



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102240781 B

(45) 授权公告日 2013. 06. 19

(21) 申请号 201110170868. 2

审查员 佟林松

(22) 申请日 2011. 06. 23

(73) 专利权人 哈尔滨中飞新技术股份有限公司
地址 150060 黑龙江省哈尔滨市哈尔滨经开区哈平路集中区机电配套基地锦州路东侧哈尔滨中飞新技术股份有限公司

(72) 发明人 李念奎

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务所 23109

代理人 杨立超

(51) Int. Cl.

B22D 11/041 (2006. 01)

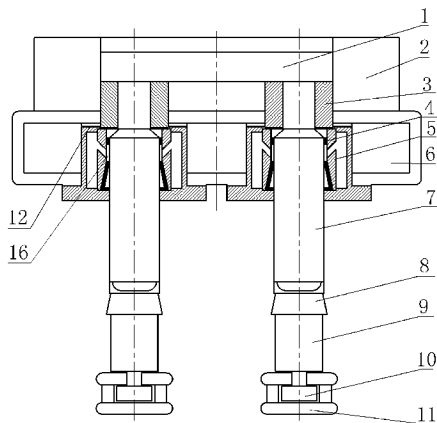
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备及其方法

(57) 摘要

一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备及其方法, 它涉及一种铸造铝合金铸锭的设备及其方法。为了解决采用现有的立式 DC 铸造多根小直径铸锭技术铸造小直径铝合金铸锭存在各个结晶器内液体金属温度一致性差、水冷均匀性差、易出现铸锭悬挂或拉裂跑流问题。分流道上的各个分支出口与多个热顶帽上端入口一一对应的连通, 每个热顶帽的下端出口与一个结晶器的结晶器入口连通, 从储流槽到每一个结晶器的流道距离相同。将保温套加热到 100℃~ 150℃; 打开熔炼炉的出口, 熔融的铝合金液经分流道进入各个结晶器, 同时进行水冷; 待分流道内的熔融的铝合金液液面达到预定位置后, 停留 5-10s, 再向下移动引锭装置。铸锭表面光洁、无裂纹, 偏析瘤细小, 铸锭无气孔和疏松, 晶粒细小。



1. 一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备,所述设备包括铸造系统、供流分流系统和供水系统,其特征在于:所述铸造系统包括保温套(2)以及数量相同设置的多个热顶帽(3)、多个长石墨环(4)、多个结晶器(5)和多个引锭装置;所述供流分流系统包括储流槽(15)和分流道(1);所述分流道(1)为各级分支流道纵横交差且连通设置的平面管网,所述多个热顶帽(3)均布垂直设置在保温套(2)内,分流道(1)水平置于保温套(2)内且位于多个热顶帽(3)的上端,位于分流道(1)上端中部的总入口与储流槽(15)的出口连通,分流道(1)下端设有与结晶器(5)数量一致的多个分支出口,分流道(1)上的各个分支出口与多个热顶帽(3)上端入口一一对应的连通,每个热顶帽(3)的下端出口与一个结晶器(5)的结晶器入口(5-1)连通,从储流槽(15)到每一个结晶器(5)的流道距离相同,每个结晶器(5)上部容腔内插装有一个长石墨环(4);每个结晶器(5)的正下方对应设置有一个引锭装置;供水系统位于保温套(2)的下方用于冷却铸锭,且多个结晶器(5)位于供水系统的水箱(6)内;所述供水系统包括水箱(6)、过滤网(20)、挡水板(22)和两个进水管(21),水箱(6)由外箱(6-1)和内箱(6-2)构成,内箱(6-2)装在外箱(6-1)内,外箱(6-1)和内箱(6-2)之间的空间为蓄水腔,两个进水管(21)相向设置在外箱(6-1)内两侧的蓄水腔内,进水管(21)上设有的出水孔朝向外侧,使进水直接喷到外箱(6-1)的侧壁上,蓄水腔内设有挡水板(22),挡水板(22)的上方设有过滤网(20),蓄水腔内的水量超过挡水板(22)时才经过过滤网(20)进入内箱(6-2)内,多个结晶器(5)均设置在内箱(6-2)内;所述挡水板(22)的高度为水箱(6)的高度(H)的 $3/4-4/5$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备,其特征在于:结晶器(5)的出水孔(5-3)处设有一个配水套筒(16),配水套筒(16)的侧壁上均布开有若干个布水孔,来自水箱(6)内的冷却水经由结晶器(5)的出水孔(5-3)通过配水套筒(16)喷射在铸锭上。

