(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 115301909 A
(43)申请公布日 2022.11.08

(21)申请号 202210811054.0

(22)申请日 2022.07.11

(71)申请人 励德装备技术(宁波)有限公司
地址 315336 浙江省宁波市杭州湾新区滨海四路262号112-66室

(72)发明人 李碚

(74)专利代理机构 北京嘉途睿知识产权代理事务所(普通合伙) 11793
专利代理师 莫胜钧

(51)Int.Cl.
B22D 11/14(2006.01)
B22D 11/08(2006.01)
B22D 11/055(2006.01)
F27B 14/04(2006.01)
F27B 14/06(2006.01)
F27B 14/10(2006.01)

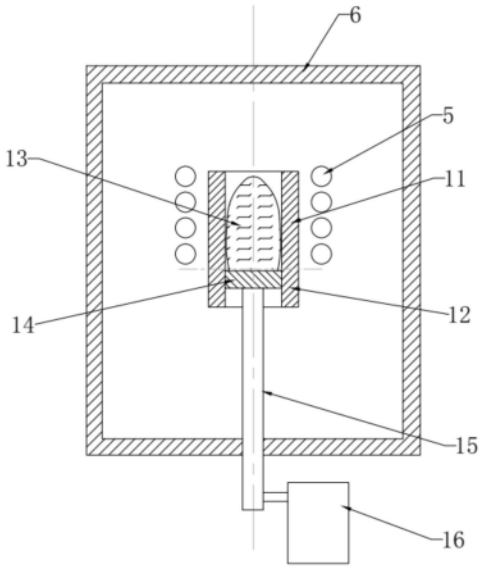
权利要求书2页 说明书8页 附图10页

(54)发明名称

一种具有下拉引锭功能的悬浮熔炼设备及下拉引锭方法

(57)摘要

本发明公开了一种具有下拉引锭功能的悬浮熔炼设备，包括真空炉体、水冷铜坩埚、感应圈、主结晶器、结晶器拉杆和结晶器驱动器；水冷铜坩埚、感应圈和主结晶器安装于真空炉体内部，感应圈围绕水冷铜坩埚；其中，在水冷铜坩埚内形成有熔炼区，且熔炼区的位置与感应圈的位置对应，熔炼区的下方形成有凝固区；主结晶器的外边缘与凝固区的内边缘匹配，主结晶器的上端面设有锁紧机构；结晶器拉杆上端与主结晶器的底面连接，下端通过密封装置伸到真空炉体的下面，与结晶器驱动器的传动轴连接；其中，结晶器驱动器被配置为，既能驱动结晶器拉杆上下移动，又能驱动结晶器拉杆正反向旋转。



CN 115301909 A

1.一种具有下拉引锭功能的悬浮熔炼设备，包括真空炉体、水冷铜坩埚、感应圈、主结晶器、结晶器拉杆和结晶器驱动器；

水冷铜坩埚、感应圈和主结晶器安装于真空炉体内部，感应圈围绕水冷铜坩埚；

其特征在于，在水冷铜坩埚内形成有熔炼区，且熔炼区的位置与感应圈的位置对应，熔炼区的下方形成有凝固区；

主结晶器的外边缘与凝固区的内边缘匹配，主结晶器的上端面设有锁紧机构；

结晶器拉杆上端与主结晶器的底面连接，下端通过密封装置伸到真空炉体的下面，与结晶器驱动器的传动轴连接；其中，结晶器驱动器被配置为，既能驱动结晶器拉杆上下移动，又能驱动结晶器拉杆正反向旋转。

2.如权利要求1所述的悬浮熔炼设备，其特征在于：水冷铜坩埚在高度方向上分为熔炼区和凝固区，其中，熔炼区与感应圈的位置对应，凝固区位于熔炼区下方。

3.如权利要求1所述的悬浮熔炼设备，其特征在于：还包括安装在水冷铜坩埚下端部的辅助结晶器，熔炼区在水冷铜坩埚内延伸至水冷铜坩埚的底端，熔炼区与感应圈的位置对应，辅助结晶器内形成凝固区；

主结晶器安装在辅助结晶器内的上部，辅助结晶器的高度大于主结晶器的厚度，且二者上端面对齐，主结晶器外缘的形状和尺寸与辅助结晶器内部的截面相匹配。

4.如权利要求3所述的悬浮熔炼设备，其特征在于：辅助结晶器呈环状，辅助结晶器内壁的截面尺寸等于水冷铜坩埚内壁的截面尺寸；

或，辅助结晶器内壁的截面尺寸小于水冷铜坩埚内壁的截面尺寸；

或，辅助结晶器内壁的截面尺寸大于水冷铜坩埚内壁的截面尺寸。

5.如权利要求1所述的悬浮熔炼设备，其特征在于：在真空炉体的顶部设置连续加料装置，在底部设置铸造延长筒，铸造延长筒密封地装在真空炉体的底部，与炉内连通，位于水冷铜坩埚的下方，结晶器拉杆向下延伸，且密封地穿过铸造延长筒的底面，与结晶器驱动器结合。

6.如权利要求5所述的悬浮熔炼设备，其特征在于：连续加料装置包括加料筒、加料管、推料器和转动驱动器，加料筒密封安装在真空炉体的炉盖上；加料管密封地安装在加料筒前段的下面，并真空密封地伸入真空炉体的内部，加料筒管口位于水冷铜坩埚的上方；推料器包括推料杆和安装在推料杆周边的螺旋叶片，推料杆从加料筒的后端密封地伸出加料筒；转动驱动器安装在加料筒的后面，其传动轴与推料杆端头连接。

7.如权利要求6所述的悬浮熔炼设备，其特征在于：加料筒的上方密封地装设料罐，料罐的下面通过供料阀和供料管与加料筒密封地结合，料罐的下面装设重量传感器。

8.如权利要求5所述的悬浮熔炼设备，其特征在于：连续加料装置包括送料筒、送棒杆和线性驱动器，送料筒竖直且密封的地安装在炉盖的上面，与真空炉体的炉内连通，位于水冷铜坩埚的上方，送棒杆真空密封地从送料筒的上面竖直的插入筒内，送棒杆下端的端头设置有棒料锁紧机构，被添加的棒料上端通过锁紧机构固定到送棒杆的下端面；线性驱动器安装在炉盖上或加料筒的上面，其传动杆与送棒杆的上端结合。

9.如权利要求8所述的悬浮熔炼设备，其特征在于：加料筒与炉盖之间设置有送料阀，其口径大于棒料的直径；在侧面设置有抽空阀，与设备的真空机组连通；

其中，在棒料上制作等间隔的刻度，在真空炉体的炉盖上设置观察窗，在观察窗上安装

摄像头，摄像头对准熔池的液面。

10.一种下拉引锭方法，使用权利要求1-9中任意一项所述的悬浮熔炼设备，其特征在于，制备方法包括：

步骤1、将主结晶器安装在水冷铜坩埚内，令其上端面位于凝固区的上缘；将待熔炼的物料装入水冷铜坩埚，在对真空炉体抽真空之后，感应圈通电，用电磁场加热物料至熔化并保温一段时间；

步骤2、启动结晶器驱动器驱动结晶器拉杆向下移动，结晶器拉杆带动主结晶器向下移动，熔池跟随主结晶器向下移入凝固区，在水冷铜坩埚的坩埚壁和主结晶器的冷却作用下，熔池的表层和底层凝固并且被主结晶器的锁紧机构锁住；

步骤3、主结晶器继续向下移动到水冷铜坩埚的下方，主结晶器牵引其上面的熔池底面边下降边凝固，形成不断增加长度的锭坯；当水冷铜坩埚中的熔池量减少至不能接受电磁场的感应而凝固时，停止结晶器驱动器的运行，结束拉锭过程。

