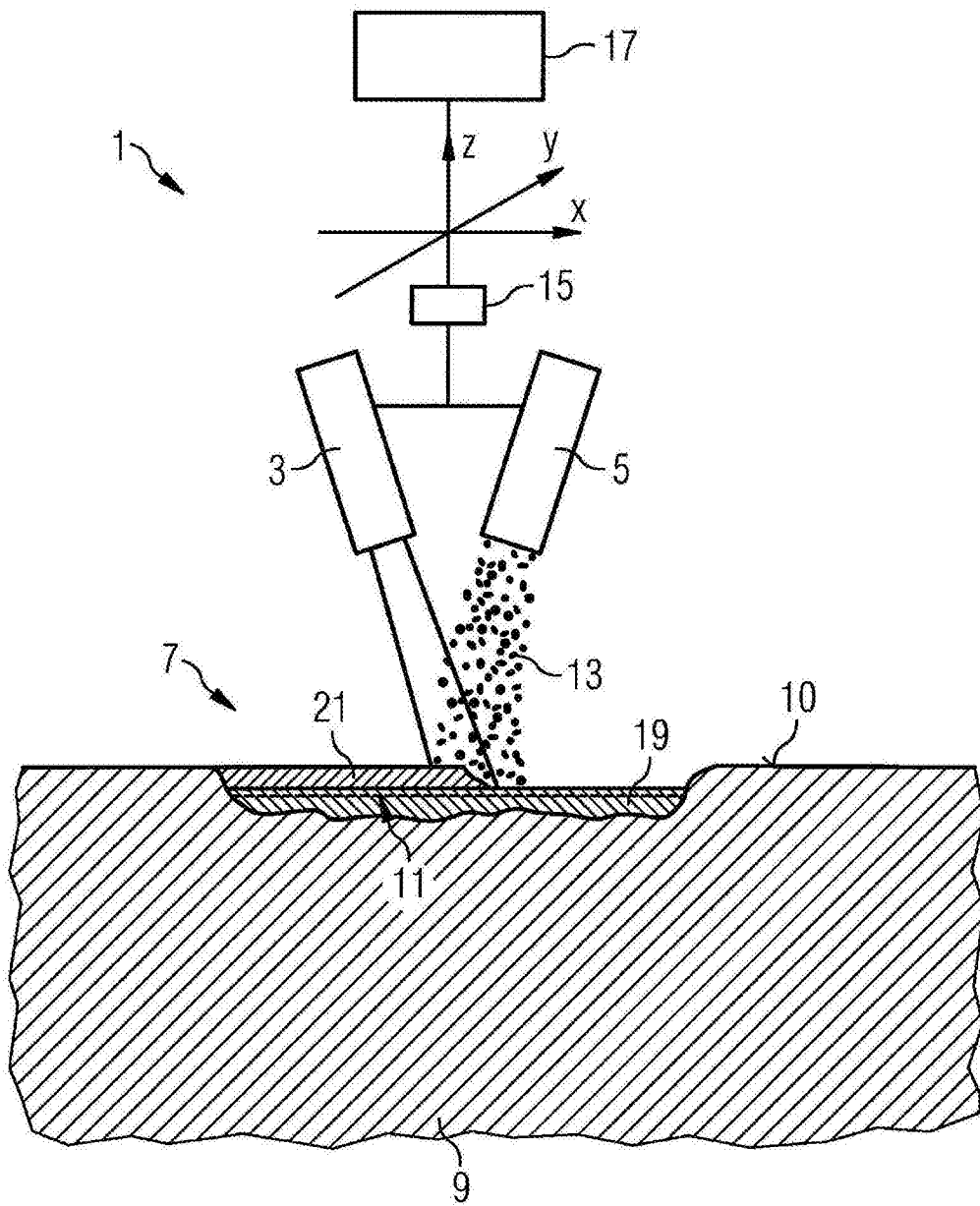


图 4

