(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105436478 A
(43)申请公布日 2016.03.30

(21)申请号 201511008332.5

(22)申请日 2015.12.30

(71)申请人 上海大学
地址 200444 上海市宝山区上大路99号

(72)发明人 玄伟东 李传涛 谢信亮 任忠鸣 李传军 任兴孚 王宝军

(74)专利代理机构 上海上大专利事务所(普通合伙) 31205
代理人 顾勇华

(51)Int.Cl.
B22D 27/04(2006.01)
C30B 11/00(2006.01)
C30B 29/52(2006.01)

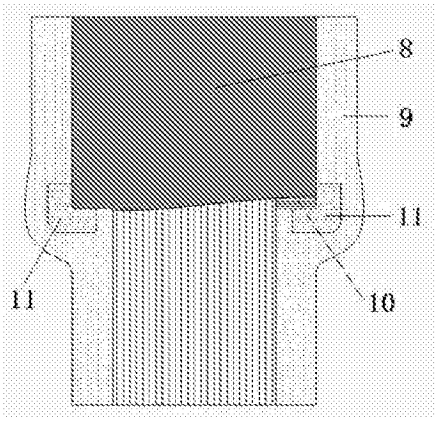
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

控制变截面处杂晶形成的方法

(57)摘要

本发明公开了一种控制变截面处杂晶形成的方法,通过在变截面处使用双层模壳法,能切实有效的抑制变截面处杂晶形成,在相对较高的拉速下获得单晶组织,获得机械性能优良的高温合金铸件。本发明变截面铸件定向凝固装置由加热系统、铸件系统和水冷系统组成,铸件系统从加热区拉到冷却区可以实现自下而上的定向凝固。采用双层模壳法有优异的抑制杂晶形成的效果,对多叶片成组制造并获得性能优异的单晶高温合金叶片,提高生产效率具有重要的指导意义。



CN 105436478 A

1.一种控制变截面处杂晶形成的方法，其特征在于：设置定向凝固装置，由铸件型腔模壳形成金属定向凝固工作空间，并使定向凝固工作空间形成竖直的分段变截面的圆柱形铸件型腔，在铸件型腔的变截面拐角处的铸件型腔模壳部分形成局部双层模壳，局部双层模壳是由保温模壳和铸件型腔模壳分别作为内外壳层结合形成的复合模壳，利用保温模壳包围铸件变截面拐角，进而控制铸件在变截面处的径向温度梯度为0.5～1.0℃/mm，同时控制其加热炉内腔温度为1450～1550℃，采用水冷系统作为对铸件起晶段进行冷却，在定向凝固装置内的固-液界面处和初生凝固组织中形成设定的过冷度，并控制定向凝固铸坯的拉速连续可调；将铸件型腔模壳与拉杆固定，然后一起上升进入定向凝固装置的加热炉中设定位置处，然后向铸件型腔模壳中浇铸金属熔体，浇注完成后，保温至温度基本恒定后，根据设定抽拉速度及温度梯度，以1～4mm/min的拉速将铸件型腔模壳、初生凝固铸件和水冷系统一并从加热炉内的加热区向冷却区缓慢抽拉，使在铸件型腔模壳中的金属熔体进行自下而上的定向凝固形成单晶组织。