一种具有下拉引锭功能的悬浮熔炼设备及下拉引锭方法

技术领域

[0001] 本发明涉及金属和合金的熔炼和铸造技术领域，具体来说，涉及一种具有下拉引锭功能的悬浮熔炼设备及下拉引锭方法。

背景技术

[0002] 真空电磁悬浮熔炼技术(以下简称“悬浮熔炼”)是一种先进的材料制备技术，这种技术避免了坩埚材料对熔池的污染，排除了坩埚材料对熔炼温度的限制，所以，特别适合于熔炼活泼金属和合金，难熔金属和合金，以及高纯和超纯金属和合金。可是，在悬浮熔炼之后利用重力铸造技术制备的锭坯可能会产生缩孔，孔隙，疏松，裂纹等缺欠。产生这些缺陷的原因在于，液态金属在铸造模具01中冷却凝固的过程从外向内发展，如图1所示，外层先形成凝固的材料02，内层还是尚未凝固的液态金属03，即外层先形成坚硬的固态壳，内部凝固时没有充足的材料补缩从而形成了孔洞和应力。

[0003] 为了消除铸造缺欠可以对铸造装置给出一些特殊的设计，例如，设置特定的温度场，设计挤压铸造结构，等等。但是，这些设计的结构比较复杂，而且不能完全消除铸造缺欠。为了完全消除锭坯的铸造缺欠，本发明设计下拉引锭装置，并且为提高引锭速度，实现连续化引锭过程，以及保证引锭过程的稳定性设计了一些特别的技术措施。

发明内容

[0004] 为了完全消除锭坯的铸造缺欠，本发明设计下拉引锭装置，并且为提高引锭速度，实现连续化引锭过程，以及保证引锭过程的稳定性设计了一些特别的技术措施。本发明采用以下技术方案：

[0005] 一方面，本发明采用一种具有下拉引锭功能的悬浮熔炼设备，包括真空炉体、水冷铜坩埚、感应圈、主结晶器、结晶器拉杆和结晶器驱动器；

[0006] 水冷铜坩埚、感应圈和主结晶器安装于真空炉体内部，感应圈围绕水冷铜坩埚；

[0007] 其中，在水冷铜坩埚内形成有熔炼区，且熔炼区的位置与感应圈的位置对应，熔炼区的下方形成有凝固区；

[0008] 主结晶器的外边缘与凝固区的内边缘匹配，主结晶器的上端面设有锁紧机构；

[0009] 结晶器拉杆上端与主结晶器的底面连接，下端通过密封装置伸到真空炉体的下面，与结晶器驱动器的传动轴连接；其中，结晶器驱动器被配置为，既能驱动结晶器拉杆上下移动，又能驱动结晶器拉杆正反向旋转。

[0010] 另一方面，本发明采用一种下拉引锭方法，使用上述的悬浮熔炼设备，包括：

[0011] 步骤1、将主结晶器安装在水冷铜坩埚内，令其上端面位于凝固区的上缘；将待熔炼的物料装入水冷铜坩埚，在对真空炉体抽真空之后，感应圈通电，用电磁场加热物料至熔化并保温一段时间；

[0012] 步骤2、启动结晶器驱动器驱动结晶器拉杆向下移动，结晶器拉杆带动主结晶器向下移动，熔池跟随主结晶器向下移入凝固区，在水冷铜坩埚的坩埚壁和主结晶器的冷却作

用下，熔池的表层和底层凝固并且被主结晶器的锁紧机构锁住；

[0013] 步骤3、主结晶器继续向下移动到水冷铜坩埚的下方，主结晶器牵引其上面的熔池底面边下降边凝固，形成不断增加长度的锭坯；当水冷铜坩埚中的熔池量减少至不能接受电磁场的感应而凝固时，停止结晶器驱动器的运行，结束拉锭过程。

[0014] 本发明具有以下优点：

[0015] 拉锭流程制备的锭坯材质致密，无重力铸造常见的铸造缺欠。这是由于它的凝固过程属于自下而上的顺序凝固，固液界面在向上发展时一直有液态金属补缩，所以在拉制的锭坯中不会形成缩孔，孔隙，疏松；在被拉制的锭坯中温差的方向也是自下向上，锭坯在冷却过程发生轴向收缩，由于其上端为自由端，所以冷却过程的产生热应力小，出现裂纹的几率很小。

[0016] 本发明的设备在引锭过程中可以对锭坯实现热处理，消除锭坯中的热应力，获得需要的结晶组织。

[0017] 本发明的设备在配备了辅助结晶器之后可以获得很高的引锭速度，在配备了连续加料装置之后可以实现连续化生产，从而实现很高的制备效率。

[0018] 本发明的设备在熔炼和引锭过程中不使用陶瓷，石英，石墨等材料做坩埚和模具，避免了坩埚材料和模具材料产生的污染，排除这些材料对制备温度形成的限制。这种作用对于高纯金属，活泼金属，难熔金属和以它们为基体的合金实现熔炼-拉锭工艺具有重要意义。

附图说明

[0019] 图1为现有技术重力铸造中，液态金属在模具中的凝固过程示意图；

[0020] 图2为悬浮熔炼设备图一；

[0021] 图3为引锭装置图；

[0022] 图4为主结晶器的结构图，其中，图4a为表面带螺纹孔的主结晶器，图4b为表面带燕尾槽的主结晶器；

[0023] 图5为在悬浮熔炼设备中的引锭过程示意图；

[0024] 图6为辅助结晶器图，其中，图6a中辅助结晶器的内径小于坩埚内径，图6b中辅助结晶器的内径等于坩埚内径，图6c中辅助结晶器的内径大于坩埚内径；

[0025] 图7为颗粒料加料器的结构图；

[0026] 图8为棒料加料器的结构图；

[0027] 图9为悬浮熔炼设备图二；

[0028] 图10为测定液位的方法示意图。

[0029] 其中，01-铸造模具，02-模具中凝固的材料，03-尚未凝固的液态金属，4-水冷铜坩埚，5-感应圈，6-真空炉体，7-感应电源，8-真空机组，9-冷却系统，10-控制系统，11-熔炼区，12-凝固区，13-熔池，14-主结晶器，15-结晶器拉杆，16-结晶器驱动器，17-主结晶器上端面，18-螺纹孔，19-燕尾槽，20-冷却通道，21-冷却剂供给通道，22-冷却剂回送通道，23-凝固的材料，24-固/液界面，25-辅助结晶器，26-冷却夹层套，27-物料，28-加料筒，29-加料管，30-炉盖，31-转动驱动器，32-推料杆，33-螺旋叶片，34-连接轴，35-料罐，36-供料阀，37-供料管，38-重量传感器，39-送料筒，40-送棒杆，41-线性驱动器，42-锁紧机构，43-棒

料，44-传动杆，45-送料阀，46-抽空阀，47-连续加料装置，48-铸造延长筒，49-法兰，50-锭坯加热器，51-摄像头，52-观察窗，53-刻度，54-液面。

具体实施方式

[0030] 以下对在附图中提供的本发明的实施方式的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围，而是仅仅表示本发明的选定实施方式。基于本发明中的实施方式，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施方式，都属于本发明保护的范围。

[0031] 如图2所示，本实施方式提供了一种悬浮熔炼设备，包括水冷铜坩埚4、感应圈5、真空炉体6、真空机组8、感应电源7、冷却系统9和控制系统10。水冷铜坩埚4安装在真空炉体内6，真空机组8对空炉体内6抽真空之后，感应电源7产生的高频电流输入到环绕水冷铜坩埚4的感应圈5中，感应圈5产生的高频电磁场加热和熔化水冷铜坩埚4中的物料。冷却系统9向水冷铜坩埚4，感应圈5，感应电源7，真空炉体6，真空机组8供应冷却水，保护这些设备。在对真空炉体6抽真空之后，可以向真空炉体6充入保护性气体，例如氩气。实际上，大多数悬浮熔炼过程是在氩气保护下进行的。

[0032] 如图3所示，悬浮熔炼设备还包括主结晶器14和引锭装置，本实施方式实现下拉引锭功能的主要机构由水冷铜坩埚4，感应圈5，主结晶器14和引锭装置组成。

[0033] 本实施方式中，与普通悬浮熔炼设备中的坩埚相同，水冷铜坩埚4用金属材料制作，紫铜或无氧铜是优选的坩埚材料。为了使电磁场能穿透坩埚壁进入坩埚内部，坩埚被加工成分瓣的结构；为了防止铜坩埚在高温下不被烧损，在每一片坩埚瓣片中都制作了冷却回路。但是，本实施方式的水冷铜坩埚4又与普通的水冷铜坩埚不同，在结构上它只是一个筒状的坩埚壁，没有坩埚底。

