



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109475931 B

(45) 授权公告日 2021.04.13

(21) 申请号 201780044708.9

(22) 申请日 2017.06.27

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109475931 A

(43) 申请公布日 2019.03.15

(30) 优先权数据
1655959 2016.06.27 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.01.18

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2017/051706 2017.06.27

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/002506 FR 2018.01.04

(73) 专利权人 赛峰集团
地址 法国巴黎
专利权人 赛峰航空器发动机

(72) 发明人 恩加迪亚·塔哈·尼恩

瑟奇·法尔盖斯 塞得·布克玛

瑟奇·滕内 吉勒斯·马丁

(74) 专利代理机构 中国商标专利事务所有限公
司 11234

代理人 曾海艳

(51) Int.Cl.
B22D 27/04 (2006.01)
C30B 11/00 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 104907541 A, 2015.09.16
GB 2017549 A, 1979.10.10
JP 2009279628 A, 2009.12.03
CN 105436478 A, 2016.03.30
CN 105568018 A, 2016.05.11
WO 0066298 A1, 2000.11.09
CN 104661775 A, 2015.05.27

审查员 张瑞红

权利要求书2页 说明书7页 附图4页

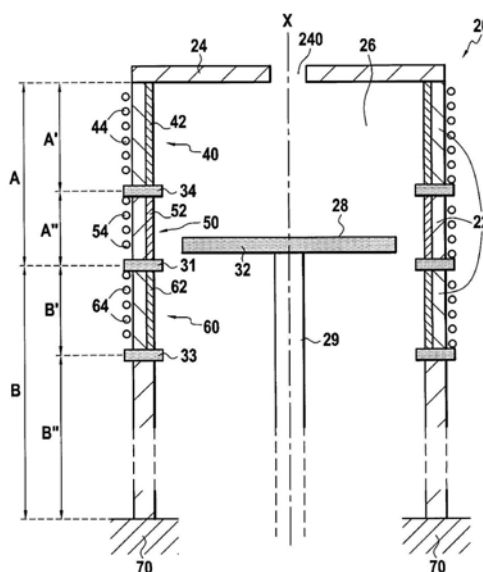
(54) 发明名称

定向凝固冷却熔炉及使用这种熔炉的冷却方法

(57) 摘要

一种用于金属铸造部件的定向凝固冷却熔炉(20)包括:具有竖直中心轴线(X)的圆柱形内部罩壳(26)以及被布置在内部罩壳(26)中的模具支撑件(28);内部罩壳(26)包括铸造区域(A)和冷却区域(B),铸造区域(A)和冷却区域(B)彼此重叠;当模具支撑件被布置在铸造区域(A)中时,铸造区域和冷却区域通过固定的隔热罩(31)并且通过由模具支撑件(28)承载的第二隔热罩(32)彼此热隔离;铸造区域(A)至少包括第一加热装置,并且冷却区域(B)包括第二加热装置(60),第一和第二加热装置被构造成使得铸造区域(A)的温度高于冷却区域(B)的温度;并且冷却区域包括彼此重叠并且通过第三隔热罩(33)彼此热隔离的上部(B')和下部(B''),冷却区域(B)

的上部(B')包括第二加热装置(60)。



1. 一种用于金属铸造部件的定向凝固冷却熔炉(20),所述熔炉包括:

- 具有竖直中心轴线(X)的圆柱形内部罩壳(26);以及
- 被布置在内部罩壳(26)中的模具支撑件(28);

所述内部罩壳(26)包括:

- 铸造区域(A);以及
- 冷却区域(B),所述铸造区域(A)和所述冷却区域(B)彼此重叠;

当所述模具支撑件被布置在所述铸造区域(A)中时,所述铸造区域和冷却区域通过固定的隔热罩(31)以及通过由所述模具支撑件(28)承载的第二隔热罩(32)彼此热隔离;

所述铸造区域(A)至少包括第一加热装置,以及所述冷却区域(B)包括第二加热装置,所述第一和第二加热装置被构造成,使得所述铸造区域(A)的温度高于所述冷却区域(B)的温度;并且

所述冷却区域包括彼此重叠并且通过第三隔热罩(33)彼此热隔离的上部(B')和下部(B''),所述冷却区域(B)的上部(B')包括所述第二加热装置。

2. 根据权利要求1所述的熔炉(20),其中,所述冷却区域(B)的上部(B')可移除。

3. 根据权利要求1所述的熔炉(20),其中,所述第二加热装置包括感应感受器(62)。

4. 根据权利要求1所述的熔炉(20),其中,所述第二加热装置包括电阻。

5. 根据权利要求1所述的熔炉(20),其中,所述内部罩壳(26)具有大于或等于20厘米的直径。

6. 根据权利要求1所述的熔炉(20),其中,所述内部罩壳(26)具有大于或等于50厘米的直径。

7. 根据权利要求1所述的熔炉(20),其中,所述内部罩壳(26)具有大于或等于80厘米的直径。

8. 根据权利要求1至7中任一项所述的熔炉(20),其中,所述铸造区域(A)具有通过第四隔热罩(34)彼此热隔离的上部(A')和下部(A''),所述上部(A')包括上加热装置(40),并且所述下部(A'')包括下加热装置(50)。

9. 一种使用根据权利要求1到8任一项所述的熔炉(20)对金属铸造部件进行定向凝固冷却的方法,所述方法包括以下步骤:

- 将所述冷却区域(B)的上部(B')紧固在所述熔炉(20)上;
- 调节所述铸造区域(A)到铸造温度,并且将所述冷却区域(B)调节到冷却温度,所述冷却区域(B)的上部(B')的温度高于或等于700°C;并且
- 通过将所述熔炉(20)内侧的模具支撑件(28)从所述铸造区域(A)朝所述冷却区域(B)移动,逐渐地冷却所述金属铸造部件。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,在所述铸造区域(A)和液态金属之间的温差处于0°C到50°C的范围内,所述铸造区域(A)的温度低于所述液态金属的温度。

11. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述冷却区域(B)的上部(B')的温度大于或等于700°C。

12. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述冷却区域(B)的上部(B')的温度大于或等于800°C。

13. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述冷却区域(B)的上部(B')的温度大于或等于

900℃。

14. 根据权利要求9到13任一项所述的方法, 其中, 在金属铸造部件的冷却过程中, 在上述金属铸造部件的给定点处的冷却速率小于 $-0.30^{\circ}\text{C}/\text{s}$, 并且大于 $-0.10^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。

15. 根据权利要求9到13任一项所述的方法, 其中, 在金属铸造部件的冷却过程中, 在上述金属铸造部件的给定点处的冷却速率小于或等于 $-0.25^{\circ}\text{C}/\text{s}$, 并且大于或等于 $-0.15^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。

定向凝固冷却熔炉及使用这种熔炉的冷却方法

技术领域

[0001] 本发明涉及冷却通过铸造制成的金属部件的领域,并且更具体地涉及一种用于金属铸造部件的定向凝固冷却熔炉,以及也涉及一种通过使用这种熔炉对金属铸造部件定向凝固冷却的方法。

背景技术

[0002] 所谓的“失蜡”或“熔模”铸造方法特别地适合于生产复杂形状的金属部件。因此,熔模铸造特别地用于生产涡轮发动机叶片。

[0003] 在熔模铸造中,第一步骤是用相对较低熔融温度的材料,诸如例如蜡或树脂,制成模型,其中模具然后被二次注塑在模型上。在模具已经凝固之后,从模具内侧撤出模型材料。熔融金属然后被铸造到模具内,以填充通过从模具撤出模型所形成的空腔。一旦金属已经完全地冷却和凝固,可打开或破坏该模具,以回收一种具有模型形状的金属部件。

[0004] 为了能够同时生产多个部件,可以将多个模型结合在单一集群中,每个模型连接到一棵树形物,所述树形物形成用于模具内的熔融金属的铸造通道。

[0005] 术语“金属”在本上下文中用于既包括纯金属又包括金属合金。

[0006] 为了能够利用这种金属合金在通过铸造生产的部件中获得有利热机械性能的能力,可能期望使用模具中金属的定向凝固。

[0007] 术语“定向凝固”在本文中用于包括控制固体晶体的结晶及控制其从液态向固态转变时以给定方向在熔融金属内的生长。这种定向凝固的目的因此是避免晶界在部件中的负面效应。定向凝固可以是柱形的或单晶的。柱形定向凝固包括将所有晶界定向在同一方向中,以减少它们对裂纹扩展的作用。单晶定向凝固包括确保该部件凝固为单晶体,从而消除晶界。

[0008] 通过定向凝固生产的部件不仅可以获得沿所有力轴线的特别高的机械强度,而且它们还可以具有改进的高温性能,因为不需要使用添加剂来实现结晶颗粒之间的更强结合。因此,以这种方式生产的金属部件可有利地在例如涡轮机的高温部分使用。

[0009] 在定向凝固铸造方法中,液态金属被铸造到模具中,所述模具包括一种在铸造衬套和底座之间沿主轴延伸的中心圆柱体,以及被布置为围绕所述中心圆柱体的集群的多个成型空腔,每个空腔通过进给通道连接到铸造衬套。在熔融金属经由铸造衬套已经被铸造到模具空腔内之后,熔融金属沿所述主轴从底座朝铸造衬套逐渐地冷却。例如,这可以通过在冷却底座的同时从熔炉或加热腔室沿其主轴向下逐渐地提取模具来实现。

[0010] 因为熔融金属从底座开始逐渐地冷却,所以金属的凝固可以在底座附近开始,并且可以沿平行于主轴的方向从底座延伸。

[0011] 然而,在金属的凝固和冷却过程中,在模具的多种部分和金属之间可能存在很大的温度梯度,从而在部件产生变形和热机械应力。为了限制这些应力,使用一种由铜制成并且能够将冷却区域维持在约300°C的温度的冷却器,以减小在定向凝固过程中部件中存在的温度梯度。

[0012] 然而,由于目前正在生产的部件变得越来越复杂(新合金、中空或实心涡轮叶片和/或越来越精细的壁厚),所产生的热机械应力可导致在这些叶片的凝固和冷却过程中形成的重新结晶晶粒和裂纹,从而导致最终部件中的脆弱区域。

发明内容

[0013] 本发明提供一种用于金属铸造部件的定向凝固冷却熔炉,所述熔炉包括:

[0014] • 具有竖直中心轴线的圆柱形内部罩壳;以及

[0015] • 被布置在所述内部罩壳中的模具支撑件;

[0016] 所述内部罩壳包括:

[0017] • 铸造区域;以及

[0018] • 冷却区域,所述铸造区域和所述冷却区域彼此重叠;

[0019] 当所述模具支撑件被布置在所述铸造区域中时,所述铸造区域和冷却区域通过固定的隔热罩以及通过由所述模具支撑件承载的第二隔热罩彼此热隔离;

[0020] 所述铸造区域包括至少一个第一加热装置,以及所述冷却区域包括第二加热装置,所述第一和第二加热装置被构造,使得所述铸造区域的温度高于所述冷却区域的温度;并且

[0021] 所述冷却区域包括彼此重叠并且通过第三隔热罩彼此热隔离的上部和下部,所述冷却区域的上部包括所述第二加热装置。

[0022] 在本公开中,术语“圆柱形”应该理解是指限定内部罩壳的所述熔炉的壁在垂直于所述熔炉的中心竖直轴线的平面中具有任意形状的截面,所述形状可以是圆形、方形或六边形。然而,所述熔炉的形状可同样地具有大致椭圆形的截面。

