



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108431239 B

(45) 授权公告日 2021.03.12

(21) 申请号 201680074665.4

(22) 申请日 2016.11.04

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108431239 A

(43) 申请公布日 2018.08.21

(30) 优先权数据

1560653 2015.11.06 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2018.06.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/FR2016/052859 2016.11.04

(87) PCT国际申请的公布数据

W02017/077248 FR 2017.05.11

(73) 专利权人 赛峰集团

地址 法国巴黎

(72) 发明人 让-米歇尔·帕特里克·莫里斯·  
弗朗谢

吉尔·查尔斯·卡西米尔·克莱因

(74) 专利代理机构 中国商标专利事务所有限公  
司 11234

代理人 宋义兴 桑丽茹

(51) Int.CI.

C21D 1/00 (2006.01)

C22F 1/10 (2006.01)

审查员 张健萍

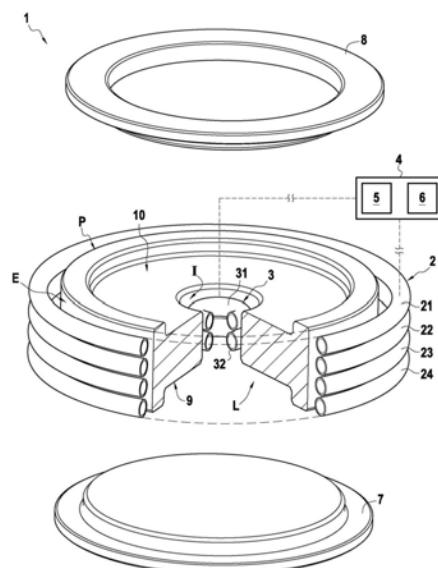
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

用于在轴对称部件中产生具有结构梯度的  
微结构的设备

(57) 摘要

本发明涉及一种用于在具有中空中心并且  
初始具有均匀的细晶粒结构的轴对称机械部件  
(P) 中产生具有结构梯度的微结构的设备 (1) , 该  
设备 (1) 包括限定第一室的第一加热器装置 (2) ,  
其用于容纳机械部件 (P) 并且适于将所述机械部  
件 (P) 的外周边 (E) 加热至高于固溶温度的第一  
温度 (T1) 。该设备 (1) 包括限定第二室的第二加  
热器装置 (3) , 其布置在第一室内并且适于将所  
述机械部件 (P) 的内周边 (I) 加热到低于固溶温  
度的第二温度 (T2) , 第一室和第二室之间的空间  
限定适于容纳具有中空中心的轴对称机械部件  
(P) 的凹部 (L) 。



1. 一种(1)用于在具有中空中心并且初始具有均匀的细晶粒结构的轴对称机械部件(P)中产生具有结构梯度的微结构的设备,该设备(1)包括限定第一壳体的第一加热器装置,其用于容纳机械部件(P)并且适于将机械部件(P)的外周边(E)加热至高于固溶温度的第一温度(T<sub>1</sub>),该设备的特征在于,该设备包括限定第二壳体的第二加热器装置,其布置在第一壳体内并且适于将所述机械部件(P)的内周边(I)加热至低于固溶温度的第二温度(T<sub>2</sub>),并且第一壳体和第二壳体之间的空间限定适于容纳具有中空中心的轴对称机械部件(P)的壳套(L),设备(1)具有两个绝缘件(7)和(8),每个绝缘件抵靠机械部件(P)的相应底面(9)或顶面(10)放置。

2. 根据权利要求1所述的设备,包括配置为向第一加热器装置传送第一温度设定点并且向第二加热器装置传送第二温度设定点的控制单元(4),该控制单元(4)包括适于协调第一和第二温度设定点的传送的同步模块(6),以便第一加热器装置和第二加热器装置在具有结构梯度的微结构产生的加热阶段和/或冷却阶段同时运行。

3. 根据权利要求2所述的设备,其特征在于,该控制单元(4)包括用于调节第一加热器装置与第二加热器装置之间的加热温度差的调节器模块(5),以便根据机械部件中的细晶粒结构和粗晶粒结构之间的中间区域(ZT)的期望位置,确定第一温度设定点的值和第二温度设定点的值。