3. 根据权利要求1或2所述的一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备,其特征在于:所述供流分流系统还包括主流槽(13)和控流钎子(14),所述主流槽(13)的出口与储流槽(15)的入口连通,主流槽(13)与储流槽(15)的连通处设置有控流钎子(14)。

4. 根据权利要求3所述的一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备,其特征在于:每个引锭装置包括可微调自动定位的引锭头(8)、引锭杆(9)、引锭杆端子(10)和底座支撑(11),可微调自动定位的引锭头(8)通过引锭杆与引锭杆端子(10)连接在一起,引锭杆端子(10)安装在底座支撑(11)的凹槽内。

5. 根据权利要求1所述的一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备,其特征在于:所述分流道(1)包括总入口、两个二次分流道(1-2)、四个三次分流道(1-3)、八个四次分流道(1-4)、十六个分支出口,两个二次分流道(1-2)对称平行设置在总入口的两侧且与总入口相通,每个二次分流道(1-2)的两端各与一个三次分流道(1-3)垂直连通,每个三次分流道(1-3)的两端各与一个四次分流道(1-4)垂直连通,每个四次分流道(1-4)的一端部对应设有一个分支出口,从总入口到每一个分支出口的流道距离相同。

6. 根据权利要求1所述的一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备,其特征在于:所述分流道(1)包括总入口、四个第一流道(1-1)以及四个分流道单元(1-5),每个分流道单元(1-5)包括单元总入口、两个单元二次分流道(1-5-2)、四个单元三次分流道(1-5-3)、八个单元四次分流道(1-5-4)、十六个分支出口,两个单元二次分流道(1-5-2)对

称平行设置在单元总入口的两侧且与单元总入口相通,每个单元二次分流道(1-5-2)的两端各与一个单元三次分流道(1-5-3)垂直连通,每个单元三次分流道(1-5-3)的两端各与一个单元四次分流道(1-5-4)垂直连通,每个单元四次分流道(1-5-4)的一端部对应设有一个分支出口;四个单元总入口一一对应地通过四个第一流道(1-1)与总入口连通,从总入口到每一个分支出口的流道距离相同。

7. 一种利用权利要求1所述设备铸造多根小直径铝合金铸锭的方法,其特征在于:所述方法是按照以下步骤实现的:

步骤一、调整引锭装置的位置,使引锭装置的引锭头上移至结晶器(5)内;

步骤二、采用火焰加热分流道(1)及结晶器(5)的入口,将保温套(2)加热到 $100^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$;

步骤三、打开熔炼炉的出口,熔融的铝合金液经主流槽(13)依次经过储流槽(15)、分流道(1)进入各个结晶器(5),同时进行水冷;

步骤四、待分流道(1)内的熔融的铝合金液液面达到预定位置后,停留5-10S,再向下移动引锭装置,移动速度为预定速度的 $1/4\sim 1/3$,然后逐渐增速至预定速度;所述预定速度为 $30\text{mm}/\text{min}\sim 40\text{mm}/\text{min}$;

步骤五、铸造结束后降下引锭装置,取出铸锭。

一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备及其方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种铸造铝合金铸锭的设备及其方法,属于铝合金直接水冷半连续铸造技术领域。

背景技术

[0002] DC(Direct Chilling Casting) 铸造的发明大大推动了铝合金加工技术的发展。此后,除了采用铸轧和带式连铸生产薄板坯之外,几乎所有用于压力加工的铝合金锭坯,都采用 DC 铸造技术制备。

[0003] 铝合金的锭坯通常都采用立式 DC 铸造,为提高生产率,均采用多根连铸。但是立式连铸圆铸锭通常的直径都在 $\Phi 100\text{mm}$ 以上 [周家荣,铝合金熔铸问答 [M],北京,冶金工业出版社,1987,177],小于这个尺寸的铸锭,铸造起来极其困难,所以大多企业都铸成直径较大的铸锭,挤压后再加工 [王原库;李长宝,二次挤压管坯料生产的改进,轻合金加工技术,1987, No. 10, 11-15]。这样无疑增加了加工工序和加工成本,更为重要的是:对于力学性能要求较高的制品,很难达到性能指标的要求。