2.根据权利要求1所述控制变截面处杂晶形成的方法，其特征在于：在铸件起晶段利用螺旋选晶器的螺旋段的选择作用，逐渐生长金属单晶凝固组织。

3.根据权利要求2所述控制变截面处杂晶形成的方法，采用控制变截面处杂晶形成的装置来实施，所述控制变截面处杂晶形成的装置包括炉体(1)和加热器(2)，其特征在于：在所述加热器(2)下方设有固定辐射挡板(6)，所述固定辐射挡板(6)将整个所述炉体(1)的内腔分为上方的加热区和下方的冷却区，铸件系统从加热区拉到冷却区使金属熔体进行自下而上的定向凝固，所述铸件系统包括铸件型腔基体模壳(9)、螺旋选晶器(12)和模壳顶部的浇注口(13)，所述铸件型腔基体模壳(9)内部形成竖直分段变截面的圆柱形铸件型腔，液态高温合金熔体经所述浇注口(13)浇入铸件型腔基体模壳(9)中，在铸件变截面拐角(10)处的铸件型腔基体模壳(9)内表面固定设置保温模壳(11)，使铸件变截面拐角(10)处的铸件型腔模壳部分形成局部双层结构的复合模壳，利用保温模壳(11)包围铸件变截面拐角(10)，进而控制变截面铸件(8)在变截面处的径向温度梯度为0.5～1 ℃/mm，所述螺旋选晶器(12)的顶部与铸件型腔基体模壳(9)的底部连通，所述螺旋选晶器(12)的底部固定安装在设置于加热区和冷却区分界线位置处的底部水冷板(15)上，在变截面铸件(8)起晶段利用螺旋选晶器的螺旋段的选择作用，最终只有一个晶粒生长到螺旋选晶器(12)的顶部，逐渐生长金属单晶凝固组织，最终长满整个型腔，控制变截面铸件(8)的拉速连续可调，将所述铸件系统与拉杆固定，然后一起上升进入定向凝固装置的炉体(1)中设定位置处，然后向铸件型腔中浇铸金属熔体，浇注完成后，保温至温度基本恒定后，根据设定抽拉速度及温度梯度，以1～4mm/min的拉速将铸件系统从加热炉内的加热区向冷却区缓慢抽拉，使在铸件型腔中的金属熔体进行自下而上的定向凝固形成单晶组织。

4.根据权利要求1～3中任意一项所述控制变截面处杂晶形成的方法，其特征在于：所述铸件系统的铸件型腔基体模壳(9)采用熔模组结构，至少包括两个竖直的分段变截面的圆柱形铸件型腔，分段变截面的圆柱形铸件型腔的顶部通过横向的熔体流通通道相互连通，所述浇注口(13)位于熔体流通通道上，对应所述浇注口(13)的熔体流通通道的底部下沉成为缓冲腔，在缓冲腔的底部和底部水冷板(15)之间通过固定安装支撑杆(14)进行连接和支撑。

5.根据权利要求1～3中任意一项所述控制变截面处杂晶形成的方法，其特征在于：所

述保温模壳(11)与铸件型腔基体模壳(9)间隙性接触。

6.根据权利要求1～3中任意一项所述控制变截面处杂晶形成的方法,其特征在于:固定辐射挡板(6)上方的所述炉体(1)的内腔部分为加热区,在在炉体(1)内的加热区设有加热器(2),加热器(2)包括上加热单元(3)、分区挡板(4)和下加热单元(5),所述上加热单元(3)和所述下加热单元(5)的中间用所述分区挡板(4)隔开,所述上加热单元(3)加热温度高于所述下加热单元(5)的加热温度,固定辐射挡板(6)下方为冷却区设有水冷环(7)。

控制变截面处杂晶形成的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种高温合金的制备技术，特别是涉及一种在单晶高温合金定向凝固过程中控制杂晶形成的方法，应用于高温合金组织凝固技术领域。

背景技术

[0002] 高温合金发展水平是衡量航空发动机和工业燃气轮机发展水平的一个重要标志，高温合金的发展大致经历了变形高温合金、普通铸造高温合金、定向凝固高温合金以及单晶高温合金，特别是单晶高温合金在高温条件下能够承受较大复杂应力，具有优异的高温轻强度和抗蠕变的性能，因而具有重要的研究和开发价值。然而高温合金叶片在叶身和叶片的缘板处由于截面突变的存在，在平台拐角处极易产生杂晶，杂晶与初始单晶间有晶界，晶界在高温下极易受到腐蚀而成为裂纹扩展的源头，会降低高温合金在高温下的机械性能。关于杂晶的消除，国内外进行了很多研究，降低拉速和增大温度梯度可以抑制杂晶的产生，然而降低拉速导致生产效率低下，而且降低拉速和提高温度梯度对杂晶的抑制效果有限；马德新老师等人采用导热体技术及引晶条技术制备单晶，取得了一定的成效，但是引晶条技术容易产生小角晶界。因而找到一种切实可行的抑制杂晶形成的方法，对实际工业生产中避免杂晶缺陷的形成以获得性能优良的高温合金材料具有重要的科学意义，目前控制铸件变截面处杂晶形成的方法还不理想。