4. 根据权利要求3所述的设备,其特征在于,第一和第二加热器装置分别包括第一和第二不同的加热器感应线圈。

5. 根据权利要求4所述的设备,其特征在于,该控制单元(4)包括用于调节分别为第一加热器感应线圈和第二加热器感应线圈供电的电力的频率的模块。

6. 一种使用权利要求1至5中任一权利要求所述的设备,在具有中空中心的轴对称机械部件(P)中产生具有结构梯度的微结构的方法,该方法包括使初始具有均匀的细晶粒结构的机械部件(P)受到热处理,该热处理包括将所述机械部件(P)的外周边(E)加热至高于固溶温度的第一温度(T<sub>1</sub>)的第一加热操作,该方法的特征在于,热处理还包括将机械部件(P)的内周边(I)加热至低于固溶温度的第二温度(T<sub>2</sub>)的第二加热操作。

7. 根据权利要求6所述的方法,包括传送用于加热机械部件(P)的外周边(E)的第一温度设定点并且传送用于加热所述机械部件(P)的内周边(I)的第二温度设定点,所述第一温度设定点和第二温度设定点的传送同步,以便第一和第二加热操作在具有结构梯度的微结构产生的加热阶段和/或冷却阶段同时发生。

8. 根据权利要求6所述的方法,包括调节第一和第二加热操作之间的温度差,根据部件中的粗晶粒结构和细晶粒结构之间的中间区域(ZT)的期望位置,确定第一和第二温度设定点的值。

9. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,第一和第二加热操作分别通过独立地供电的不同的第一和第二加热器感应线圈(2,3)来执行。

10. 根据权利要求9所述的方法,包括在给第一和第二加热器感应线圈(2和3)供电的频率处调节各个频率。

11. 一种涡轮盘,其包括根据权利要求6所述的方法产生的具有结构梯度的至少一部分微结构。

12. 一种涡轮发动机,其特征在于,其包括至少一个根据权利要求11所述的涡轮盘。

13. 一种航空器, 其特征在于, 其包括至少一个根据权利要求12所述的涡轮发动机。

## 用于在轴对称部件中产生具有结构梯度的微结构的设备

### 背景技术

[0001] 本发明涉及在机械部件中，并且更具体地涉及在中心中空的轴对称部件中产生具有结构梯度的微结构。

[0002] 环境标准，诸如ACARE2020标准，并且减少航空器制造商所施加的持有成本，即运行和维护成本的需求，要求发动机制造商开发性能不断提高的涡轮喷气发动机，并且特别是主要降低特定燃料消耗。

[0003] 寻求减少消耗导致需要通过减少热部件特别是盘的通风来提高发动机的效率。通风减少的直接后果是需要具有更好的耐高温材料。

[0004] 在提高耐高温能力的材料领域取得了很大的进展：更耐火的材料，粉末冶金技术等。

[0005] 尽管如此，温度的改善是非常有限的，材料的化学成分本身并不能满足设定的目标。

[0006] 推后材料极限的一种方法是使部件的微结构适应部件所经受的局部机械应力。具体而言，在部件中，机械应力根据所考虑的区域可能不同。因此，最佳微结构可以根据所考虑的区域在部件内变化。换句话说，期望得到具有两个微结构或具有梯度的微结构的单个部件。

[0007] 例如，对于作为涡轮喷气发动机中承受最大温度和机械应力的部件之一的涡轮盘而言，材料的性能取决于其具有优化的均匀微结构的能力，以实现在各种不同的所需机械性能之间的最好折衷，这往往是相互矛盾的。

[0008] 使用用于制造涡轮盘的两种微结构或微结构梯度可以避免这种折衷。由于其在中等温度下的牵引和疲劳特性以及在同一盘的轮缘中的粗晶粒结构，为了具有更好的性能，就耐高温、蠕变和裂纹而言，有必要在盘的孔中具有细晶粒结构。

[0009] 术语“细晶粒”结构用于表示其中晶粒被 $\gamma'$ 或 $\delta$ 相阻断的结构，而术语“粗晶粒”结构用于表示晶粒未被那些相阻断的结构。