[0023] 所述模具支撑件可以是一种能够沿所述熔炉的中心轴线竖直移动并且适用于支撑模具的板,在所述模具中铸造液态金属。

[0024] 在本公开中,“铸造区域”是指所述熔炉的内部罩壳的区域,在所述区域中液态金属被铸造到所述模具内。所述模具支撑件然后被定位在该铸造区域的下部中或者在所述铸造区域和所述冷却区域之间,使得当被放置在模具支撑件上时,所述模具同样被布置在该区域中。

[0025] 在本公开中,所述“冷却区域”是指所述熔炉的内部罩壳的区域,所述区域竖直地位于所述铸造区域之下,并且其中一旦所述模具被定位在该冷却区域中,在铸造之后存在于所述模具中的液态金属逐渐地冷却和凝固。

[0026] 在本公开中,相对于在重力的作用下金属被铸造到模具内的方向限定了术语“在…以上”、“在…以下”、“上”、“下”、“在…之下”,即在金属被铸造到模具内的同时相对于所述模具和所述冷却熔炉的正常定向。

[0027] 所述铸造和冷却区域包括相应的第一和第二加热装置,使得所述铸造区域的温度高于所述冷却区域的温度。所述冷却区域的温度低于所述铸造区域的温度这一事实使得所述模具中的金属能够逐渐地从液态转变为固态。

[0028] 这两个区域通过静止并且可被布置在所述熔炉的壁中的第一隔热罩以及通过第二隔热罩彼此热隔离,所述第二隔热罩当被布置在所述铸造区域中时由所述模具支撑件承载,能够更精确地控制每个区域的温度,而不受到相邻区域温度的影响。

[0029] 调节所述加热装置,并且从而控制所述铸造和冷却区域的温度用于控制温度、冷却速率,以及因此在金属冷却过程中的温度梯度,从而限制金属中的热机械应力和塑性变形。

[0030] 包括第二加热装置的所述冷却区域的上部用于在定向凝固过程中控制金属中的温度梯度。第三隔热罩可被布置在所述熔炉的壁中。所述冷却区域的上部因此通过所述第一和第二隔热罩与所述铸造区域热隔离,并且通过第三隔热罩与所述冷却区域的下部热隔离,从而能够更精确地调节该区域的温度,而其不受相邻区域中温度的影响。

[0031] 在某些实施方式中,所述冷却区域的上部可移除。

[0032] 术语“可移除”应该理解为是指所述冷却区域的上部可与所述熔炉的其余部分分隔。因此,根据用于金属铸造的合金类型,以及因此根据在定向凝固过程中存在于铸造中的温度梯度,可以适配所述第二加热装置。特别地,在适当情况下,可以更换该部分以返回到使用现有技术的铜冷却器。这具有为铸造金属部件提供广泛范围的可能合金和形状的优点,由于所述熔炉可根据合金的这些多种类型而被适配,并且也具有提供对于操作者来说简单和快速的维护的优点。

[0033] 在某些实施方式中,所述第二加热装置包括感应感受器。

[0034] 在某些实施方式中,所述第二加热装置包括电阻。

[0035] 在某些实施方式中,所述内部罩壳具有大于或等于20厘米(cm)的直径,优选地大于或等于50厘米,更优选地大于或等于80厘米。

[0036] 通过使用更大尺寸的集群、具有更多数量的铸件或形状复杂且占据较大体积的铸件(castings),这可以改进制造金属铸件的工艺的有效性。

[0037] 在某些实施方式中,所述铸造区域具有通过第四隔热罩彼此热隔离的上部和下部,所述上部包括上加热装置,并且所述下部包括下加热装置。

[0038] 在某些实施方式中,所述铸造区域的上加热装置和下加热装置被构造成,使得所述上部的温度高于或等于所述下部的温度。

[0039] 在某些实施方式中,所述铸造区域的上加热装置和下加热装置被构造成,使得狭窄部分的温度高于或等于所述上部的温度。

[0040] 这可以控制铸造区域中的温度,并且可以根据集群类型和所考虑合金的类型来适配铸造区域的上部和下部的温度。因此,这可以控制在定向凝固方向中的温度梯度,以及控制冷却时间。

[0041] 本公开还提供了一种使用本公开的熔炉对金属铸造部件进行定向凝固冷却的方法,所述方法包括以下步骤:

[0042] • 将所述冷却区域的上部紧固在所述熔炉上;

[0043] • 调节所述铸造区域到铸造温度,并且将所述冷却区域调节到冷却温度,所述冷却区域的上部的温度高于或等于700°C;

[0044] • 通过将所述熔炉内侧的模具支撑件从所述铸造区域朝所述冷却区域移动,逐渐地冷却所述铸造金属部件。

[0045] 在定向凝固过程中,当模具在竖直方向向下移动时,被布置在集群支撑件上的模具从铸造区域逐渐地转到冷却区域。所述方法可以首先根据集群的类型和所考虑合金的类型适配冷却区域的上部,其次通过控制部件内的温度梯度将多个区域的温度调节到能够通

过定向凝固冷却金属部件的值,并且因此限制再结晶晶粒出现的风险以及缺陷风险或该部件中出现的脆弱点。

[0046] 在某些实施方式中,在铸造区域和液态金属之间的温差在0°C到50°C之间,所述铸造区域的温度低于液态金属的温度。

[0047] 当模具被定位在铸造区域中时,未超过该温差的事实可以将金属保持在液态,使得模具中存在的所有金属在整个铸造阶段都保持液态。这可以避免在未适当地控制凝固的情况下可能存在另外出现的冶金缺陷。