发明内容

[0003] 为了解决现有技术问题，本发明的目的在于克服已有技术存在的不足，提供一种控制变截面处杂晶形成的方法，通过在变截面处使用双层模壳法，能切实有效的抑制变截面处杂晶形成，在相对较高的拉速下获得单晶组织，获得机械性能优良的高温合金铸件。

[0004] 为达到上述发明创造目的，采用如下发明构思：

本发明控制变截面处的温度场，实现由中心向边缘的顺序凝固，可以抑制变截面处的杂晶形成。在变截面拐角处使用双层模壳，延缓该处热量散失和冷却速率，该处的径向散热受到抑制，则径向温度梯度减小。根据公式$\Delta T = G_r L$，其中G_r为径向温度梯度，L为变截面尺寸，可见，径向温度梯度减小可以降低变截面拐角处的过冷度，从而抑制该处熔体中异质形核，防止杂晶的形成。

[0005] 根据上述发明构思，本发明采用下述技术方案：

一种控制变截面处杂晶形成的方法，具体为：设置定向凝固装置，由铸件型腔模壳形成金属定向凝固工作空间，并使定向凝固工作空间形成竖直的分段变截面的圆柱形铸件型腔，在铸件型腔的变截面拐角处的铸件型腔模壳部分形成局部双层模壳，局部双层模壳是由保温模壳和铸件型腔模壳分别作为内外壳层结合形成的复合模壳，利用保温模壳包围铸件变截面拐角，进而控制铸件在变截面处的径向温度梯度为0.5～1 ℃/mm，同时控制其加热炉内腔温度为1450～1550℃，采用水冷系统作为对铸件起晶段进行冷却，在定向凝固装置内的固-液界面处和初生凝固组织中形成设定的过冷度，并控制定向凝固铸坯的拉速连

续可调;将铸件型腔模壳与拉杆固定,然后一起上升进入定向凝固装置的加热炉中设定位置处,然后向铸件型腔模壳中浇铸金属熔体,浇注完成后,保温至温度基本恒定后,根据设定抽拉速度及温度梯度,以1～4mm/min的拉速将铸件型腔模壳、初生凝固铸件和水冷系统一并从加热炉内的加热区向冷却区缓慢抽拉,使在铸件型腔模壳中的金属熔体进行自下而上的定向凝固形成单晶组织。

[0006] 作为本发明的优选的技术方案,在铸件起晶段利用螺旋选晶器的螺旋段的选择作用,逐渐生长金属单晶凝固组织。

[0007] 作为本发明上述方案的进一步优选的技术方案,采用控制变截面处杂晶形成的装置来实施,控制变截面处杂晶形成的装置包括炉体和加热器,在加热器下方设有固定辐射挡板,固定辐射挡板将整个炉体的内腔分为上方的加热区和下方的冷却区,铸件系统从加热区拉到冷却区使金属熔体进行自下而上的定向凝固,铸件系统包括铸件型腔基体模壳、螺旋选晶器和模壳顶部的浇注口,铸件型腔基体模壳内部形成竖直分段变截面的圆柱形铸件型腔,液态高温合金熔体经浇注口浇入铸件型腔基体模壳中,在铸件变截面拐角处的铸件型腔基体模壳内表面固定设置保温模壳,使铸件变截面拐角处的铸件型腔模壳部分形成局部双层结构的复合模壳,利用保温模壳包围铸件变截面拐角,进而控制变截面铸件在变截面处的径向温度梯度为0.5～1 ℃/mm,螺旋选晶器的顶部与铸件型腔基体模壳的底部连通,螺旋选晶器的底部固定安装在设置于加热区和冷却区分界线位置处的底部水冷板上,在变截面铸件起晶段利用螺旋选晶器的螺旋段的选择作用,最终只有一个晶粒生长到螺旋选晶器的顶部,逐渐生长金属单晶凝固组织,最终长满整个型腔,控制变截面铸件的拉速连续可调,将铸件系统与拉杆固定,然后一起上升进入定向凝固装置的炉体中设定位置处,然后向铸件型腔中浇铸金属熔体,浇注完成后,保温至温度基本恒定后,根据设定抽拉速度及温度梯度,以1～4mm/min的拉速将铸件系统从加热炉内的加热区向冷却区缓慢抽拉,使在铸件型腔中的金属熔体进行自下而上的定向凝固形成单晶组织。