[0010] 通常，结构中晶粒的尺寸根据ASTM标准给出，其中1ASTM对应于225微米( $\mu\text{m}$ )的晶粒尺寸，即粗晶粒，并且10ASTM对应于10 $\mu\text{m}$ 的晶粒尺寸，即细晶粒。

[0011] 通常，对于任何类型的合金，如果其尺寸大于9ASTM，则认为晶粒的尺寸对应于“细”晶粒尺寸。

[0012] 根据合金的类型，可以认为晶粒粗糙的晶粒尺寸可以变化。通常，晶粒尺寸应小于7ASTM。这特别适用于由粉末冶金制备的合金(N18,N19)。对于AD730、R65和U720类型的传统合金，如果晶粒尺寸小于4ASTM，则认为晶粒是粗糙的，而对于Inco718，取决于达到的温度，如果晶粒尺寸范围从3ASTM到6ASTM，则认为晶粒是粗糙的。

[0013] 已知用于实现盘类型的部件中的结构梯度的一种手段是执行热处理，其自身呈现出梯度。

[0014] 具有温度梯度的这种热处理的目的是在部件内以阶段温度进行溶解处理，使得：

[0015] -在最高温度区域，温度高于阻断晶界的相的溶解温度，也称为固溶温度；以及

[0016] -在最低温度区域,温度低于固溶温度。

[0017] 晶界对应于多晶结构内同类晶体之间的界面。对于镍基合金,所讨论的相是 $\gamma'$ 或 $\delta$ 相。因此,在热处理温度超过 $\gamma'$ 或 $\delta$ 相的固溶温度的区域,晶粒生长以形成有利于蠕变和裂纹性能的结构,而在热处理过程中温度保持低于固溶温度的区域,结构保持由锻造产生的其晶粒尺寸,这通常相对精细并且有利于牵引和疲劳性能。

[0018] 为了进行这种类型的热处理,已知有两种类型的热处理策略。

[0019] 在第一种策略中,将整个盘置于烤炉中,并且达到足够高的温度以使晶粒生长。希望保持细晶粒结构的区域,即要保持在低于固溶温度的温度的区域,通过局部冷却系统使用空气进行冷却,如文献US5527020和US5312497中所述,或通过绝缘进行冷却,如文献US6660110中所述。那些系统具有根据部件的形状难以设置并且不灵活的缺点。

[0020] 更具体地,在文献US5312497中,盘的外侧部分由石墨感受器加热,石墨感受器本身通过水冷感应线圈加热,并且盘的内侧部分由压缩空气冷却线圈冷却。该系统存在需要在真空中运行以确保碳感受器不燃烧的附加缺点。

[0021] 第二种策略是在部件的周边区域通过感应局部地施加加热。如文献US4785147和US3741821所述,该策略通常用于通过热处理局部地加强齿轮齿。当应用于涡轮喷气发动机盘时,这相当于通过感应局部地加热部件的外部。高频电流被施加到围绕该部件的感应线圈,使得高频电磁场与该部件耦合以加热该部件。然后在通过感应加热的外部和露天中心之间的部件中建立温度梯度。

[0022] 该技术显然更适合于在涡轮喷气发动机盘中产生温度梯度,并因此用于在盘的轮廓和孔之间产生不同的结构。

[0023] 尽管如此,在采用周边感应线圈的策略中,梯度管理很困难,并且可能受到很少的控制。此外,由于较大的温度梯度,该策略在盘内产生高水平的热机械应力,这可能足以破坏材料。

[0024] 此外,通过感应局部加热的技术导致在加热停止时在表面处的非常快的冷却。不幸的是,某些对淬火裂纹敏感的合金会导致材料裂纹。

[0025] 此外,产生具有结构梯度的微结构的另一个主要困难在于管理温度,特别是需要足够高以导致微结构中的晶粒生长但不太高的最高温度,以避免晶粒太大尺寸,甚至避免达到材料的燃烧温度,这会导致材料的不可逆退化。

[0026] 因此,使用上述已知技术难以处理固溶温度和燃烧温度之间的差异小的材料。

## 发明内容

[0027] 本发明试图通过提出一种用于在具有中空中心的轴对称机械部件中产生具有结构梯度的微结构的设备来缓解上述缺点,该方法使得可以调节待处理的机械部件的区域中的温度,同时减少热机械应力。