[0048] 在某些实施方式中,所述冷却区域的上部的温度大于或等于700°C,优选地大于或等于800°C,更优选地大于或等于900°C。

[0049] 控制该熔炉内的温度以具有这些值使得在定向凝固过程中可以致使金属从液态转变到固态,同时限制集群内的温度梯度。这可以获得更逐渐和更缓慢的冷却,因此限制了再结晶晶粒出现的任何风险,并且从而控制铸造中的应力和变形。

[0050] 在某些实施方式中,在金属铸造的冷却过程中,在金属铸造的给定点处的冷却速率小于-0.30摄氏度/秒(°C/s),优选地小于或等于-0.25°C/s且大于-0.10°C/s,优选地大于或等于-0.15°C/s。

[0051] 冷却速率具有负值。具体地,例如,-0.30°C/s的冷却速率意味着在冷却过程中,在金属铸造中给定点处的温度每秒降低0.30°C。因此,术语“小于-0.30°C/s”应该理解为更慢的冷却速率,根据绝对值考虑这些值。例如,-0.25°C/s是一种小于-0.30°C/s的冷却速率。

[0052] 通过在其冷却方面提供更好的控制,这些冷却速率用于减少铸造内的温度梯度,并且从而限制铸造中出现再结晶晶粒和缺陷的任何风险。

附图说明

[0053] 在阅读作为非限制性示例给出的本发明的多种实施方式的以下详细描述后,可以更好地理解本发明及其优点。该描述是参照附页中的图进行的,其中:

[0054] 一图1是一种包括铸造集群的壳模的侧视图;

[0055] 一图2是冷却熔炉的示意性剖面图;

[0056] 一图3A是图2熔炉的示意剖面图,图1的模具被布置在铸造区域中,并且图3B是在定向凝固过程中熔炉和模具的示意剖面图;

[0057] 一图4是一种示出对于可移除部件的变化温度,在部件某一点的温度如何变化的图表;以及

[0058] 一图5将常规熔炉的使用与根据本公开的熔炉的使用作比较,示出了金属部件中的热应力。

具体实施方式

[0059] 以下参照图1到5描述一种本发明的示例熔炉20以及一种通过与通过铸造制成的叶片一起使用的定向凝固的示例冷却方法。

[0060] 通过铸造方法制造叶片。该铸造方法中的第一步骤包括制造叶片的模型,并且包括将多个模型分组在一起,以形成一种能够制造模具的集群,如以下步骤所述。

[0061] 在第二步骤中,由蜡集群制造壳模1。

[0062] 第二步骤的最后操作是从壳模1消除集群模型的蜡。通过将壳模1提高到一种高于蜡的熔融温度的温度来消除蜡。

[0063] 在第三步骤中,通过将熔融金属铸造到壳模1内,在壳模1中形成叶片12的集群10(图1)。熔融金属从被称为铸造衬套14的模具顶部铸造到壳模1内,在该步骤中,壳模1处于冷却熔炉20的铸造区域A中。

[0064] 在第四步骤中,存在于壳模中的金属被冷却,并且其在冷却熔炉20的冷却区域B中凝固。

[0065] 最后,在第五步骤中,在已经通过敲除方法从壳模1释放了集群10之后,每个叶片12与集群10的其余部分分离,并通过完井方法(completion method)精加工,例如加工方法。

[0066] 本发明特别地涉及冷却熔炉20以及涉及在上述第四步骤中实施的凝固方法。

[0067] 通过熔炉20(图2)实施被称为“定向凝固”的这种凝固方法。

[0068] 熔炉20具有一种带有竖直中心轴线X的圆柱形壁22,以及一种垂直于轴线X被布置在圆柱形壁22顶端的顶壁24,使得圆柱形壁22和顶壁24形成熔炉的内部罩壳26。顶壁包括一个基本被定位在壁24的中心中的孔240。

[0069] 熔炉由彼此重叠的铸造区域A和冷却区域B组成,使得铸造区域A在冷却区域B以上。铸造区域A和冷却区域B通过第一隔热罩31彼此热隔离,所述第一隔热罩31可由一种不导热且插入在壁22中的材料制成。例如,第一隔热罩31可由压缩石墨纸制成或由夹层制成,所述夹层包括一种在根据温度具有在范围0.4-0.8中的发射率的两层石墨之间压缩的毡层(例如,以Papeyx的名义售卖的)。

[0070] 熔炉20也具有一种被布置在内部罩壳26内侧并紧固在千斤顶29上的水平模具支撑件28,所述千斤顶29用于竖直地向上或向下移动支撑件28。模具支撑件28包括第二隔热罩32,使得当模具1被定位在模具支撑件28上时,模具1与位于第二隔热罩32之下的内部罩壳26的其余部分热隔离。因此,当模具1位于铸造区域A中时,模具1通过第一隔热罩31和第二隔热罩32与冷却区域B热隔离。

[0071] 此外,冷却区域B本身具有上部B'和下部B'',上部B'和下部B''彼此重叠,使得上部B'被布置在下部B''以上。上部B'和下部B''通过第三隔热罩33彼此热隔离。上部B'部也具有一种包括感受器62和加热线圈64的加热装置60。构成熔炉20底部的下部B''连接到支架70。

[0072] 冷却区域B的上部B'可移除。因此,根据需要待冷却的部件、它们的尺寸、它们的合金来适配加热装置60。这也可以简化和方便便利操作人员的维护操作。

[0073] 铸造区域A也具有上部A'和下部A'',所述上部A'和下部A''彼此重叠,使得上部A'被布置在下部A''以上。上部A'和下部A''通过第四隔热罩34彼此热隔离。上部A'包括加热装置40,所述加热装置40包括感受器42和加热线圈44。感受器42可以是一种被布置在内部罩壳26内侧以被挤压在熔炉20的壁22上的石墨管。加热线圈44可以是一种环绕外壁22的铜线圈,用于产生具有加热感受器42的效应的磁场。该感受器因此也通过辐射加热内部罩壳26。此外,内部罩壳26可被抽真空,以便保护石墨感受器免受任何氧化。替代地,内部罩壳26也可用存在的例如氩气的惰性气体部分地抽真空。