[0004] 采用水平连铸也可以生产直径较小的铸锭,如直径为 50-100mm。但是水平连铸的铸造速度低,一次只能生产几根,不可能实现多根(如 6 根以上)同时生产,同时需要随动锯等机构,因此生产率不高 [小田岛康秀;藤井理史;柳本茂,水平连续铸造铝合金杆以及用于制造该杆的方法和设备,中国专利,200480014480]。立式 DC 铸造小尺寸铸锭可以实现密排连铸,但需要解决的问题包括:

[0005] 1、对熔体的温度分布要求较高,即希望到达每个结晶器内的熔体温度一致,与所需铸造温度相差尽量小。温度差过大时,温度偏低的在结晶器内凝固过快,容易造成悬挂(拉不出来),温度偏高的启车后还没有充分凝固,易产生拉裂而跑流。

[0006] 2、对所有结晶器及其圆周上的冷却水量分布要求较高,即希望结晶器的二次冷却水的水量尽量相同,各结晶器的冷却水量差尽量小。冷却水量偏大时,结晶器内的熔体凝固过快,容易悬挂;冷却水量偏小的结晶器内,熔体冷却过慢,启车后容易产生拉裂而跑流。

[0007] 3、为追求高表面质量,现代的结晶器结晶带(石墨环)都比较短,以尽量减少摩擦的影响。但短石墨环对熔体的温度差和冷却水量的差异要求更高。当生产大直径铸锭时,由于熔体流量较大,所以到达各结晶器的温度差较小,同时大尺寸铸锭的热容量也大,对水量的要求不严格,所以短石墨环可以使用。而对于小直径铸锭,尤其是多根连铸时,则情况相反,对石墨环的尺寸要求也就不同。

[0008] 针对上述问题,本发明开发了一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备及其方法。

发明内容

[0009] 要解决的技术问题:

[0010] 本发明为了解决采用现有的立式 DC 铸造多根小直径铸锭技术铸造小直径铝合金

铸锭（直径小于 100mm）存在各个结晶器内液体金属温度一致性差、水冷均匀性差、易出现铸锭悬挂或拉裂跑流等问题，进而提供了一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备及其方法。

[0011] 本发明为解决上述技术问题采取的技术方案是：

[0012] 本发明所述的一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备包括铸造系统、供流分流系统和供水系统，所述铸造系统包括保温套以及数量相同设置的多个热顶帽、多个长石墨环、多个结晶器和多个引锭装置；所述供流分流系统包括储流槽和分流道；所述分流道为各级分支流道纵横交差且连通设置的平面管网，所述多个热顶帽均布竖直设置在保温套内，分流道水平置于保温套内且位于多个热顶帽的上端，位于分流道上端中部的总入口与储流槽的出口连通，分流道下端设有与结晶器数量一致的多个分支出口，分流道上的各个分支出口与多个热顶帽上端入口一一对应的连通，每个热顶帽的下端出口与一个结晶器的结晶器入口连通，从储流槽到每一个结晶器的流道距离相同，每个结晶器上部容腔内插装有一个长石墨环；每个结晶器的正下方对应设置有一个引锭装置；供水系统位于保温套的下方用于冷却铸锭，且多个结晶器位于供水系统的水箱内。

[0013] 利用上述设备铸造多根小直径铝合金铸锭的方法：

[0014] 步骤一、调整引锭装置的位置，使引锭装置的引锭头上移至结晶器内；

[0015] 步骤二、采用火焰加热分流道及结晶器的入口，将保温套加热到 $100^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ ；

[0016] 步骤三、打开熔炼炉的出口，熔融的铝合金液经主流槽依次经过储流槽、分流道进入各个结晶器，同时进行水冷；

[0017] 步骤四、待分流道内的熔融的铝合金液液面达到预定位置后，停留 5-10S，再向下移动引锭装置，移动速度为预定速度的 $1/4-1/3$ ，然后逐渐增速至预定速度；所述预定速度为 $30\text{mm}/\text{min} \sim 40\text{mm}/\text{min}$ 。