[0028] 为此,提供了一种用于在具有中空中心并且初始具有均匀的细晶粒结构的轴对称机械部件中产生具有结构梯度的微结构的设备,该设备包括限定第一壳体的第一加热器装置,其用于容纳机械部件并且适合于将机械部件的外周边加热至高于固溶温度的第一温度。

[0029] 根据本发明的一般特征,该设备包括限定第二壳体的第二加热器装置,其布置在

第一壳体内并且适于将所述机械部件的内周边加热至低于固溶温度的第二温度,第一壳体和第二壳体之间的空间限定适于容纳具有中空中心的轴对称机械部件的壳套。

[0030] 面向待处理的环形部件的内周边安装的第二加热器装置的存在使得可以与安装在待处理的机械部件的外周边的第一加热器装置协作,以通过使用两个不同的加热器装置同时加热外部和内部盘。从机械部件的两端,特别是环形部件的两个圆形端部的这种同时加热使得可以通过利用由第二加热器装置从内部供应的热能来控制热通量。

[0031] 如果有必要的话,这种具有两个加热器装置的结构甚至可以使热通量反向。

[0032] 该方案特别适用于涡轮喷气发动机盘,该涡轮喷气发动机盘具有用于通过发动机中心轴的中空孔并且可以放置在两个加热器装置之间设置的壳套中。

[0033] 该设备可以在整个处理过程中,并且最重要的是在保持所述温度的同时,保证盘的区域之间的温度差可调。它能够在部件的各个区域调节温度,并且最重要的是在维持温度的同时建立平衡状态。它还可以控制粗晶粒结构和细晶粒结构之间的过渡区的位置。这种控制主要根据两个加热器装置的温度设定值以及作为待处理的机械部件的形状来执行。

[0034] 例如,布置在待处理的机械部件的外部的第一加热器装置可用于将盘的外部局部地加热到足以使晶粒生长的高的温度,即,温度高于固溶温度,并且布置在内部的第二加热器装置可用于将盘内部局部地加热到低于材料中晶粒生长温度的温度。调节两个加热器装置可以在部件内建立导致微结构梯度的温度梯度。

[0035] 此外,不同于在上述文献US4785147和US3374821中特别使用的第二策略中描述的原理,具有两个加热器装置的本发明的上述设备可以从处理开始时,通过调整孔和轮缘之间的温差限制热机械应力。

[0036] 这具有消除任何裂纹出现的风险的效果。这同样适用于冷却阶段。具体而言,通过维持配置在待处理的机械部件内的第二加热器装置的活性状态,能够更好地控制外表面的冷却,以便在冷却时也控制温度梯度,因此能够避免淬火裂纹。

[0037] 待处理的部件的第一实施例可以对应于具有约500毫米 (mm) 的外径和约100mm至150mm的内径的涡轮盘,其由常规方式制备的Inco718或AD730或Rene65型或由粉末冶金法制备的N18或N19型的镍基合金制成。

[0038] 待处理的部件的第二实施例可对应于具有800mm外径和约650mm内径,且由Inco718型镍基合金或Waspaloy型、AD730型或Rene65型的镍基合金制成的迷宫环。

[0039] 在用于产生具有结构梯度的微结构的设备的第一方面中,该设备包括配置为向第一加热器装置传送第一温度设定点并且向第二加热器装置传送第二温度设定点的控制单元,该控制单元包括适于协调第一和第二温度设定点的传送的同步模块,以便第一加热器装置和第二加热器装置在具有结构梯度的微结构产生的加热阶段和/或冷却阶段同时运行。

[0040] 同时控制加热器装置可以连续控制施加在待处理机械部件上的热机械应力,特别是避免任何过量的温度施加到待处理部件的区域。

[0041] 在用于产生具有结构梯度的微结构的设备的第二方面中,控制单元包括用于调节第一加热器装置和第二加热器装置之间的加热温度差的调节器模块,以便根据机械部件中的细晶粒结构和粗晶粒结构之间的中间区域的期望位置,确定第一温度设定点的值和第二温度设定点的值。