[0074] 下部A''也具有一种包括感受器52和加热线圈54的加热装置50,下部A''的加热装置50不同于上部A'的加热装置40,从而能够彼此独立地加热这些部分,并且因此控制铸造区

域A中内部罩壳29内的温度梯度。

[0075] 在本示例中,圆柱形壁的内径在200毫米(mm)到1000毫米的范围内。铸造区域在超过1米(m)的高度上竖直地延伸。这些尺寸使得可以处理更大尺寸的集群,包括高度可在200毫米到300毫米范围内的更多数量的叶片。可移除的上部B' 在处于150毫米到300毫米范围内的高度上竖直地延伸。

[0076] 以下描述了一种使用如上所述熔炉通过定向凝固冷却金属铸造叶片的方法。

[0077] 首先,冷却区域的上部B' 被紧固到熔炉20。

[0078] 事先,如图3A所示的铸造步骤包括将模具1放置在铸造区域A中以及将其定位在支撑件28上,所述支撑件28本身位于铸造区域A中。模具1以如下方式被定位,使得铸造衬套14面对在熔炉20的顶壁24中的孔240。处于液体状态在范围1480°C到1600°C的温度并且被保持在坩埚80中的金属然后经由孔240注入到衬套14内,直到几乎完全地填充了模具1,仅部分地填充铸造衬套14。

[0079] 与该铸造步骤并行地,调节加热装置40和50,以通过热辐射加热模具1,从而将其保持在处于范围1480°C到1600°C的温度。铸造区域的温度因此小于或等于液态金属的温度,差值在0到50°C的范围中。因此,被铸造到模具1内的液态金属的温度保持高于金属的熔融温度,从而在整个铸造步骤中避免模具1中的不期望凝固。此外,模具1与冷却区域B通过第一和第二隔热罩31和32热隔离。

[0080] 一旦已经完成了铸造步骤,即当模具1完全地填充有液态金属时,除已经凝固并且与模具底部接触的金属层之外,并且在降低支撑件之前的等待阶段之后,凝固阶段开始。

[0081] 支撑件28通过千斤顶29向下移动,使得模具渐渐地从铸造区域A转到冷却区域B' (图3B)。在该区域中的温度然后被设置到700°C或高于700°C的温度,同时低于金属的熔融温度,从而致使金属凝固,而铸造区域A继续被保持在一种处于范围1500°C到1530°C内的温度。由于模具1的下部首先穿透到冷却区域内,液态金属因此在模具的该下部开始凝固。因此形成了凝固前部,如图3B中通过线12a象征性地示出的,其前部对应于金属的液相和固相之间的界面。该凝固前部12a在模具1的参照系中向上移动,由于模具根据定向凝固的原则逐渐地穿透到冷却区域B内。因此,当支撑件28继续向下移动时,模具1结束使其全部高度位于冷却区域的底部B' 中,使得模具1中存在的所有金属都处于固态。凝固阶段因此完成。该冷却方法的全部过程可例如处于3600秒(s)到7600秒的范围中,其中支撑件28以在范围1毫米每秒(mm/s)到10毫米/秒的速度移动。

[0082] 所获得的叶片12是单晶并且空心或实心以及由镍基合金制成的叶片。术语“镍基合金”用于表示如下的合金,其中镍的重量含量占多数。可理解的是,因此,镍是在合金中具有最大的重量含量的元素。这些更脆弱的空心或实心叶片可存在缺陷,如果在冷却和凝固过程中没有适当地控制温度梯度的话。通过将该可移除部分的温度设定到足够高温(高于或等于700°C)从而减少在定向凝固的方向中存在于叶片12中的温度梯度,即当模具1位于铸造区域A和冷却区域B中时,以上描述的熔炉和方法,以及特别地可移除部分B' 用于限制或甚至消除这些风险。

[0083] 图4示出了对于可移除部分B' 的变化温度,在叶片12的前缘某一点的温度在凝固阶段(S)中和在冷却阶段(R)中如何变化。虚线曲线示出了使用一种用于将冷却区域保持在约300°C的温度下的铜冷却器参考情况,连续细实线曲线示出了一种当可移除部分B' 被加

热到700℃时使用熔炉的情况,以及连续的粗线曲线示出了当可移除部分B'被加热到1000℃时的情况。其他曲线示出了中间情况。

[0084] 尽管在凝固阶段过程中每个结构之间的差异不显著,但在从700℃开始的冷却阶段过程中,可移除部分的影响特别地明显。对于该温度,对应于曲线斜率的冷却速率为 $-0.23^{\circ}\text{C}/\text{s}$,使得此点的温度比参照情况高 57°C 。对于在 1000°C 温度下的可移除部分,冷却速率为 $-0.18^{\circ}\text{C}/\text{s}$,使得此点的温度比参照情况高 165°C 。这些较慢的冷却速率导致更低的温度梯度,从而在冷却过程中在金属铸件中同样产生更低的应力。

[0085] 此外,图5通过比较使用常规熔炉(图5右侧的叶片(b))以及本发明熔炉(图5左侧的叶片(a))示出了叶片金属中的热应力。上叶片和下叶片分别示出了单个叶片的两个主要表面。在图5中,对于对应于常规熔炉的叶片(b),区域90表示应力最大的叶片区域。对于对应于本公开熔炉的叶片(a),区域92示出了应力最大的叶片区域。因此可以看出,区域92比区域90在更小的叶片区域上延伸,使得在通过本公开的熔炉20冷却的叶片中的应力比常规熔炉冷却的叶片中的应力更小。更准确地,借助于本公开的熔炉20以及方法,可以将金属中的应力减少约24%。