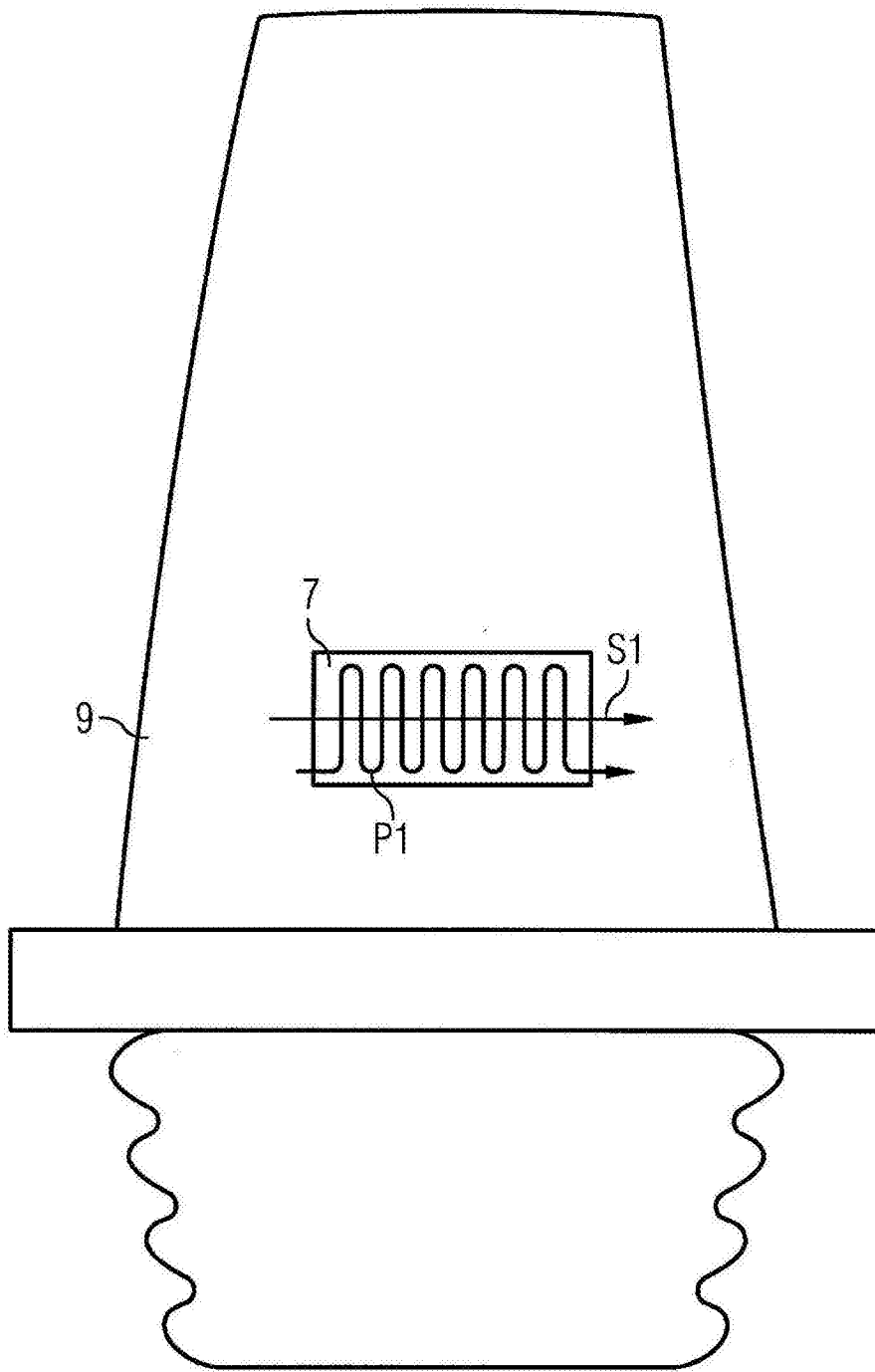


图 5