[0034] 本实施方式中，水冷铜坩埚4在高度方向上分为两个工作区，其中，上段工作区与感应圈5的位置对应，物料在此区域被熔化形成熔池13，下段工作区是熔化的金属液下降到此区段冷却和凝固，分别为坩埚的熔炼区11和凝固区12，主结晶器14位于凝固区12。作为一种实施方式，凝固区12截面的形状和尺寸可以与上面的熔炼区11相同，也可以不同。作为一种实施方式，凝固区12截面的形状可以是圆形，方形，矩形，多边形，或其它形状，截面的形状和尺寸取决于所要求的锭坯的截面的形状和尺寸。凝固区12的高度应该保证金属液在下降到这个区段后能形成一定厚度的表面凝固层。

[0035] 本实施方式中，如图4所示，主结晶器14是在熔炼过程中承载熔池13，导出熔池的热量，令熔池的底部在其表面凝固的装置。具体的，主结晶器14的外边缘与凝固区12的内边缘匹配，在熔炼的初期它装在凝固区12以封闭水冷铜坩埚4的底口。可以理解的是，所谓的匹配，是指主结晶器14在凝固区12内能移动，但是又能防止金属液泄漏。主结晶器14的上端面17设有锁紧机构，使得液态金属在进入锁紧机构内部凝固之后同主结晶器14结合，在锁紧机构内部凝固的部分是主结晶器14牵引在其上面凝固的锭坯向下移动的抓手。可以理解的是，该锁紧机构的结构设计应该能使被拉引的锭坯方便地从主结晶器14上取下来。锁紧机构可以有多种结构，例如螺纹孔18或燕尾槽19。

[0036] 本实施方式中，主结晶器14内有冷却通道20，使得主结晶器14获得了冷却其上面的熔池13和锭坯的作用，并且防止主结晶器14在熔池13高温的作用下被烧损。主结晶器14

用金属材料制作，例如用不锈钢，高温合金，钛和钛合和紫铜等材料制作，紫铜是优选材料。

[0037] 本实施方式中，参见图3，引锭装置包括结晶器拉杆15和结晶器驱动器16。结晶器拉杆15是牵引主结晶器14的装置，其上端与主结晶器14的底面连接，下端通过密封装置伸到真空炉体6的下面，与结晶器驱动器16的传动轴连接。优选的，结合图4，结晶器拉杆15包括同心设置的2支金属管，分别为外管和内管，管内输送冷却液。其中，外管和内管之间形成的空间为向主结晶器14供给冷却剂的通道21，且该冷却剂供给通道21与冷却通道20连接，使得结晶器拉杆15的管道将冷却液输入主结晶器14；内管的空间为冷却剂回送通道22，且该冷却剂回送通道22的一端与冷却通道20连接，另一端与设备的冷却液主管道连接。制作结晶器拉杆15的材料一般采用不锈钢，也可以采用其它金属材料。

[0038] 本实施方式中，结晶器驱动器16安装在真空炉体6的下面，其传动轴结晶器拉杆15和的下端连接。其中，结晶器驱动器16既能驱动结晶器拉杆15上下移动，又能驱动结晶器拉杆15正反向旋转。本实施方式中，转动结晶器拉杆15的目的是排除熔池13在凝固区12凝固时发生的粘接，促进凝固的金属锭坯顺利地向下移动；此外，使熔池13在凝固时，凝固形成的坯料在冷却时和热处理时，在坯料径向的各个方向获得均匀的温度条件。

[0039] 结合图5，本实施方式下拉引锭的方法如下：

[0040] 步骤1、将主结晶器14安装在水冷铜坩埚4内，令其上端面17位于凝固区12的上缘；将待熔炼的物料装入水冷铜坩埚4，在对真空炉体6抽真空或抽真空和充入氩气之后，启动感应电源7，用电磁场加热物料至熔化并保温一段时间。

[0041] 步骤2、启动结晶器驱动器16驱动结晶器拉杆15向下移动，结晶器拉杆15带动主结晶器14向下移动，熔池13跟随主结晶器14向下移入凝固区12，在水冷铜坩埚4的坩埚壁和主结晶器14的冷却作用下，熔池13的表层和底层凝固形成了凝固的材料23，并且被主结晶器14的锁紧机构锁住，引锭过程在主结晶器上熔池凝固时形成固/液界面24。

[0042] 步骤3、主结晶器14继续向下移动到水冷铜坩埚4的下方，主结晶器14牵引其上面的熔池底面边下降边凝固，形成不断增加长度的锭坯。由于熔池13向下移动，水冷铜坩埚4中的熔池量逐渐减少，直至由于不能接受电磁场的感应而凝固。这时，停止结晶器驱动器16的运行，结束拉锭过程。在结晶器拉杆15向下移动的过程中，结晶器驱动器16还可以以一定的速度转动，使锭坯在下降过程中同时旋转。

[0043] 本实施方式中，如图6所示，为了获得具有不同截面形状和截面尺寸的锭坯，为了加快引锭速度，本实施方式设计了辅助结晶器25，其紧密地安装在水冷铜坩埚4下端面的下面。在安装辅助结晶器25的条件下，水冷铜坩埚4在高度上只保留熔炼区11，熔池13的结晶和凝固过程则在辅助结晶器25内完成，辅助结晶器30即成为了凝固区12。

[0044] 本实施方式中，辅助结晶器25呈环状，可以理解的是，其内壁的形状取决于所要求的锭坯的截面的形状，可以是圆形，方形，矩形，多边形或其它形状；辅助结晶器25内壁的截面尺寸取决于所要求的锭坯的截面的尺寸，它可以等于坩埚内壁的截面尺寸，也可以小于或大于坩埚内壁的截面尺寸。主结晶器14安装在辅助结晶器25内的上部，二者上端面对齐，主结晶器14外缘的形状和尺寸与辅助结晶器25内部的截面相匹配，可以理解的是，所谓的匹配，是指主结晶器14在辅助结晶器25内能移动，但是又能防止金属液泄漏。通过上述设置，在安装同一个水冷铜坩埚4的条件下，安装不同的辅助结晶器25就可以制备有不同截面形状和尺寸的锭坯。

[0045] 本实施方式中，参见图6，辅助结晶器25具有冷却夹层套26，冷却夹层套26中通有冷却介质。辅助结晶器25的高度大于主结晶器14的厚度，其高度设计应该保证在高速拉锭过程中，熔池13的表层能在移出辅助结晶器25之前充分凝固。冷却介质大多数采用水作为介质，这种辅助结晶器25的冷却夹层套26必须是封闭的结构。在要求加快冷却的条件下，改变冷却介质的种类，压力，流量，或者增加辅助结晶器25的高度，都能加快进入辅助结晶器25的熔池的凝固过程。通过加快熔池的凝固过程提高下拉锭坯的速度。

[0046] 在采用辅助结晶器25的条件下，被拉引的熔池的冷却凝固的时间将不是限制拉锭速度的限制因素，熔炼过程的功率将成为限制拉锭速度的因素。以熔炼钛合金为例，在功率为800kW的条件下其熔炼速度为3kg/min，按照这个速度，拉制直径30mm锭的速度可以达到1000mm/min；拉制直径为100mm的锭，速度可以接近100mm/min，生产能力达到1.5吨/日(8小时)。大多数高端金属材料的价格在100～1000元/kg的范围内，按照这样的效率，设备的产值可达到10～100万元/天，0.3～3亿元/年(按300日计)。

[0047] 本实施方式中，水冷铜坩埚4，主结晶器14和辅助结晶器25的冷却介质以采用水最为方便，水路必须具有封闭的结构，在工作过程中不得有泄漏点。在要求加快冷却的条件下，也可以采用干冰，液氮，液氧，液氩，液氦，以及其它液态惰性气体作为冷却介质。在采用液氩，液氦等惰性气体作为冷却介质的情况下，结晶器的表面可以开孔，使低温气体直接冷却熔池的表面。