[0086] 尽管参照具体实施例描述了本发明,但很明显的是,在不超出由权利要求所限定的本发明的通常范围的情况下,可以对这些实施方式进行修改和改变。特别地,所示出和/或提及的多种实施方式的单独特征可在额外实施方式中组合。因此,说明书和附图应当认为是说明性的,而非限制性的。例如,冷却区域可具有彼此重叠的两个加热装置。

[0087] 同样很明显的是,参照方法描述的所有特征可单独地或组合地转置到装置,反之亦然,参照装置描述的所有特征可以单独地或组合地转置到方法。

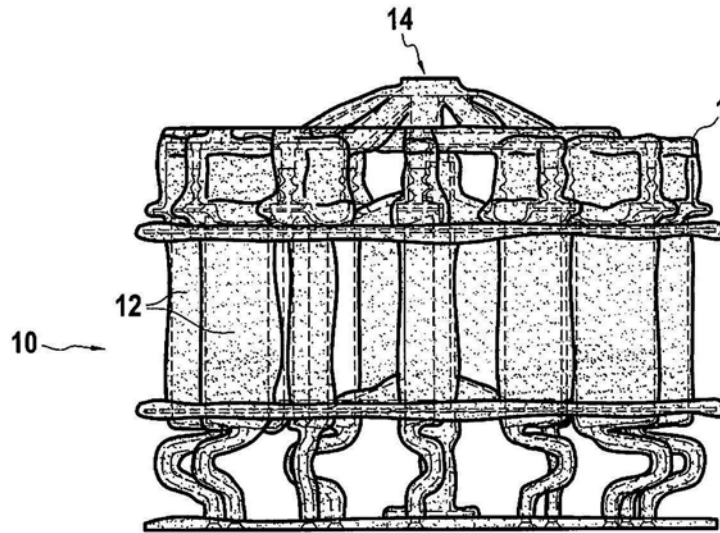


图1

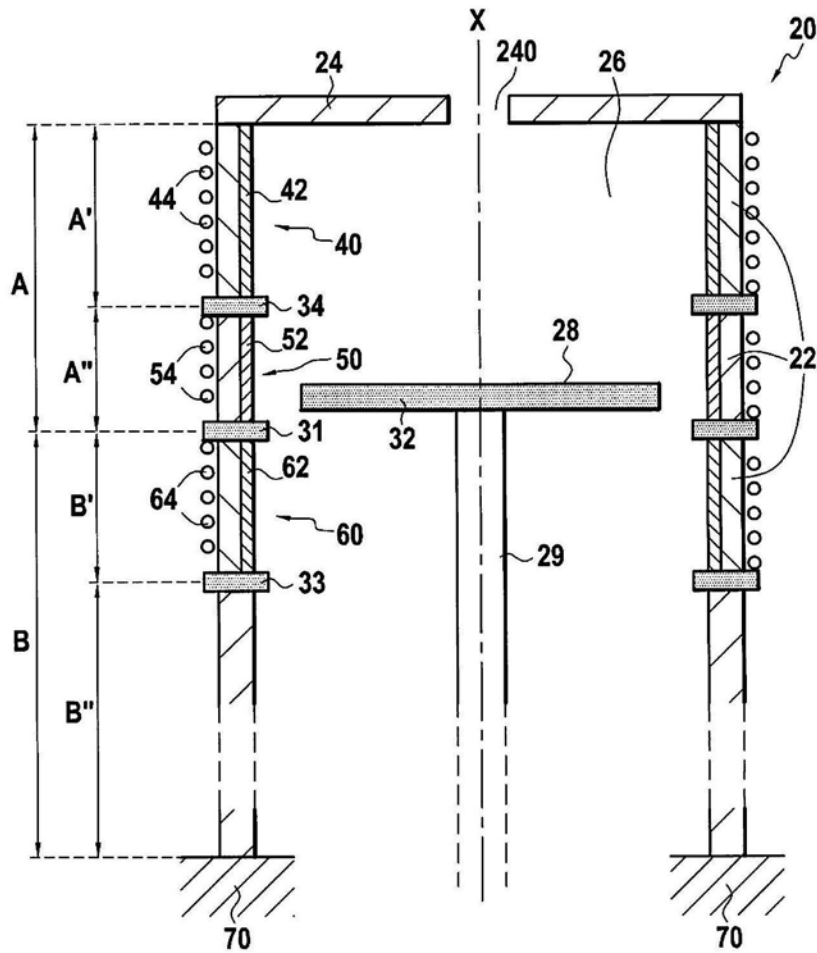


图2