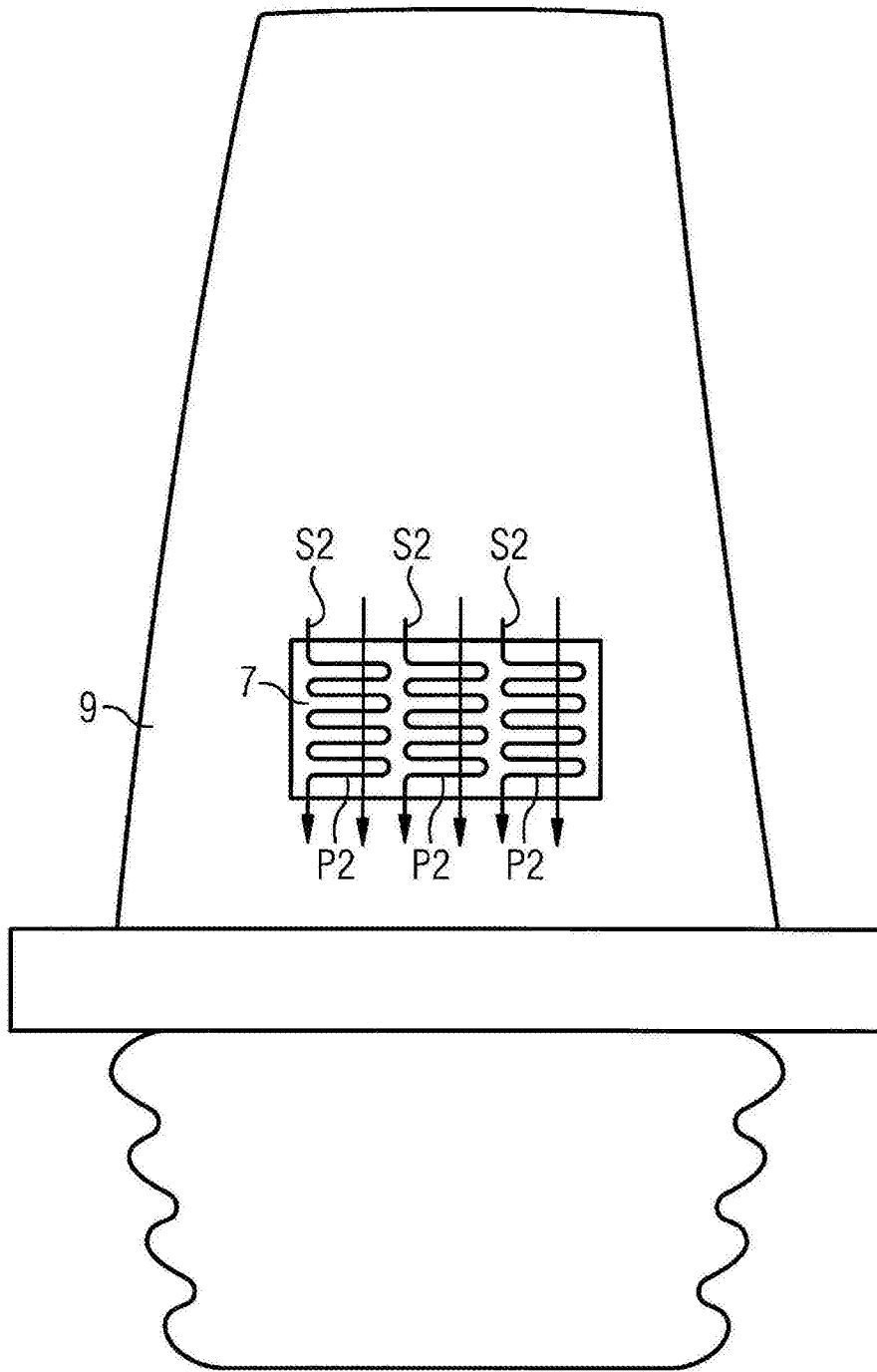


图 6