[0008] 作为本发明上述方案的进一步优选的技术方案,铸件系统的铸件型腔基体模壳采用熔模组结构,至少包括两个竖直的分段变截面的圆柱形铸件型腔,分段变截面的圆柱形铸件型腔的顶部通过横向的熔体流通通道相互连通,浇注口位于熔体流通通道上,对应浇注口的熔体流通通道的底部下沉成为缓冲腔,在缓冲腔的底部和底部水冷板之间通过固定安装支撑杆进行连接和支撑。

[0009] 作为本发明上述方案的进一步优选的技术方案,保温模壳与铸件型腔基体模壳间隙性接触。

[0010] 作为本发明上述方案的进一步优选的技术方案,固定辐射挡板上方的炉体的内腔部分为加热区,在在炉体内的加热区设有加热器,加热器包括上加热单元、分区挡板和下加热单元,上加热单元和下加热单元的中间用分区挡板隔开,上加热单元加热温度高于下加热单元的加热温度,固定辐射挡板下方为冷却区设有水冷环。

[0011] 本发明与现有技术相比较,具有如下显而易见的突出实质性特点和显著优点:

1. 在高温合金铸件定向凝固过程中,本发明具有显著抑制变截面处杂晶形成的优点,在变截面处加保温模壳的双层模壳法可以阻碍变截面处的径向热量散失,延缓形核,可从而有效抑制杂晶的产生;

2. 本发明采用双层模壳法有优异的抑制杂晶形成的效果,对多叶片成组制造并获得

性能优异的单晶高温合金叶片，提高生产效率具有重要的指导意义。

附图说明

[0012] 图1是本发明实施例一控制变截面处杂晶形成的方法采用的双层模壳结构示意图。

[0013] 图2是本发明实施例一控制变截面处杂晶形成的装置的结构示意图。

[0014] 图3是本发明实施例一控制变截面处杂晶形成方法制备的单晶和对比例一采用不加保温模壳的单层模壳制备的单晶的微观组织实验结果对比图。

[0015] 图4是本发明实施例二控制变截面处杂晶形成方法制备的单晶和对比例二采用不加保温模壳的单层模壳制备的单晶的微观组织实验结果对比图。

具体实施方式

[0016] 本发明的优选实施例详述如下：

实施例一：

在本实施例中，参见图1～3，一种控制变截面处杂晶形成的方法，采用控制变截面处杂晶形成的装置来实施，控制变截面处杂晶形成的装置包括炉体1和加热器2，在加热器2下方设有固定辐射挡板6，固定辐射挡板6将整个炉体1的内腔分为上方的加热区和下方的冷却区，铸件系统从加热区拉到冷却区使金属熔体进行自下而上的定向凝固，铸件系统包括铸件型腔基体模壳9、螺旋选晶器12和模壳顶部的浇注口13，铸件型腔基体模壳9内部形成竖直分段变截面的圆柱形铸件型腔，液态高温合金熔体经浇注口13浇入铸件型腔基体模壳9中，在铸件变截面拐角10处的铸件型腔基体模壳9内表面固定设置保温模壳11，保温模壳11与铸件型腔基体模壳9间隙性接触，使铸件变截面拐角10处的铸件型腔模壳部分形成局部双层结构的复合模壳，利用保温模壳11包围铸件变截面拐角10，进而控制变截面铸件8在变截面处的径向温度梯度为0.9℃/mm，螺旋选晶器12的顶部与铸件型腔基体模壳9的底部连通，螺旋选晶器12的底部固定安装在设置于加热区和冷却区分界线位置处的底部水冷板15上，在变截面铸件8起晶段利用螺旋选晶器的螺旋段的选择作用，最终只有一个晶粒生长到螺旋选晶器12的顶部，逐渐生长金属单晶凝固组织，最终长满整个型腔，控制变截面铸件8的拉速连续可调，将铸件系统与拉杆固定，然后一起上升进入定向凝固装置的炉体1中设定位置处，然后向铸件型腔中浇铸金属熔体，浇注完成后，保温至温度基本恒定后，根据设定抽拉速度及温度梯度，以2mm/min的拉速将铸件系统从加热炉内的加热区向冷却区缓慢抽拉，使在铸件型腔中的金属熔体进行自下而上的定向凝固形成单晶组织。熔模组铸件定向凝固过程中由于不对称的加热条件引起了试样两侧温度分布不均匀，特别是叶片的截面突变处温度分布不均匀的程度更加明显，且冷却速率和横向温度梯度较大，因而该区域容易产生杂晶。在本实施例高温合金铸件定向凝固过程中，本实施例控制变截面处杂晶形成的装置由加热系统、铸件系统和水冷系统组成，铸件系统从加热区拉到冷却区可以实现自下而上的定向凝固。液态高温合金熔体经浇注口13浇入模壳型腔中，为了抑制铸件变截面拐角10处杂晶的形成，在该处加保温模壳11，可以延缓热量散失，减小冷却速率，从而推迟该处的凝固时间；螺旋选晶器12起晶段底部大量形核，竞争生长，部分晶粒进入螺旋段，经螺旋段的选择作用，最终只有一个晶粒生长到螺旋选晶器12顶部，最终长满整个型腔；支撑杆