[0048] 本实施方式的悬浮熔炼设备中，制得的锭坯的截面形状和截面尺寸取决于坩埚内凝固区12的截面的形状和尺寸，在安装辅助结晶器25的装置中，制得的锭坯的截面形状和截面尺寸取决于辅助结晶器25内截面的形状和尺寸。在这种设备中，能够获得的锭坯的长度取决于水冷铜坩埚4中所熔炼的物料的总量。

[0049] 本实施方式中，如图9所示，为了使拉锭过程能连续进行，获得长度很大的锭坯，本实施方式为实现连续引锭，在真空炉体6的顶部设置连续加料装置47，在真空炉体6的下面设置了铸造延长筒48。

[0050] 作为一种实施方式，如图7所示，连续加料装置47为颗粒料加料器，用于添加颗粒状的物料27。具体的，颗粒料加料器包括加料筒28、加料管29、推料器和转动驱动器31。密封的加料筒28以卧式的形态安装在真空炉体的炉盖30上，待加的物料27容纳在料罐35中；加料管29密封地安装在加料筒28前段的下面，并通过真空密封伸入真空炉体6的内部，使加料筒28与真空炉体6连通，加料筒28管口位于水冷铜坩埚4的上方；推料器包括推料杆32和安装在推料杆32周边的螺旋叶片33，推料杆32从加料筒28的后端密封地伸出加料筒28；转动驱动器31安装在加料筒28的后面，其传动轴34与推料杆32端头连接。转动驱动器31启动后，带动加料筒28中的推料杆32和螺旋叶片33旋转，将加料筒28中的物料推入加料管29，物料则沿加料管29移动，落入坩埚4，通过调节转动驱动器31的转速，可以改变物料27送入坩埚的速度。

[0051] 如果需要添加的物料很多，可以在加料筒28的上方密封地装设料罐35，以便容纳比较多的物料27。料罐35的下面通过供料阀36和供料管37与加料筒28密封地结合，需要向加料筒28添加物料时，开启供料阀36使料罐中的物料27落入加料筒28。为精确地控制供料的数量，可以在料罐的下面装设重量传感器38，阀门采用电磁阀，利用控制程序可以对从料罐向加料筒供料的过程实现数量和速度控制。

[0052] 作为另外一种实施方式，如图8所示，连续加料装置47为棒料加料器，用于添加棒状的物料。具体的，棒料加料器包括送料筒39、送棒杆40和线性驱动器41。棒料送料筒39竖直且密封的地安装在炉盖30的上面，与真空炉体6的炉内连通，位于水冷铜坩埚4的上方。送棒杆40真空密封地从送料筒39的上面竖直的插入筒内，送棒杆40下端的端头设置有棒料锁紧机构42，被添加的棒料43上端通过锁紧机构42固定到送棒杆40的下端面，在送料筒39内呈吊挂状态；线性驱动器41安装在炉盖30上或加料筒39的上面，其传动杆44与送棒杆40的上端结合。线性驱动器41启动后，传动杆44产生线性运动，带动送料筒中的送棒杆40下降，将棒料43逐渐送入水冷铜坩埚4熔化，通过调节线性驱动器41的运行速度，可以改变棒料送入坩埚的速度。

[0053] 为了在一个拉引过程中能逐次地添加多支棒料43，可以在加料筒39与炉盖30之间设置一只真空阀门作为送料阀45，其口径大于棒料43的直径；在侧面设置一只真空阀门作为抽空阀46，与设备的真空机组8连通。在送料过程中送料阀45打开，抽空阀46关闭，当一支棒料43接近全部熔入水冷铜坩埚4之后，将送棒杆40连同残余的料头拉回到加料筒39中后关闭送料阀45，打开加料筒39取出料头，装上新的棒料43，然后关闭送料筒39，打开抽空阀46，对送料筒39抽真空，达到真空度要求后关闭抽空阀46。如果需要，可以在抽真空后充入氩气。最后，打开送料阀45，启动线性驱动器41，将新的棒料43送入水冷铜坩埚4。

[0054] 本实施方式中，如图9所示，通过设置与真空炉体6的炉内连通的铸造延长筒48，能够制备长度很大的锭坯。铸造延长筒48密封地装在真空炉体6的底部，水冷铜坩埚4的下方。在装设铸造延长筒48的条件下，结晶器驱动器16安装在铸造延长筒48的下面，结晶器拉杆15向下延伸，且密封地穿过铸造延长筒48的底面，与结晶器驱动器16结合。

[0055] 本实施方式中，保证拉引过程工艺顺利和锭坯质量的因素包括熔池温度，拉引速度，坩埚凝固区或辅助结晶器的长度和液面高度。熔炼温度过高或拉引速度过快会使降入坩埚的凝固区或辅助结晶器的熔池不能充分凝固，导致主结晶器在移出坩埚凝固区或辅助结晶器时发生金属液泄漏，或者由于拉引的应力太大引起锭坯被拉断或出现裂纹；熔炼温度过低则导致熔池进入凝固区或辅助结晶器的过程不顺利，中断锭坯的拉引过程，或者损害锭坯的表面质量；拉引速度过慢则降低制备效率。增加坩埚凝固区或辅助结晶器的长度对提高拉引速度有利，但是这增大了拉引阻力，会引起锭坯被拉断或出现裂纹。

[0056] 液位过低时，熔池底部的温度过高，会使主结晶器下降时发生金属液泄漏，导致引锭过程失败；液位进一步降低则导致电磁负载不匹配，熔炼温度降低甚至物料熔化不完全，使拉引过程中断或发生困难；液位过高时熔炼温度降低，物料熔化不完全或熔池底部的温度过低，也会导致引锭过程失败或损害被拉引的锭坯的表面质量。在拉引速度被确定之后，可通过限制加料速度控制液位。控制液位的流程包括：测定液位，将液位数据输入控制系统的PLC模块，与设定的液位作对比后，按照模块中的程序确定加料驱动器31、41的运转速度，对加料驱动器下达驱动速度的指令。测定液位的方法很多，例如超声测距，激光测距，雷达(电磁波)测距，等等。

[0057] 在另外一种实施方式中，即，在添加棒料43的情况下，本实施方式设计了一种简易的液位测定装置，其利用摄像头51来测定液位。具体的，在棒料43上制作等间隔的刻度53，在真空炉体6的炉盖30上设置观察窗52，在观察窗52上安装摄像头51，摄像头51对准熔池13的液面54。测定时，用摄像头51获取棒料43和熔池液面54的图像，将图像输入PLC模块对液

面与棒料刻度的距离做判定转换成数字信号，计算出液位的高度。在棒料43上制作刻度方法很多，例如用工具锯割，或者用激光烧制等等。

[0058] 本实施方式中，还设计了锭坯加热器50，其安装水冷铜坩埚4的下方，或者装在辅助结晶器25下方，环绕被下拉的锭坯布置，具体参见图9。锭坯加热器50可以采用电阻加热方式，也可以采用感应加热的方式，加热温度可以调节。可以理解的是，坯料加热器50的高度取决于对拉引的锭坯要求进行热处理的范围，其目的在于对下拉锭坯消除热应力，或者令其获得要求的相组织。

[0059] 具体实施例：

[0060] 本发明提供了一个具体实施例，以便更好地理解本发明。

[0061] 本实施例是制备钛-铝合金棒状锭坯的例子。

[0062] 如图9所示，悬浮熔炼-连续拉锭设备采用功率为300kW，频率为10kHz的感应电源7。在该设备中，包括拉锭坩埚4，主结晶器14，连续加料装置47，铸造延长筒48，辅助结晶器25和锭坯加热器50。

[0063] 设备中，具有分瓣结构水冷铜坩埚4为圆筒状，内径90mm，高度180mm，装在不锈钢真空炉体6中。

[0064] 装在坩埚4下端面的辅助结晶器25由内外两层紫铜环形园筒组成，其上下封闭，形成了供循环水流通的冷却夹层套26，冷却夹层套26的内径为52mm，总高度为100mm，参见图6；园饼状的紫铜主结晶器14安装在辅助结晶器25的内部，其中有循环水的冷却通道20。