[0042] 因此可以不通过限定温度设定点来控制设备,而是仅通过限定粗晶粒区和细晶粒区之间的中间区域的精确位置来控制设备,其中控制单元包括映射图,该映射图使得控制单元能够基于用于定位中间区域的该设定点,确定用于传送至第一和第二加热器装置的温度设定点。

[0043] 在用于产生具有结构梯度的微结构的设备的第三方面中,第一和第二加热器装置分别包括第一和第二不同的感应线圈。

[0044] 不同于现有技术中的主要设备,使用第一和第二感应线圈作为第一和第二加热器装置使得该设备能够在露天运行。

[0045] 此外,使用感应线圈作为加热器装置使得能够基于电源简化控制,其中在这些由控制单元确定的温度设定点被发送到第一和第二感应线圈之前,那些设定点被控制单元转换为用于感应线圈的电源设定点。

[0046] 在用于产生具有结构梯度的微结构的设备的第四方面中,控制单元包括用于调节分别为第一感应线圈和第二感应线圈供电的电力的频率的模块。

[0047] 调节第一和第二感应线圈的电源的频率用于控制机械部件内的过渡区域。

[0048] 在这种应用中,所使用的感应频率处于5千赫(kHz)到30kHz的范围内,以便处于具有较大表皮厚度的感应循环情况中。用于感应循环的“较大表皮厚度”意味着感应循环穿透部件的核心以进行加热,以便在其体积内执行熔化或加热。从这个意义上说,小表皮厚度的感应循环将对应于直接指向部件表面的感应循环,并且建议在加热时进行压花、悬浮、成形。

[0049] 该频率范围具有以优选的方式在深度而不是在表面加热部件的效果。

[0050] 自适应频率平衡被建立以在5kHz至30kHz的范围内运行,然而,特定频率是感应线圈的匹配单元的结果,涉及其直径和匝数,结合部件的形状。放置在由匹配单元和感应线圈组成的给定组件中的两个不同形状的部件将提供不同的频率平衡,但位于5kHz至30kHz的范围内。

[0051] 本发明还提供了一种在具有中空中心的轴对称机械部件中产生具有结构梯度的微结构的方法,该方法包括使初始具有均匀的细晶粒结构的机械部件受到热处理,该热处理包括将机械部件的外周边加热至高于固溶温度的第一温度的第一加热操作。

[0052] 根据本发明的一般特征,热处理还包括将机械部件的内周边加热至低于固溶温度的第二温度的第二加热操作。

[0053] 在产生具有结构梯度的微结构的方法的第一方面中,该方法包括传送用于加热机械部件的外周边的第一温度设定点并且传送用于加热机械部件的内周边的第二温度设定点,所述第一和第二设定点的传送同步,以便第一和第二加热操作在具有结构梯度的微结构的产生的加热阶段和/或冷却阶段同时发生。

[0054] 在产生具有结构梯度的微结构的方法的第二方面中,该方法包括调节第一和第二加热操作之间的温度差,根据部件中的粗晶粒结构和细晶粒结构之间的中间区域的期望位置,确定第一和第二温度设定点的值。

[0055] 在产生具有结构梯度的微结构的方法的第三方面中,第一和第二加热操作分别通过独立地供电不同的第一和第二感应线圈来执行。

[0056] 在产生具有结构梯度的微结构的方法的第四方面中,该方法包括在给第一和第二

感应线圈供电的频率处调节各个频率。

[0057] 本发明还提供了一种涡轮盘,其包括由上述方法产生的具有结构梯度的至少一部分微结构。

[0058] 本发明还提供了一种涡轮发动机,其包括至少一个如上限定的涡轮盘。

[0059] 本发明还提供包括至少一个如上限定的涡轮发动机的一种航空器。

## 附图说明

[0060] 通过阅读以非限制性指示给出的以下描述并参考附图可以更好地理解本发明,其中:

[0061] -图1是用于产生具有结构梯度的微结构的本发明的设备的透视图;