14位于整个熔模组的中心，增加模壳的整体结构强度，起到一定的支撑作用。水冷系统包括水冷环7和水冷板15，均需要通入循环冷却水；水冷环7较低的温度可以加快铸件系统在该区域的辐射散热，增强对铸件系统的冷却能力；水冷板15对螺旋选晶器12起晶段底部的激冷作用，可以促进螺旋选晶器12起晶段底部形核面大量形核。

[0017] 在本实施例中，参见图1和图2，铸件系统的铸件型腔基体模壳9采用熔模组结构，至少包括两个竖直的分段变截面的圆柱形铸件型腔，分段变截面的圆柱形铸件型腔的顶部通过横向的熔体流通通道相互连通，浇注口13位于熔体流通通道上，对应浇注口13的熔体流通通道的底部下沉成为缓冲腔，在缓冲腔的底部和底部水冷板15之间通过固定安装支撑杆14进行连接和支撑。

[0018] 在本实施例中，参见图2，固定辐射挡板6上方的炉体1的内腔部分为加热区，在在炉体1内的加热区设有加热器2，加热器2包括上加热单元3、分区挡板4和下加热单元5，上加热单元3和下加热单元5的中间用分区挡板4隔开，上加热单元3加热温度高于下加热单元5的加热温度，有效提高了温度梯度，固定辐射挡板6下方为冷却区设有水冷环7。

[0019] 在本实施例中，利用图2的装置进行变截面铸件的定向凝固，试样为不同截面的长度分别为40mm和60mm的变截面铸件，其变截面尺寸为10mm，加热器温度为1500℃，水冷环7和底部水冷板15的初始温度为25℃，并持续水冷，模壳初始温度均为1500℃，模壳厚度6mm，合金熔体初始温度为1500℃，浇注完成后，保温一段时间至温度基本恒定后，以2mm/min的拉速将铸件系统和底部水冷板15从加热区向冷却区缓慢抽拉，实现自下而上的定向凝固，所制备的单晶的微观组织实验结果如图3所示。

[0020] 对比例一：

为了突出双层模壳法抑制变截面处杂晶形成的效果，变截面处不加保温模壳11时，进行与实施例一同样的定向凝固实验，实验的其他参数与实施例一的设置相同，所制备的单晶的微观组织实验结果如图3所示。

[0021] 结合实施例一和对比例一的对比可知，如图3所示，在相同的拉速下，对比例一不加保温模壳11，在铸件变截面拐角处10有杂晶产生；而再实施例一中设有保温模壳11后，铸件变截面拐角处10无杂晶产生。因此，在实施例一中，变截面处加保温模壳11的双层模壳法确实能明显抑制变截面处杂晶形成，获得均一的单晶组织。