[0018] 步骤五、铸造结束后降下引锭装置，取出铸锭。

[0019] 本发明的有益效果是：

[0020] 本发明所述设备采用了等距分流原则、均匀冷却的方式和长结晶区设计等措施，能够提高小直径铸坯的铸造成品率和铸锭质量。设备主体由供流 / 分流系统、铸造系统和供水系统等组成。本发明设计的分流道，由于从储流槽到每一个结晶器的距离相同，因此可以保证，每个结晶器内的熔体温度相同，结晶器间具有最小的温差。本发明特别设有了长石墨环，提供了长结晶区。本发明设备和方法制造的铝合金小直径铸锭坯料可广泛应用于挤压、锻造制品的生产。采用本发明方法生产小直径铸锭，各结晶器入口的温度波动 $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，各结晶器间冷却水流量差为 $\leq \pm 5\%$ ，铸锭表面光洁、无裂纹，偏析瘤细小，铸锭无气孔和疏松，晶粒细小。本发明满足了立式 DC 铸造多根小直径铸锭所要求的：各个结晶器内液体金属温度一致性、水冷均匀性、防止铸锭悬挂或拉裂跑流等要求。

附图说明

[0021] 图 1 是本发明所述设备的整体结构示意图，图 2 是图 1 的供流系统的示意图，图 3 是图 1 的水箱供水示意图，图 4 是十六根铸锭连铸的分流道的结构示意图，图 5 是水箱进水示意图，图 6 是结晶器的示意图，图 7 是六十四根铸锭连铸的分流道的结构示意图。

具体实施方式

[0022] 具体实施方式一：如图 1～7 所示，本实施方式所述的一种立式 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭的设备，所述设备包括铸造系统、供流分流系统和供水系统，所述铸造系统包括保温套 2 以及数量相同设置的多个热顶帽 3、多个长石墨环 4、多个结晶器 5 和多个引锭装置；所述供流分流系统包括储流槽 15 和分流道 1；所述分流道 1 为各级分支流道纵横交错且连通设置的平面管网，所述多个热顶帽 3 均布垂直设置在保温套 2 内，分流道 1 水平置于保温套 2 内且位于多个热顶帽 3 的上端，位于分流道 1 上端中部的总入口与储流槽 15 的出口连通，分流道 1 下端设有与结晶器 5 数量一致的多个分支出口，分流道 1 上的各个分支出口与多个热顶帽 3 上端入口一一对应的连通，每个热顶帽 3 的下端出口与一个结晶器 5 的结晶器入口 5-1 连通，从储流槽 15 到每一个结晶器 5 的流道距离相同，每个结晶器 5 上部容腔内插装有一个长石墨环 4；每个结晶器 5 的正下方对应设置有一个引锭装置；供水系统位于保温套 2 的下方用于冷却铸锭，且多个结晶器 5 位于供水系统的水箱 6 内。

[0023] 所述设备可以确保竖向 DC 铸造多根小直径铝合金铸锭时温度均匀，冷却均匀的要求；确保充分冷却，避免拉裂和跑流；采用了多次两股分流方法，可以保证液体金属到达每个结晶器时的温度一致，确保立式 DC 铸造多根小直径铝合金温度均匀的要求。每个热顶帽 3 的下端套有密封圈 12。

[0024] 具体实施方式二：如图 1～7 所示，本实施方式所述长石墨环 4 的长度为铸锭直径的 1.0-2.0 倍，这样可以进一步确保冷却均匀，而且保证铸锭各部分充分凝固，防止跑流。其它组成及连接关系与具体实施方式一相同。

[0025] 具体实施方式三：如图 1～7 所示，本实施方式所述结晶器 5 上的均布设有若干个进水孔 5-2 和出水孔 5-3，进水孔 5-2 总面积为出水孔 5-3 总面积的 1.1-2.0 倍。其它组成及连接关系与具体实施方式一相同。

[0026] 具体实施方式四：如图 1～7 所示，本实施方式所述供水系统包括水箱 6、过滤网 20、挡水板 22 和两个进水管 21，水箱 6 由外箱 6-1 和内箱 6-2 构成，内箱 6-2 装在外箱 6-1 内，外箱 6-1 和内箱 6-2 之间的空间为蓄水腔，两个进水管 21 相向设置在外箱 6-1 内两侧的蓄水腔内，进水管 21 上设有的出水孔朝向外侧，使进水直接喷到外箱 6-1 的侧壁上，蓄水腔内设有挡水板 22，挡水板 22 的上方设有过滤网 20，蓄水腔内的水量超过挡水板 22 时才经过过滤网 20 进入内箱 6-2 内，多个结晶器 5 均设置在内箱 6-2 内；所述挡水板 22 的高度为水箱 6 的高度 H 的 3/4-4/5。其它组成及连接关系与具体实施方式一相同。