[0062] -图2是图1设备的示意性截面图;以及

[0063] -图3是放置在图1设备中的机械部件内的温度分布的图形表示。

## 具体实施方式

[0064] 图1和2分别是用于产生具有结构梯度的微结构的本发明设备的透视图和剖视图。

[0065] 两幅图都示出了环形机械部件P,例如,放置在用于产生具有结构梯度的微结构的设备1中的涡轮盘。在通过设备1进行任何热处理之前,机械部件P具有均匀的细晶粒结构。

[0066] 设备1具有第一加热器感应线圈2和第二加热器感应线圈3。为了更好地视觉理解,机械部件P以及第一和第二加热器感应线圈2和3仅部分地在图1中示出。

[0067] 在图1和2所示的实施方式中,第一加热器感应线圈2具有四个半径大于环形机械部件P的外半径的匝21、22、23和24。第一加热器感应线圈2被配置为将机械部件P的外周边E加热至高于固溶温度的第一温度T<sub>1</sub>,即高于阻断晶界的相的溶解温度。

[0068] 第二加热器感应线圈3由半径小于环形机械部件P的内半径的两个匝31和32组成。第二加热器感应线圈3配置成将所述机械部件P的内周边I加热至低于固溶温度的第二温度T<sub>2</sub>。

[0069] 在整个说明书中,相对于机械部件P的对称轴以及第一和第二加热器感应线圈2和3的匝21至24以及31和32的对称轴,使用术语“内”和“外”。

[0070] 第一加热器感应线圈2形成第一封闭壳体,在第一封闭壳体内布置由第二加热器感应线圈3形成的第二封闭壳体。由两个加热器感应线圈2和3形成的两个壳体因此限定在两个壳体之间延伸的环形壳套L。壳套L成形为容纳环形机械部件P。

[0071] 通过使用加热器感应线圈,设备1可以在空气中运行并且不需要被放置在需要放置机械部件P的真空结构中。

[0072] 设备1还具有控制单元4,第一加热器感应线圈2和第二加热器感应线圈3电连接到控制单元4。控制单元4具有能够针对两个加热器感应线圈3和4适当地输入两个不同的温度设定点或者实际上用于输入中间区域的位置的输入装置(未示出)。中间区域的位置用于限定在由设备1处理之后机械部件P内的细晶粒和粗晶粒之间的过渡区的位置。

[0073] 控制单元4被配置为响应于使用输入装置输入的信息,以传送第一加热器感应线圈2的第一温度设定点和第二加热器感应线圈3的第二温度设定点。

[0074] 如图3所示,其是机械部件P内的温度分布的图形表示,选择第一温度设定点和第

二温度设定点,使得机械部件的外部E处于温度T<sub>1</sub>,例如,对于由镍基合金制成的机械部件P,对于Inco718型合金的温度为约1040°C至1060°C,或者对于AD730或Rene65型合金为约1120°C至1140°C,或者对于通过粉末冶金制造的N19合金而言约为1160°C至1180°C,并且使得机械部件P的内部部分I处于第二温度T<sub>2</sub>,例如,对于由镍基合金制成的机械部件P,对于Inco718合金的温度约为980°C至1100°C,或者AD730或Rene65型合金的温度约为1060°C至1080°C,或者由粉末冶金法制造的N19温度约为1110°C至1130°C。细晶粒区和粗晶粒区之间的中间区域ZT的长度可以在5mm到50mm的范围内。

[0075] 控制单元4具有用于调节第一加热器感应线圈与第二加热器感应线圈之间的加热温度差的调节器模块5,该模块被配置为根据机械部件中的粗晶粒结构和细晶粒结构之间的中间区域的期望位置,确定第一温度设定点和第二温度设定点的值。

[0076] 控制单元4还具有同步模块6,其被配置为协调由控制单元4确定的第一和第二温度设定点的传送,以便第一加热器感应线圈2和第二加热器感应线圈3在具有结构梯度的微结构产生的加热和/或冷却阶段同时运行。

[0077] 利用控制单元4的同步装置6来协调两个加热器感应线圈2和3使得可以同时加热盘的外部和内部,同时始终控制被加热的机械部件P的各个区域的温度。此外,通过从外部和内部加热部件,由两个加热器感应线圈2和3施加到机械部件P的温度可以保持低于机械部件P可接受的最高温度,从而避免了部件P燃烧的任何风险,因为机械部件的内部区域也接收来自第二加热器感应线圈3的热能。