[0022] 实施例二：

本实施例与实施例一基本相同，特别之处在于：

在本实施例中，利用实施例一控制变截面处杂晶形成的装置进行变截面铸件的定向凝固，增大变截面尺寸至15mm，试样为不同截面的长度分别为30mm和60mm的变截面铸件，加热器温度为1500℃，水冷环7和底部水冷板15的初始温度为25℃，并持续水冷，模壳初始温度均为1500℃，模壳厚度6mm，合金熔体初始温度为1500℃，浇注完成后，保温一段时间至温度基本恒定后，以2mm/min的拉速将铸件系统和底部水冷板15从加热区向冷却区缓慢抽拉，实现自下而上的定向凝固，所制备的单晶的微观组织实验结果如图4所示。

[0023] 对比例二：

为了突出双层模壳法抑制变截面处杂晶形成的效果，变截面处不加保温模壳11时，进行与实施例二同样的定向凝固实验，实验的其他参数与实施例二的设置相同，所制备的单晶的微观组织实验结果如图4所示。

[0024] 结合实施例二和对比例二的对比可知，如图4所示，在相同的拉速下，对比例二不加保温模壳11，在铸件变截面拐角处10有杂晶产生；而再实施例二中设有保温模壳11后，铸件变截面拐角处10无杂晶产生。因此，在实施例二中，变截面处加保温模壳11的双层模壳法确实能明显抑制变截面处杂晶形成，获得均一的单晶组织。

[0025] 上面结合附图对本发明实施例进行了说明，但本发明不限于上述实施例，还可以根据本发明的发明创造的目的做出多种变化，凡依据本发明技术方案的精神实质和原理下做的改变、修饰、替代、组合或简化，均应为等效的置换方式，只要符合本发明的发明目的，只要不背离本发明控制变截面处杂晶形成的方法的技术原理和发明构思，都属于本发明的保护范围。