[0065] 主结晶器14外径为51.5mm，高度为40mm，其上表面的中心有M16X2，深度15mm的螺纹孔参见图4。不锈钢拉杆15安装在主结晶器的底面上，拉杆中有供水水路21和回水水路22，它们与主结晶器中的水路20连通。拉杆15的下段通过真空密封伸到铸造延长筒48的下面，与结晶器驱动器16结合。结晶器驱动器16装有2台伺服电机，1台驱动拉杆上下移动，另一台驱动拉杆转动。

[0066] 不锈钢的铸造延长筒48内径200mm，高度2m，密封地装在真空炉体6下面正对坩埚4的法兰49上。在炉体内，于辅助结晶器25的下面装有内径60mm的电阻加热器50。在真空炉体的炉盖30上装有颗粒料加料器，参见图7，加料筒28中的物料推送杆采用螺旋叶片-转轴结构，采用调速电机驱动。在加料筒前端的下面设置有加料管29，其通过真空密封伸到炉盖30的下面，管口位于坩埚口的上方。

[0067] 设备运行前，向坩埚4装入3kg钛-铝合金原料，在加料筒28中装有12kg的颗粒状的钛-铝合金原料，启动加热器50，令其达到800℃保温。然后，对炉体6抽真空和充氩，启动感应电源7加热坩埚中的物料。经过2分钟坩埚中的物料全部熔化，但是熔池13的底部在主结晶器14表面形成凝壳，熔池13底部的中心进入结晶器表面的螺纹孔18，凝固后形成锭坯的锁紧栓。加热熔池13保温1分钟后启动拉锭驱动器16，使主结晶器14沿着辅助结晶器25向下移动，移动速度为190mm/min。同时，启动加料驱动器31向坩埚4加料，加料速度为1.5kg/min。物料的熔池13随着主结晶器14下降到辅助结晶器25中之后逐渐冷却和凝固，在继续降低到移出辅助结晶器25之前，表层完全凝固形成锭坯。在主结晶器14移出辅助结晶器25之后，锭坯在主结晶器的螺纹孔中18的锁紧栓的拉动作用下，随主结晶器14继续向下移动，并且逐渐完全凝固，随后接受加热器50的高温处理。当加料器中的物料全部加入坩埚4之后，继续下拉主结晶器14，直至坩埚中剩余的熔池13全部降低到辅助结晶器25实现表层凝固，

关闭感应电源7，然后在降低到辅助结晶器的下面完全凝固和接受热处理之后停止拉锭过程和关闭加热器50。拉锭耗时约13分钟(不包括抽真空时间和冷却时间)。

[0068] 待锭坯冷却后，打开炉体6，旋转锭坯，使锭坯底部在熔炼过程中形成的锁紧栓从主结晶器表面的螺纹孔18旋出，从主结晶器14上取出锭坯。该锭坯的直径约51mm，长度约1900mm，重量约15kg，锭身表面光滑，无裂纹。锭坯下端是最初与结晶器冷表面接触的未完全熔化的端头，上端是由剩余的少量熔池直接在坩埚中凝固形成的端头——物料的数量很少时，它们无法同感应电源7匹配获得热量。切除锭坯的上端头70mm的一段和下端头30mm的一段，得到了长度约1800mm的锭坯。观察上下端面的结果是，材料无缩孔，孔隙和疏松，材质致密。最后，对锭坯表面进行机加工，得到直径为50mm，长度为1.8m的棒材。锭坯被切除的端头，由于没有受到污染可以回收利用。

[0069] 以上所述为本发明最佳实施方式的举例，其中未详细述及的部分均为本领域普通技术人员的公知常识。本发明的保护范围以权利要求的内容为准，任何基于本发明的技术启示而进行的等效变换，也在本发明的保护范围之内。