[0078] 因此,在整个处理过程中,并且最重要的是在保持温度的同时,加热器感应线圈2和3保持机械部件P的区域之间的温度差可调。

[0079] 具体而言,在冷却阶段,控制单元4通过调整施加到第一和第二加热器感应线圈2和3的温度设定点以恒定保持相同的温度差来控制温度下降。

[0080] 使用设备1的处理方法可以占用15分钟(min)至2小时(h)范围内的持续时间。

[0081] 此外,在图1和图2所示的实施方式中,设备1具有两个绝缘件7和8,每个绝缘件抵靠环形机械部件P的相应底面9或顶面10放置。第一绝缘件7被放置在机械部件P的底面9上以覆盖机械部件P从外周边E延伸到内周边I以及第二感应线圈3的整个底面9。相反,第二绝缘件8放置在机械部件P的顶面10上,以覆盖机械部件P从内周边I延伸到外周边E以及第二感应线圈3的整个顶面10。

[0082] 这些绝缘件特别适用于非常大尺寸的机械部件P,因为第一和第二加热器感应线圈2和3之间的距离非常大,以至于通过两个加热器感应线圈2和3沿着部件的热损失会降低加热的有效性。

[0083] 因此,本发明提供了一种用于在具有中空中心的轴对称机械部件中产生具有结构梯度的微结构的设备,该设备能够在待处理的机械部件的区域中调节温度,同时还减小该部件所经受的热机械应力。