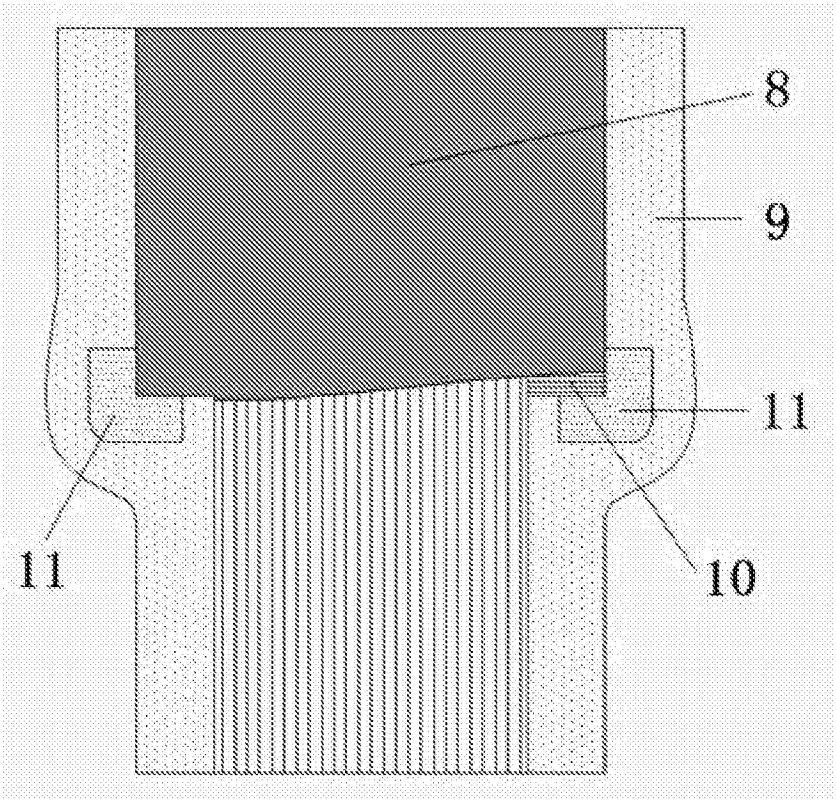


图1

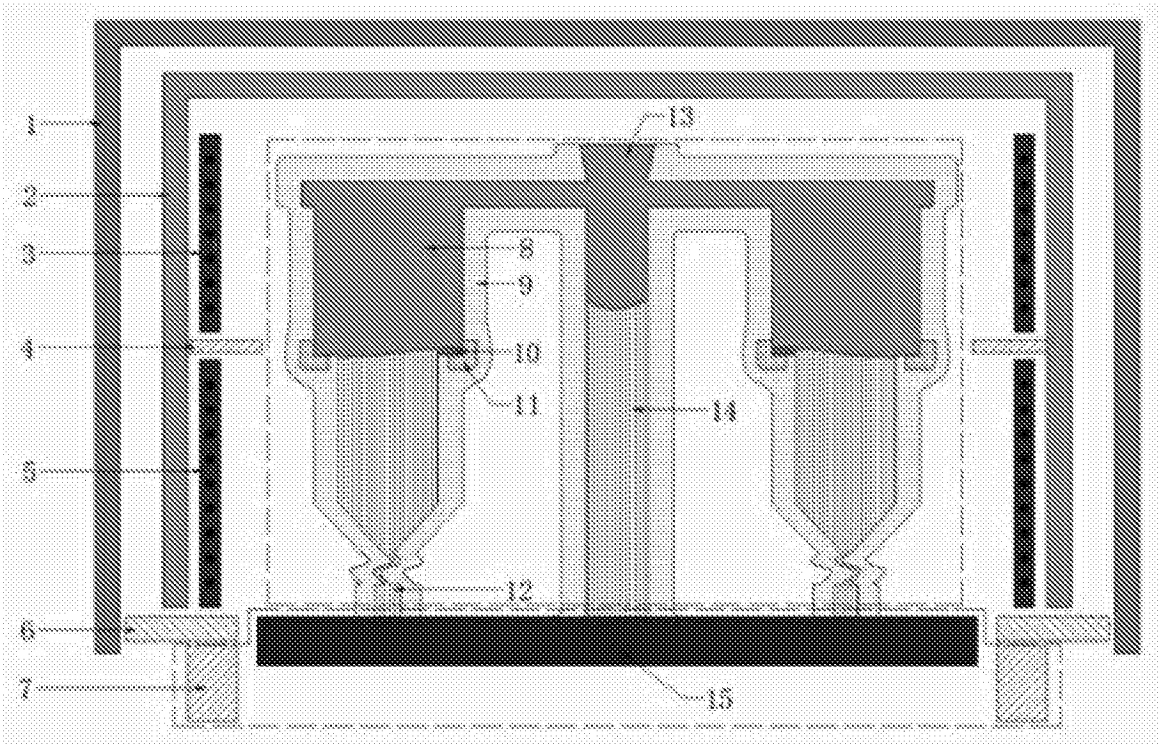


图2

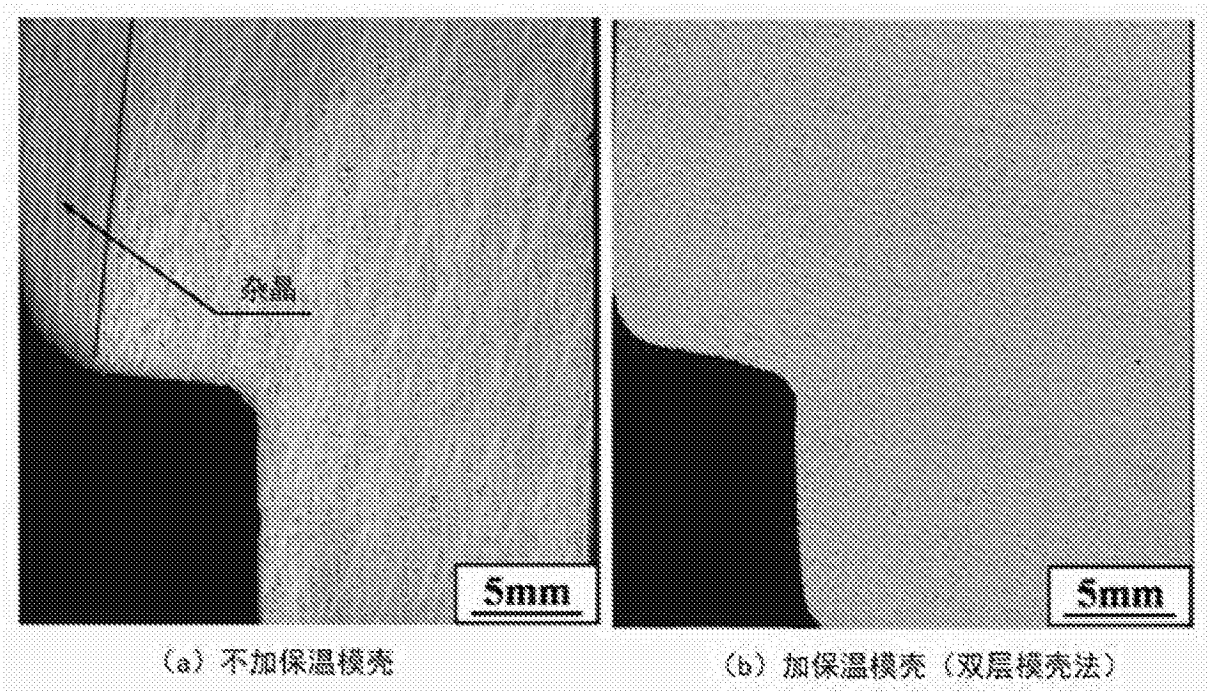