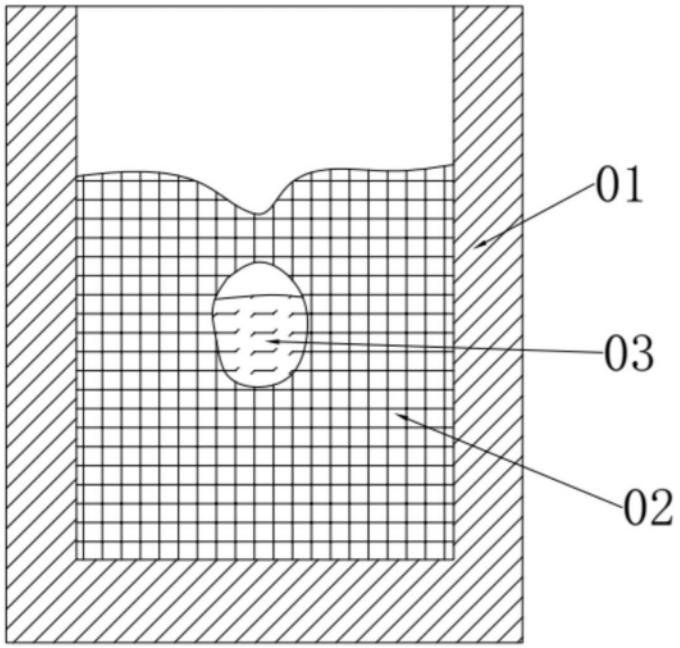


图1

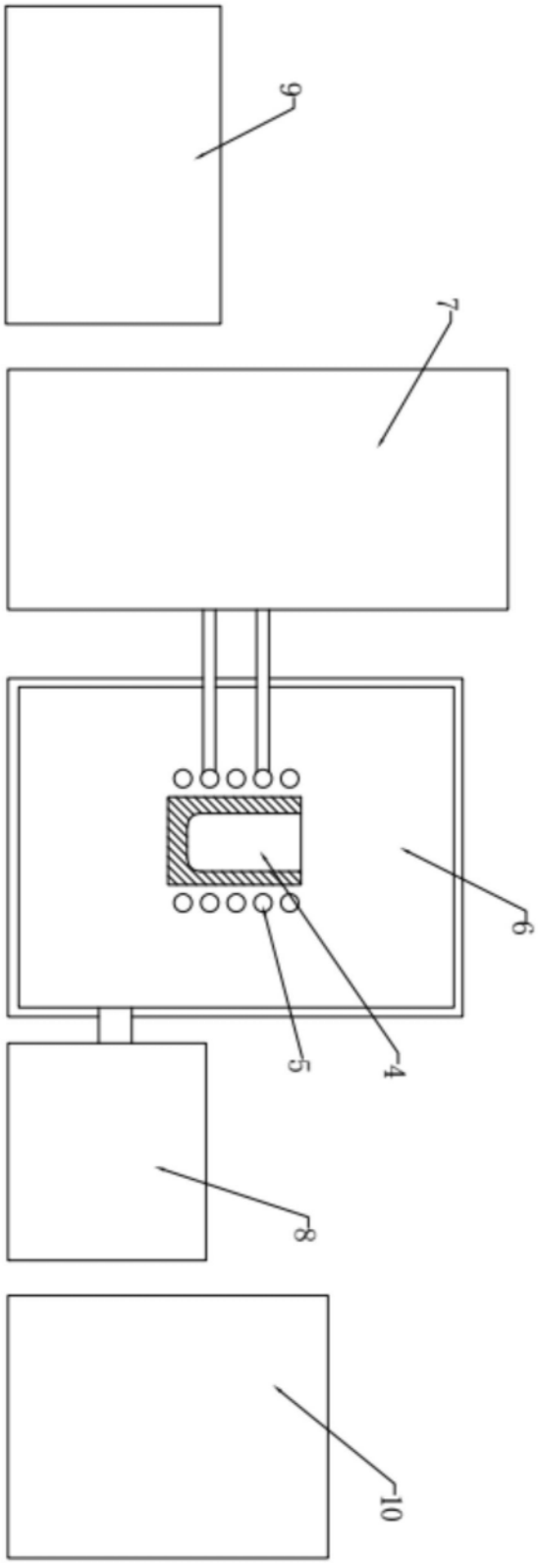


图2

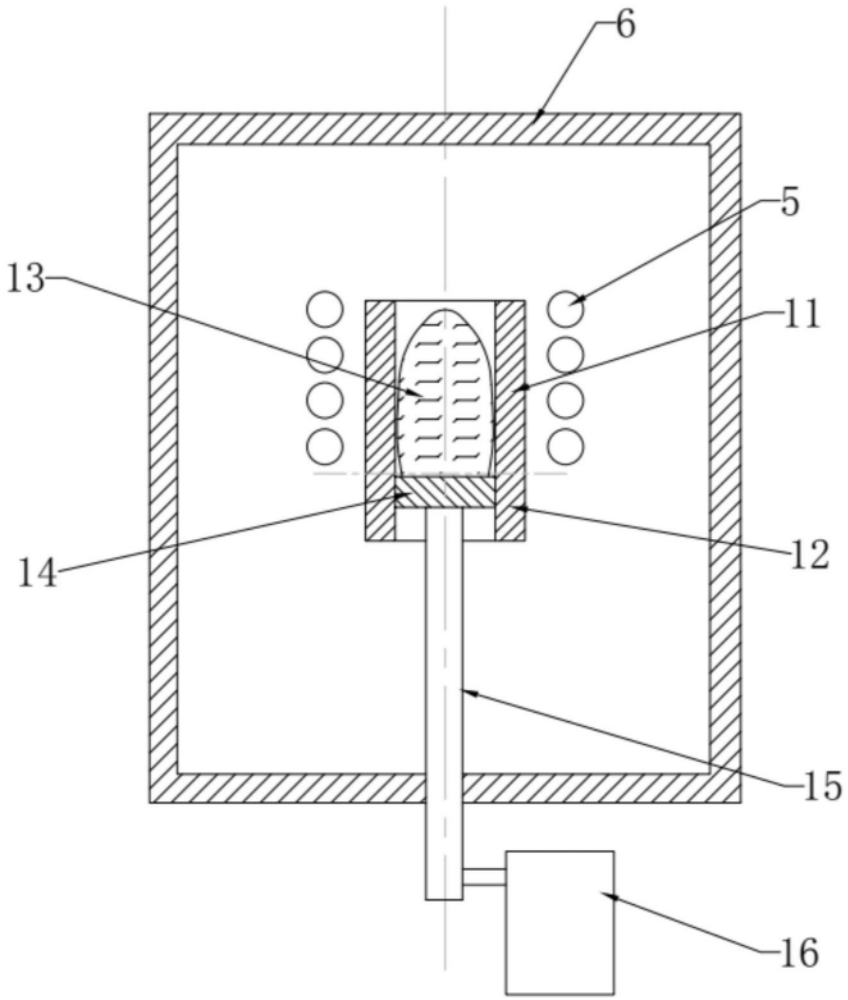


图3