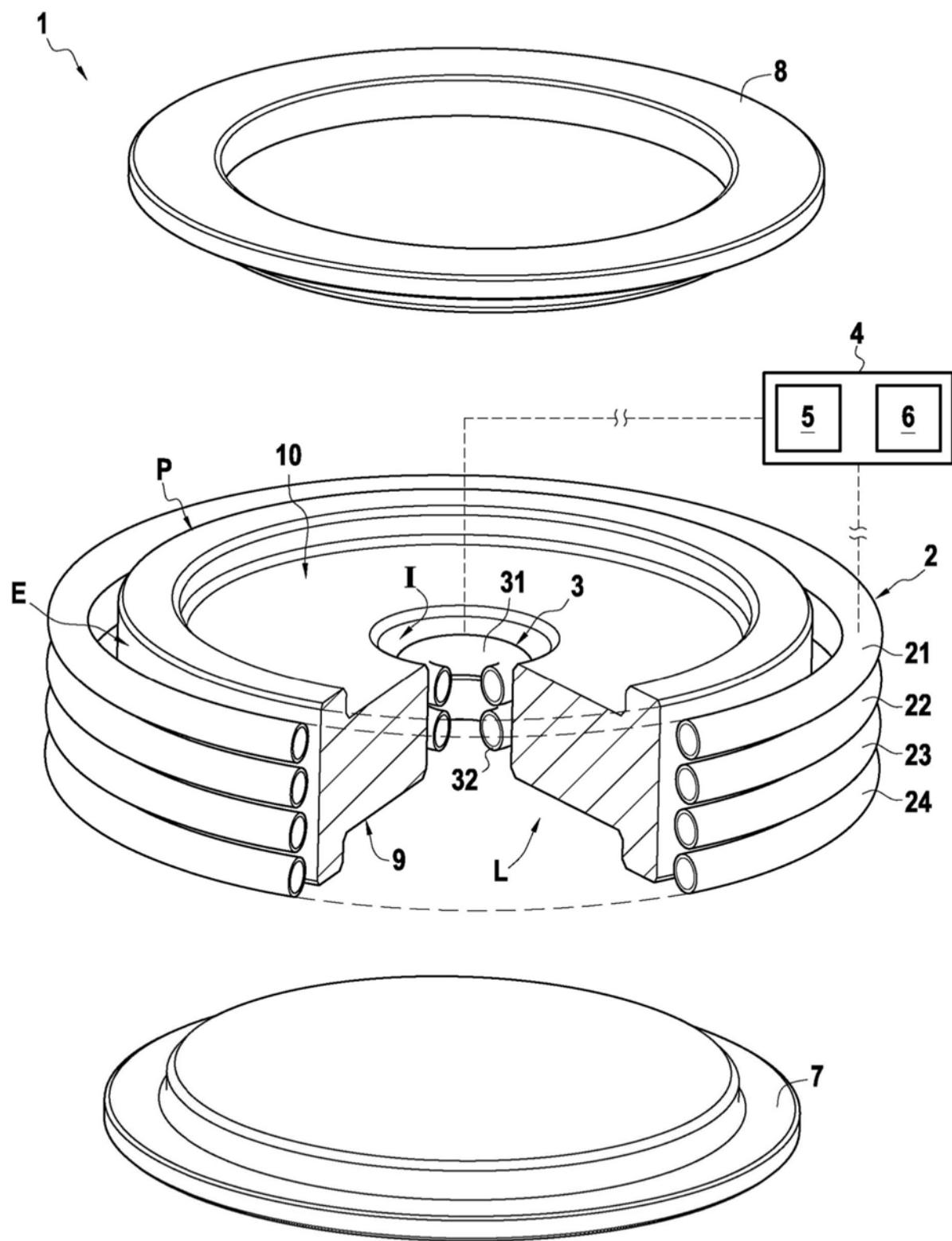


图1

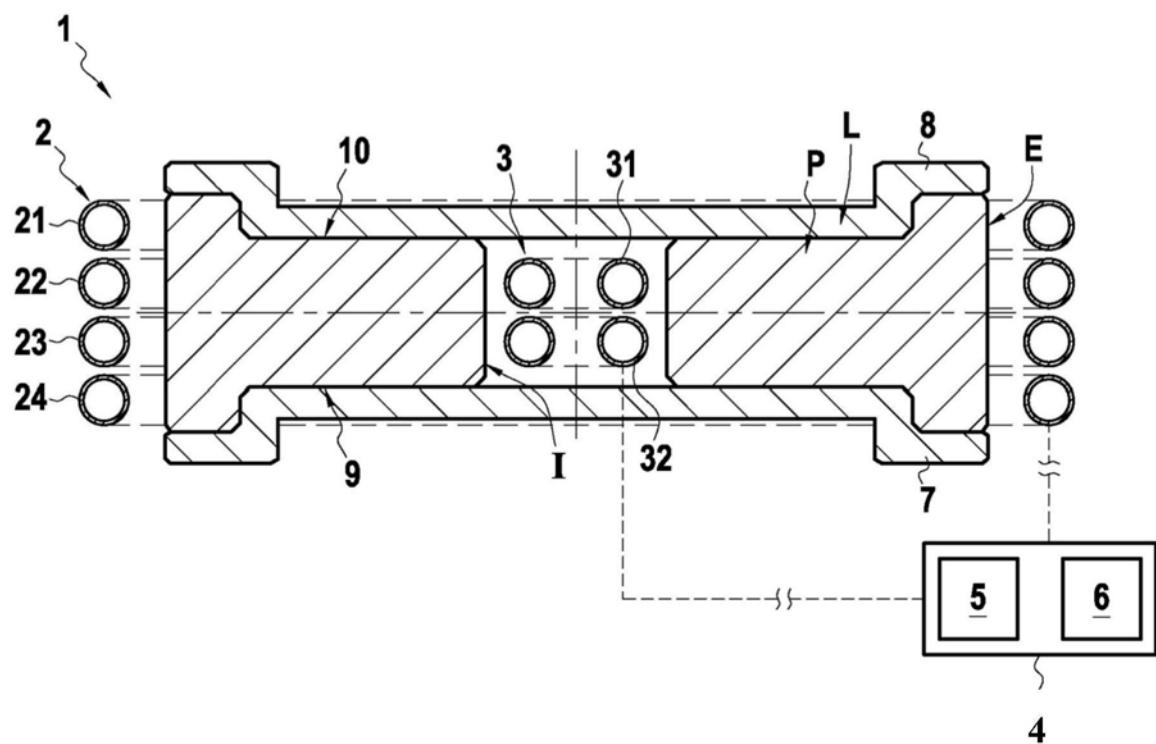


图2