杂晶
5mm
5mm
（a）不加保温模壳
（b）加保温模壳（双层模壳法）

图3

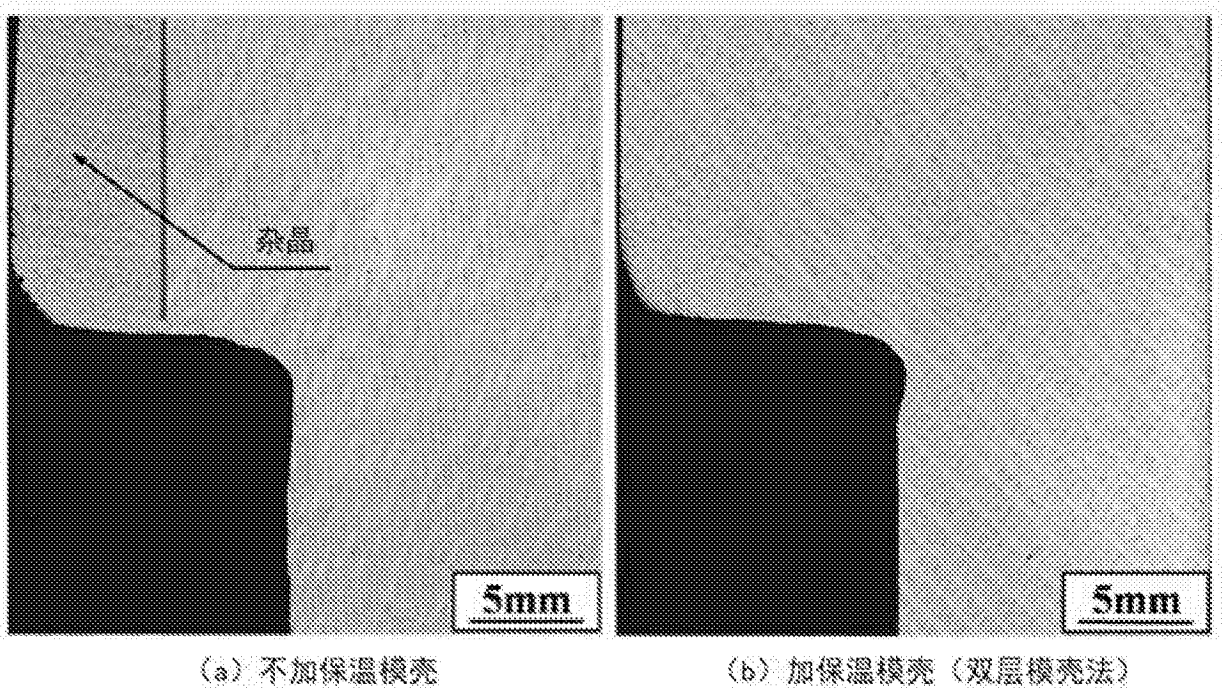

杂晶
5mm
5mm
（a）不加保温模壳
（b）加保温模壳（双层模壳法）

图4