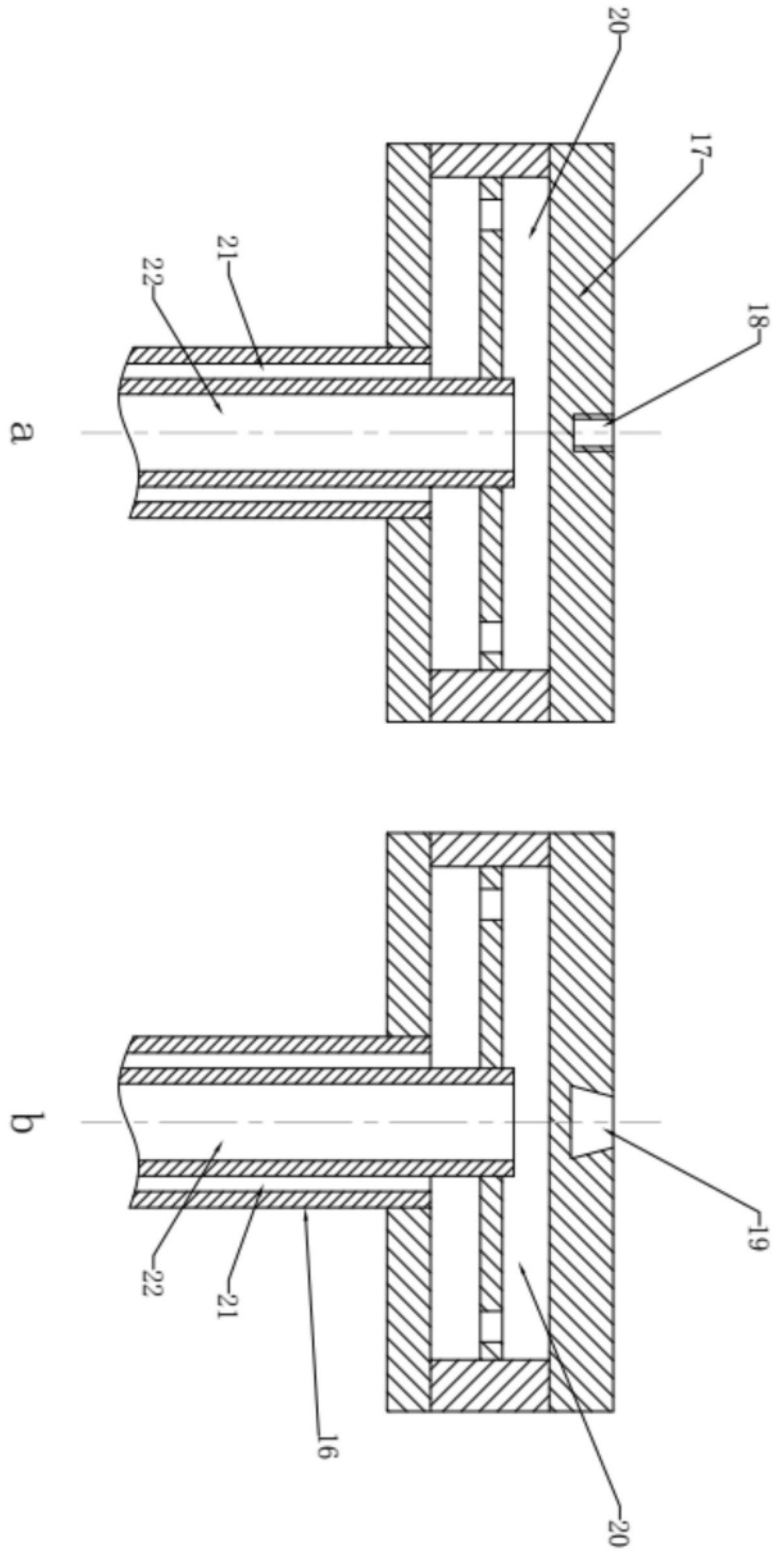


图4

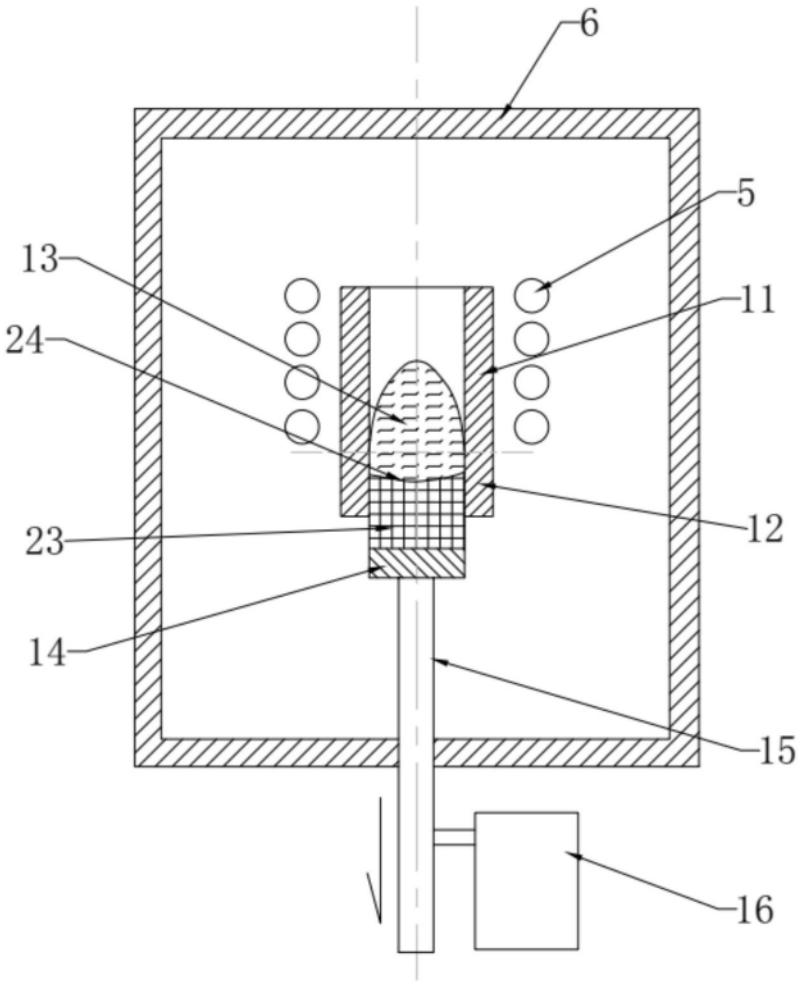


图5

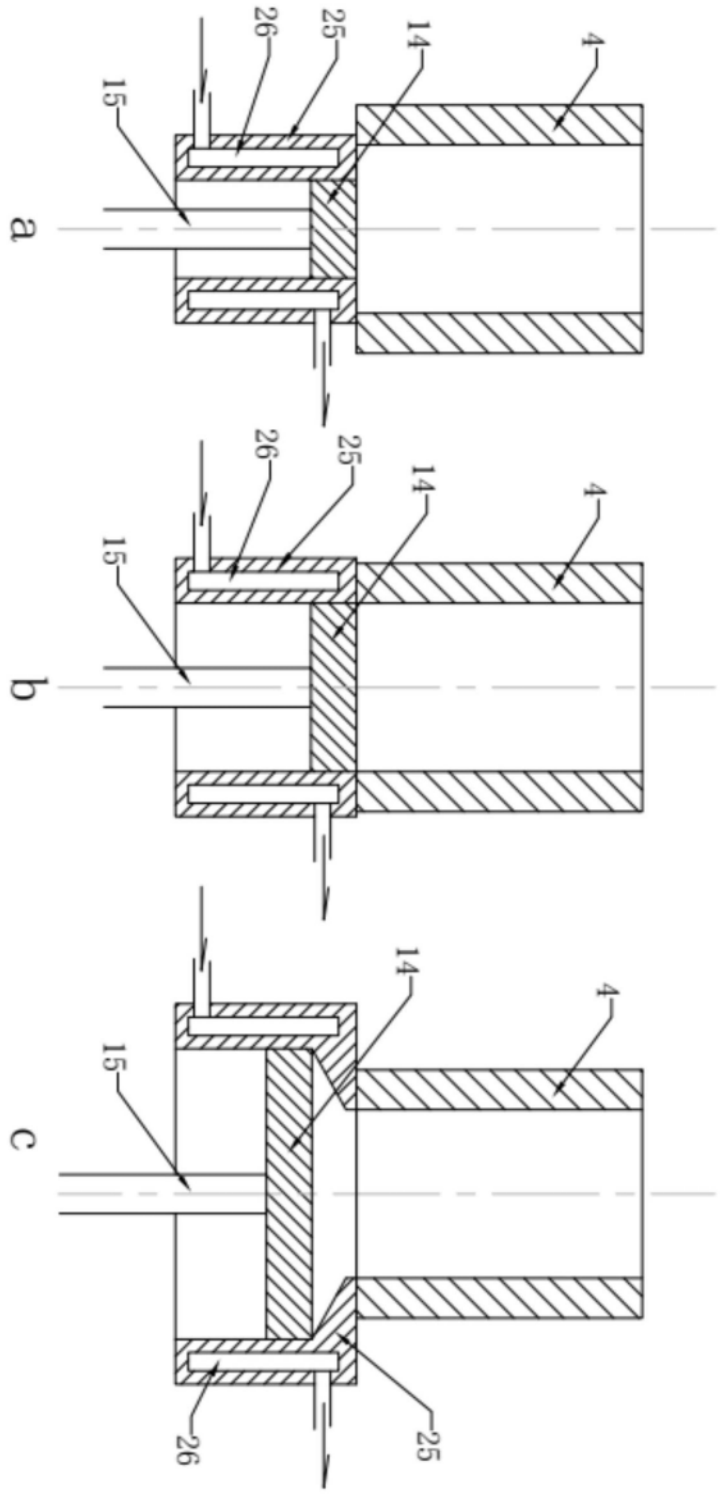


图6

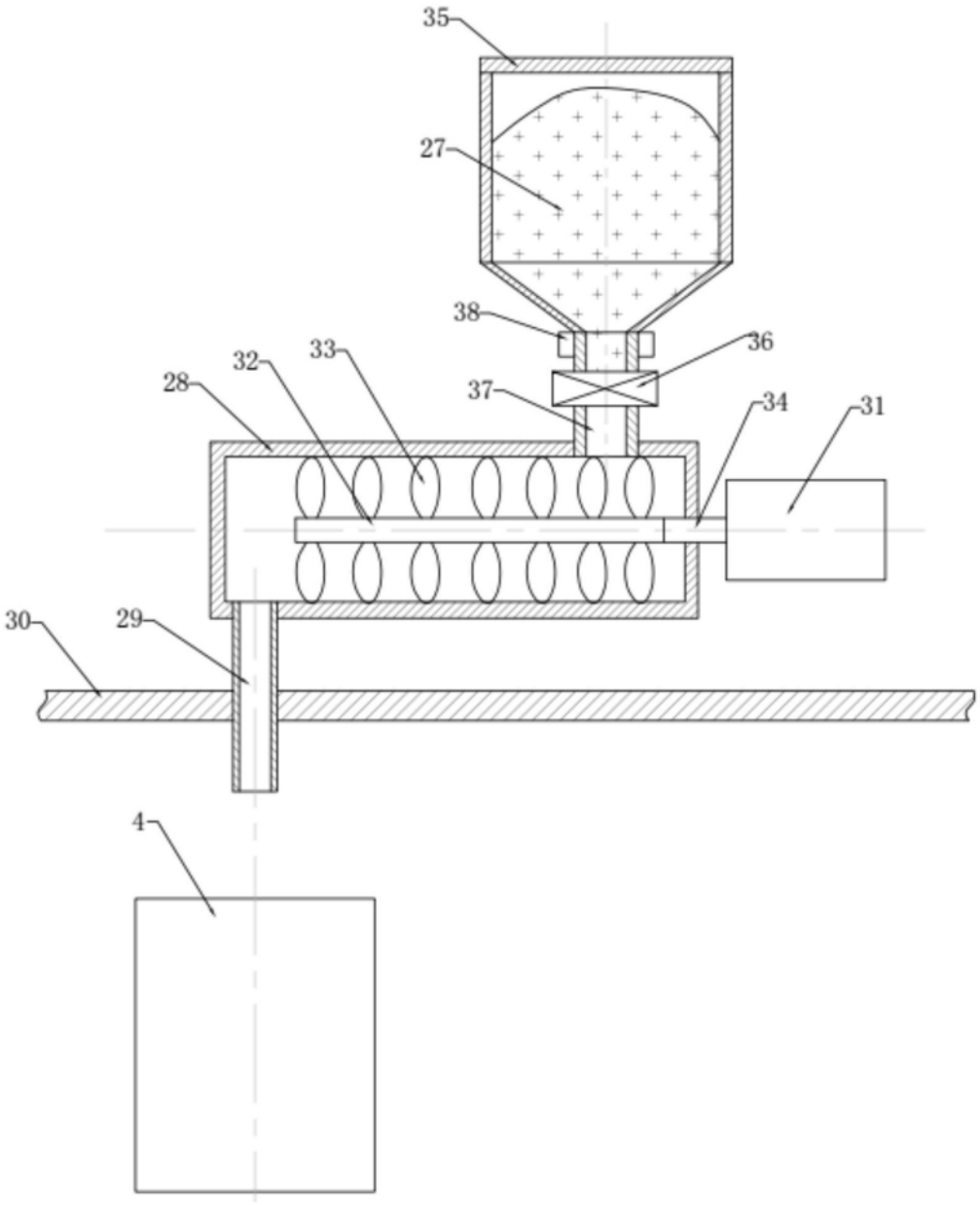