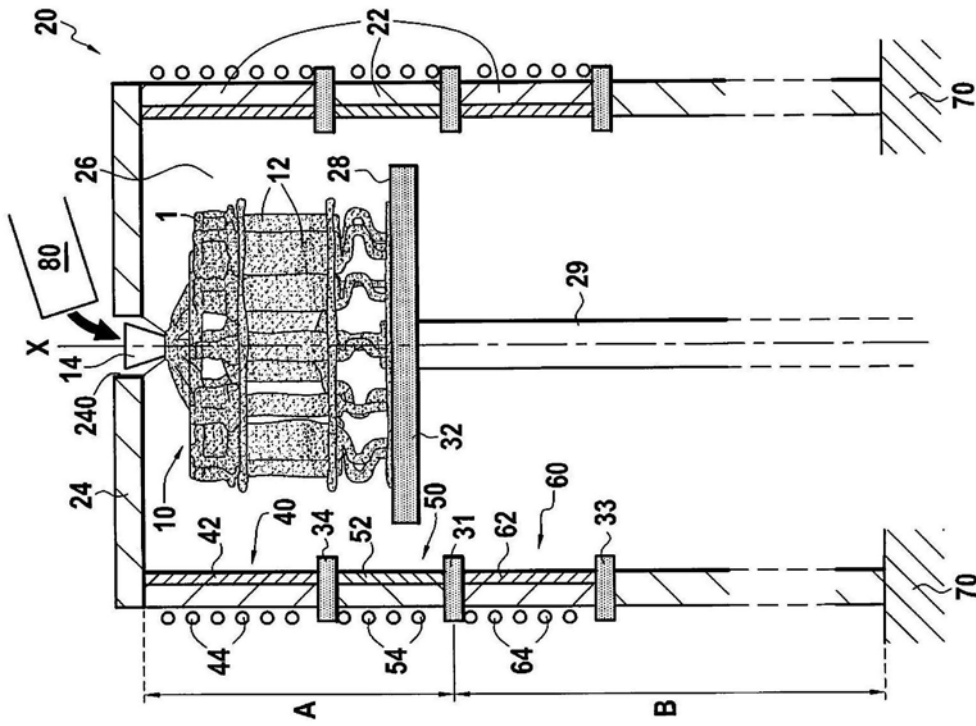


图3A

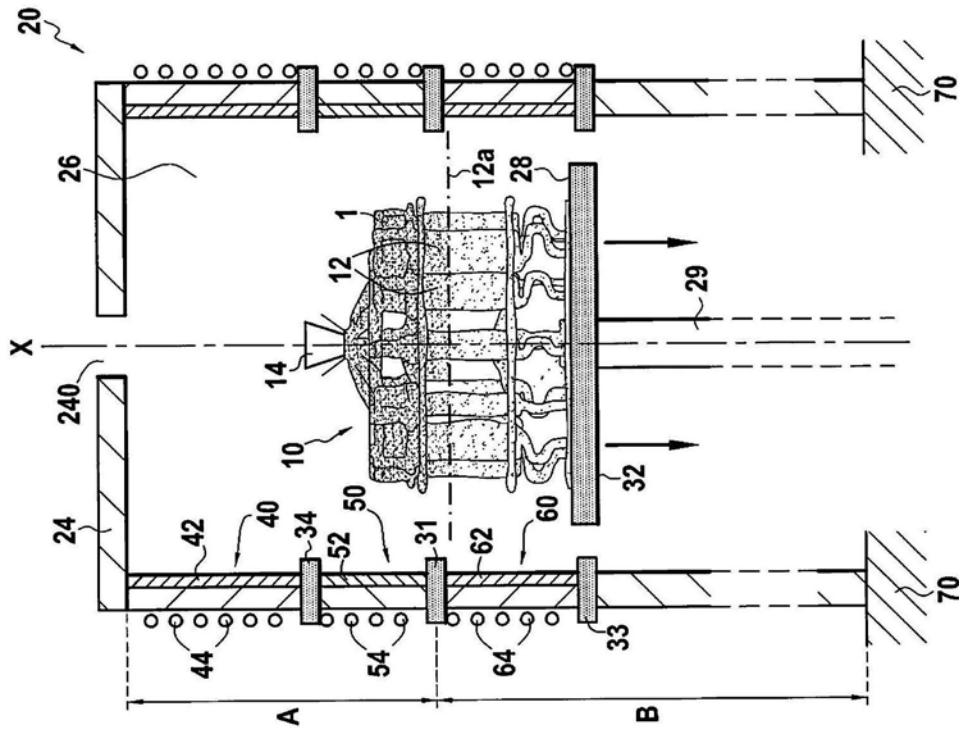


图3B

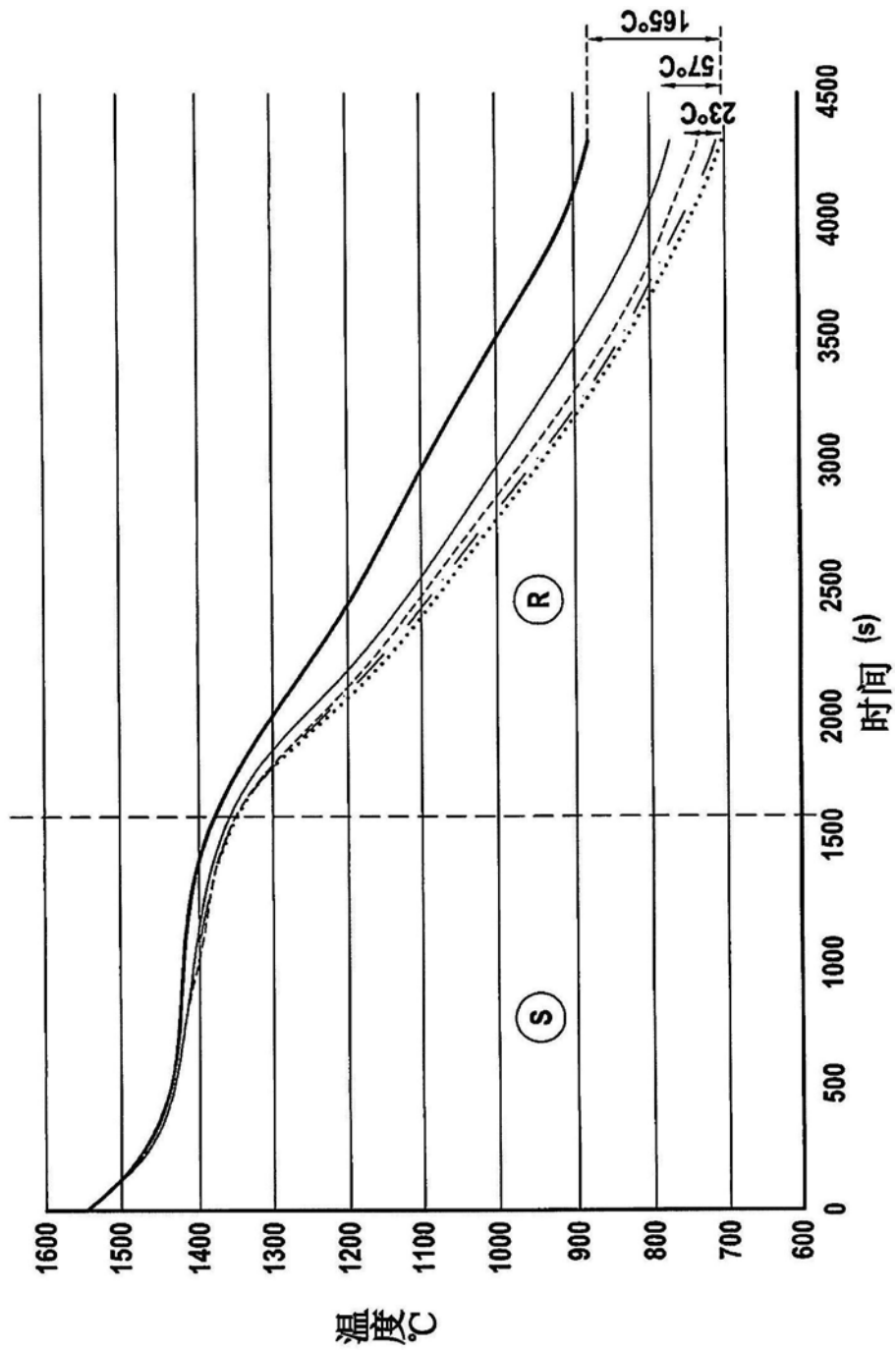


图4

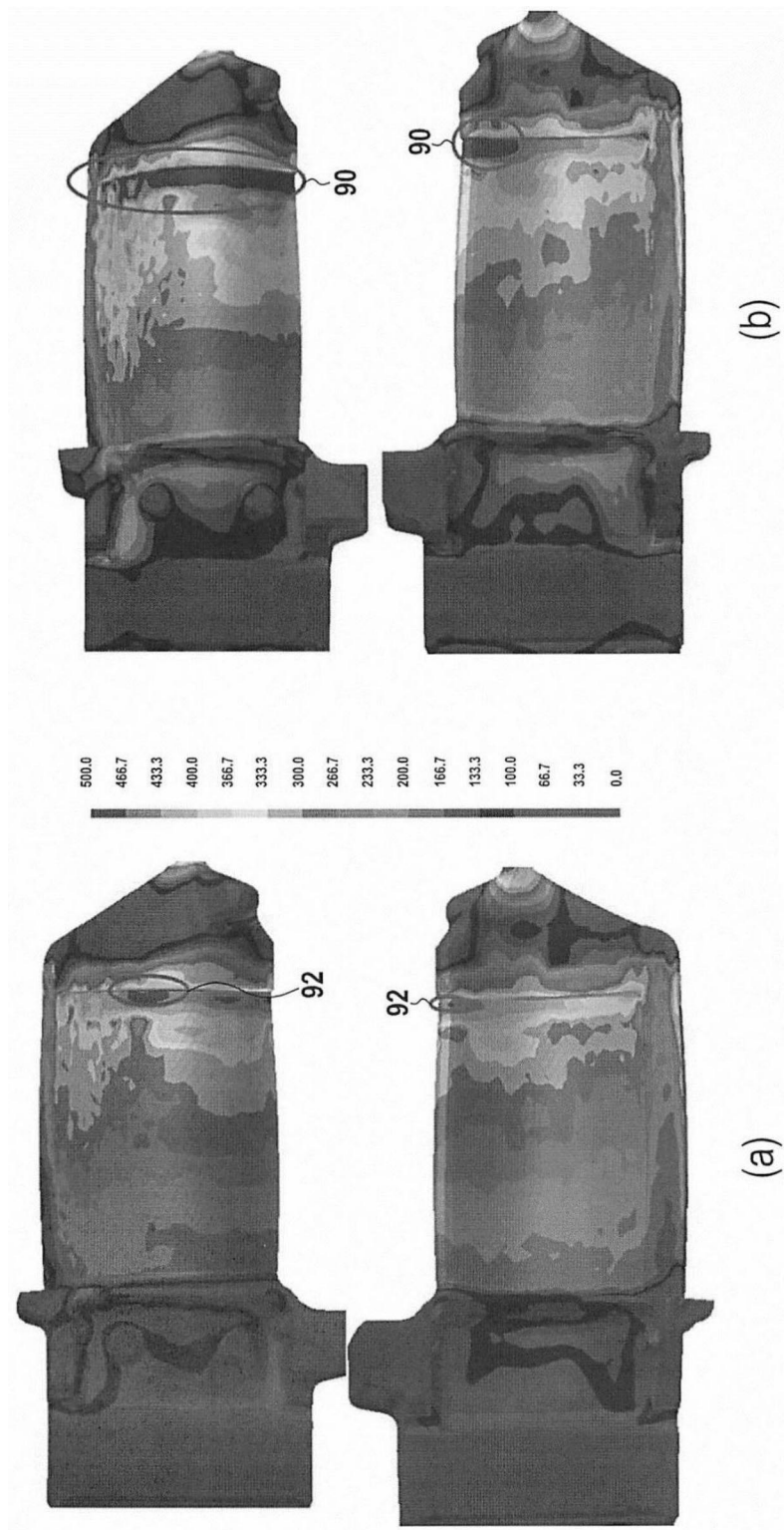


图5