图7

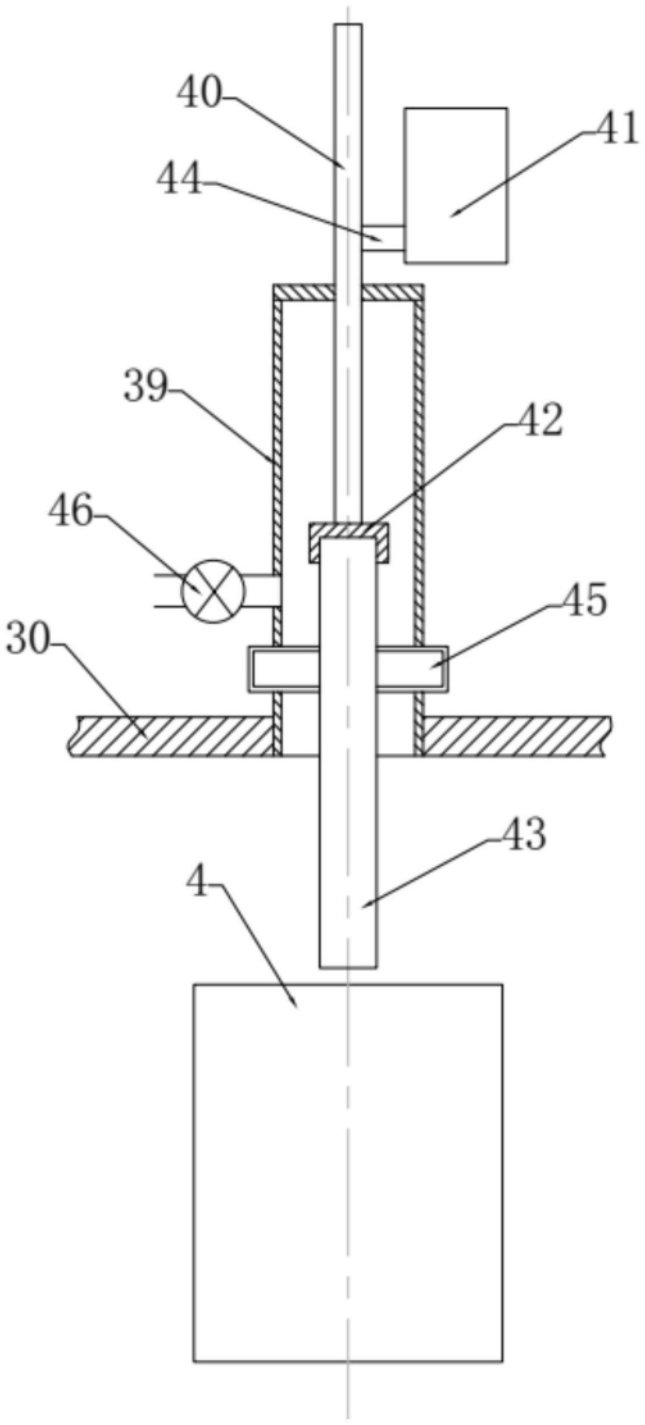


图8

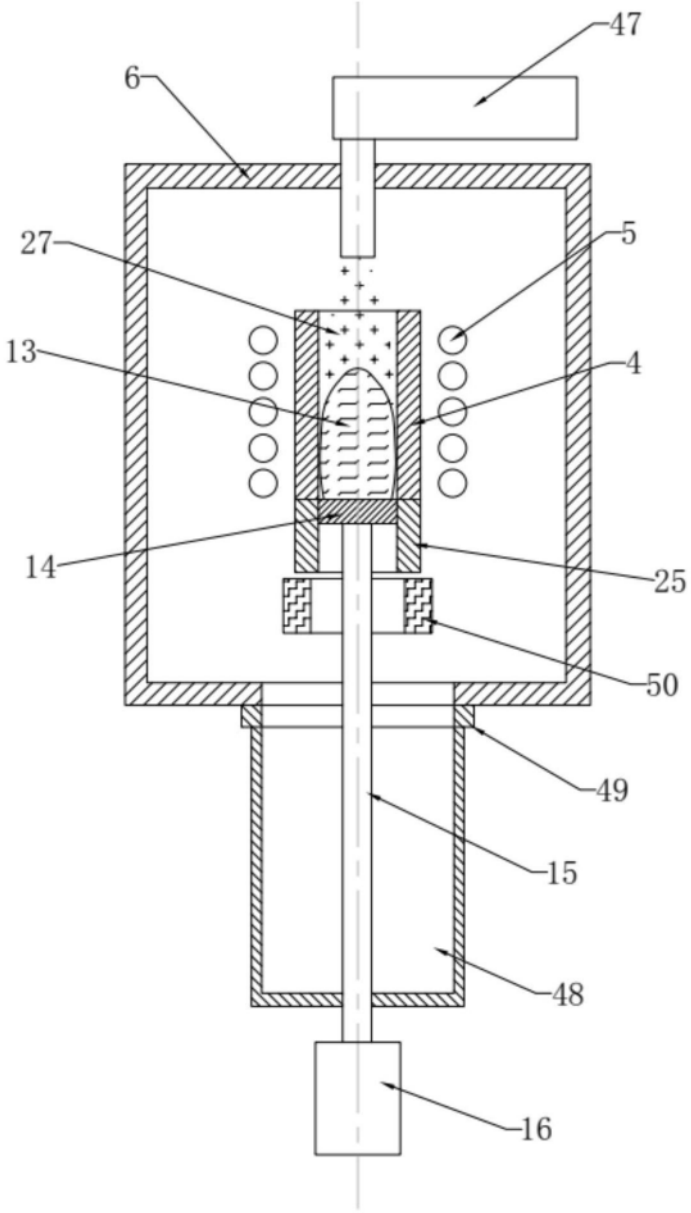


图9

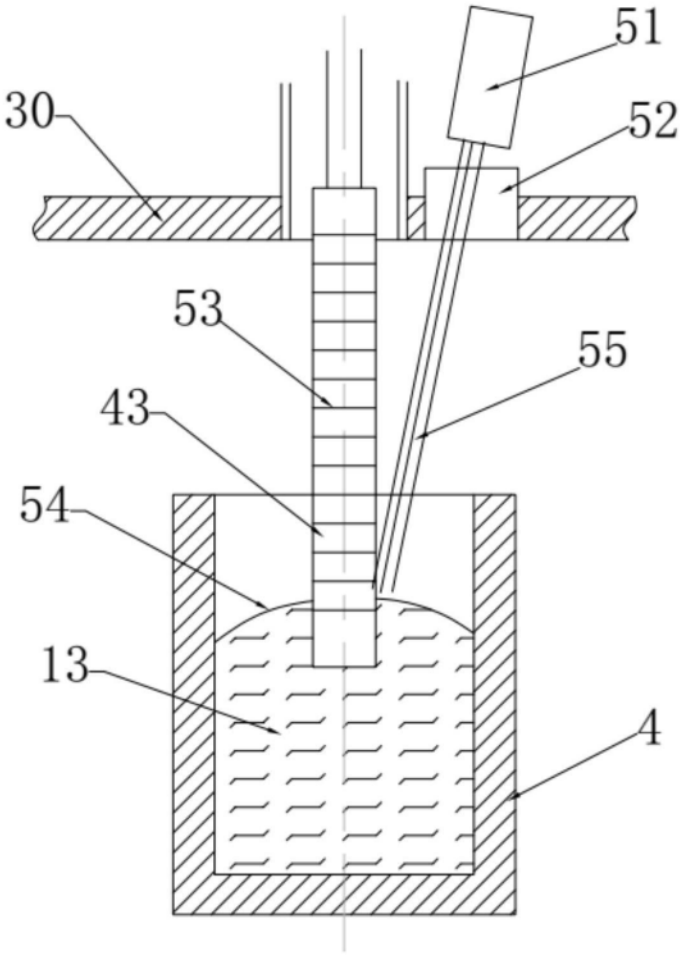


图10