[0027] 所述供水系统的水箱内采用双管供水，供水管喷孔朝向水箱外壁，又采用挡水板、过滤网等方法，可以保证各结晶器的冷却水流量相同，确保竖向 DC 铸造多根小直径铝合金冷却均匀的要求。为了保证各结晶器的冷却相同，除要保证各结晶器的尺寸和形状精度之外，本发明采用了双管 21 进水，挡水板 22 和钢丝网 20 等措施。为保证各部水压相同，进水管 21 出水孔朝向外侧，即水直接喷到水箱外壁，待水箱的水量超过挡水板 22 时才经过过滤网 20 进入内箱。挡水板一般为水箱高度的 3/4-4/5，过滤网 20 采用多孔的薄钢板或不锈钢丝网。采用过滤网除可以均匀水压外，还可以挡住水中的固体物，防止结晶器二冷水孔堵塞。为进一步均匀水压，结晶器进水采用水孔 5-2（见图 6），可以开 8-12 个孔，进水孔的总面积是出水孔总面积的 1.2-2.0 倍。

[0028] 具体实施方式五：如图 1～7 所示，本实施方式所述结晶器 5 的出水孔 5-3 出设有

一个配水套筒 16, 配水套筒 16 的侧壁上均布开有若干个布水孔, 来自水箱 6 内的冷却水经由结晶器 5 的出水孔 5-3 通过配水套筒 16 喷射在铸锭上, 这样可以进一步确保冷却均匀。其它组成及连接关系与具体实施方式一相同。

[0029] 具体实施方式六: 如图 1 ~ 7 所示, 本实施方式所述供流分流系统还包括主流槽 13 和控流钎子 14, 所述主流槽 13 的出口与储流槽 15 的入口连通, 主流槽 13 与储流槽 15 的连通处设置有控流钎子 14。其它组成及连接关系与具体实施方式一、二、三、四或五相同。

[0030] 具体实施方式七: 如图 1 ~ 7 所示, 本实施方式中每个引锭装置包括可微调自动定位的引锭头 8、引锭杆 9、引锭杆端子 10 和底座支撑 11, 可微调自动定位的引锭头 8 通过引锭杆与引锭杆端子 10 连接在一起, 引锭杆端子 10 安装在底座支撑 11 的凹槽内。(在使用时, 底座支撑 11 与铸造盖板的上端面连接)。其它组成及连接关系与具体实施方式六相同。

[0031] 具体实施方式八: 如图 1 和 4 所示, 本实施方式所述分流道 1 包括总入口、两个二次分流道 1-2、四个三次分流道 1-3、八个四次分流道 1-4、十六个分支出口, 两个二次分流道 1-2 对称平行设置在总入口的两侧且与总入口相通, 每个二次分流道 1-2 的两端各与一个三次分流道 1-3 垂直连通, 每个三次分流道 1-3 的两端各与一个四次分流道 1-4 垂直连通, 每个四次分流道 1-4 的一端部对应设有一个分支出口, 从总入口到每一个分支出口的流道距离相同。其它组成及连接关系与具体实施方式一相同。

[0032] 具体实施方式九: 如图 1 和 7 所示, 本实施方式所述分流道 1 包括总入口、四个第一流道 1-1 以及四个分流道单元 1-5, 每个分流道单元 1-5 包括单元总入口、两个单元二次分流道 1-5-2、四个单元三次分流道 1-5-3、八个单元四次分流道 1-5-4、十六个分支出口, 两个单元二次分流道 1-5-2 对称平行设置在单元总入口的两侧且与单元总入口相通, 每个单元二次分流道 1-5-2 的两端各与一个单元三次分流道 1-5-3 垂直连通, 每个单元三次分流道 1-5-3 的两端各与一个单元四次分流道 1-5-4 垂直连通, 每个单元四次分流道 1-5-4 的一端部对应设有一个分支出口; 四个单元总入口一一对应地通过四个第一流道 1-1 与总入口连通, 从总入口到每一个分支出口的流道距离相同。其它组成及连接关系与具体实施方式一相同。

[0033] 具体实施方式十: 如图 1 ~ 7 所示, 本实施方式所述的一种利用上述设备铸造多根小直径铝合金铸锭的方法是按照以下步骤实现的:

[0034] 步骤一、调整引锭装置的位置, 使引锭装置的引锭头上移至结晶器 5 内;

[0035] 步骤二、采用火焰加热分流道 1 及结晶器 5 的入口, 将保温套 2 加热到 $100^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$;

[0036] 步骤三、打开熔炼炉的出口, 熔融的铝合金液经主流槽 13 依次经过储流槽 15、分流道 1 进入各个结晶器 5, 同时进行水冷;

[0037] 步骤四、待分流道 1 内的熔融的铝合金液液面达到预定位置后, 停留 5-10S, 再向下移动引锭装置, 移动速度为预定速度的 $1/4 \sim 1/3$, 然后逐渐增速至预定速度; 所述预定速度为 $30\text{mm}/\text{min} \sim 40\text{mm}/\text{min}$ 。

[0038] 步骤五、铸造结束后降下引锭装置(降下引锭头), 打开翻板, 取出铸锭。

[0039] 应用实例

[0040] 实例 1:

[0041] 7050 合金, 铸锭直径: $\Phi 60\text{mm}$, 16 根, 铸锭长度 6m。

[0042] 出炉温度 780℃,经过滤净化装置后到达主流槽 13 的温度 750℃,储流槽温度 748℃。金属到达各结晶器的温度见表 1。

[0043] 表 1 各结晶器入口的温度(℃)

[0044]

结晶器(图 4)	a	b	c	d	e	f	g
温度	734	735	735	734	735	734	734

[0045] 各结晶器入口温度差 1℃,铸造过程中储流槽的温度波动 ±4℃,各结晶器入口的温度波动 ±2℃,各结晶器间的温度差 ±1℃。

[0046] 速度 50mm/min 启车,3 分钟内逐渐增加到 180mm/min,直到铸造结束。

[0047] 水流量每根 0.03m³/min,铸造前在每个结晶器下用量筒接冷却水实测流量,结果见表 2。

[0048] 表 2 各结晶器冷却水流量(m³/min)

[0049]

结晶器(图 4)	a	b	c	d	e	f	g
流量	0.030	0.0310	0.0310	0.0300	0.030	0.030	0.0310

[0050] 最大水量和最小水量差为 0.001m³/min,最大流量差为 3%。

[0051] 结晶器石墨环长度为 75mm,铸锭表面光洁、无裂纹,有细小的偏析瘤。铸锭无气孔和疏松,平均晶粒尺寸为 60 μ m。

[0052] 实例 2:

[0053] 6061 合金,铸锭直径 Φ40mm,64 根,铸锭长度 6 米。

[0054] 将 4 组如图 3 所示的结晶器-水箱组合起来,构成如图 7 所示的 64 根连铸系统。由熔炼炉及过滤净化系统流过来的液体金属,首先到达第一储流槽 24,经过第一流道 25 流入储流槽 15,再分配到每个结晶器。出炉温度 780℃,经过滤净化后到达第一储流槽 24 的温度 750℃,达到储流槽 15 的温度 742℃。到达各结晶器的温度见表 3。

[0055] 表 3 各结晶器入口的温度(℃)

[0056]

结晶器 (图 7)	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	m	n
温度	720	722	721	719	721	722	720	720	718	719	720	719

[0057] 各结晶器入口温度差 ±2℃,铸造过程中储流槽的温度波动 ±4℃,各结晶器入口的温度波动 ±2℃,各结晶器间的温度差 ±2℃。

[0058] 速度 50mm/min 启车,3 分钟内逐渐增加到 180mm/min,直到铸造结束。

[0059] 水流量每根 0.03m³/min,铸造前在每个结晶器下用量筒接冷却水实测流量,结果见表 4。

[0060] 表 4 各结晶器冷却水流量 (m^3/min)

[0061]

结晶器 (图 7)	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	m	n
流量	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.020	0.020	0.021	0.020	0.020	0.020	0.021

[0062] 最大水量和最小水量差为 $0.001\text{m}^3/\text{min}$, 各结晶器间流量差为 $\pm 5\%$ 。

[0063] 结晶器石墨环长度为 60mm, 铸锭表面光洁、无裂纹, 有细小的偏析瘤。铸锭无气孔和疏松, 晶粒尺寸为 $50\ \mu\text{m}$ 。

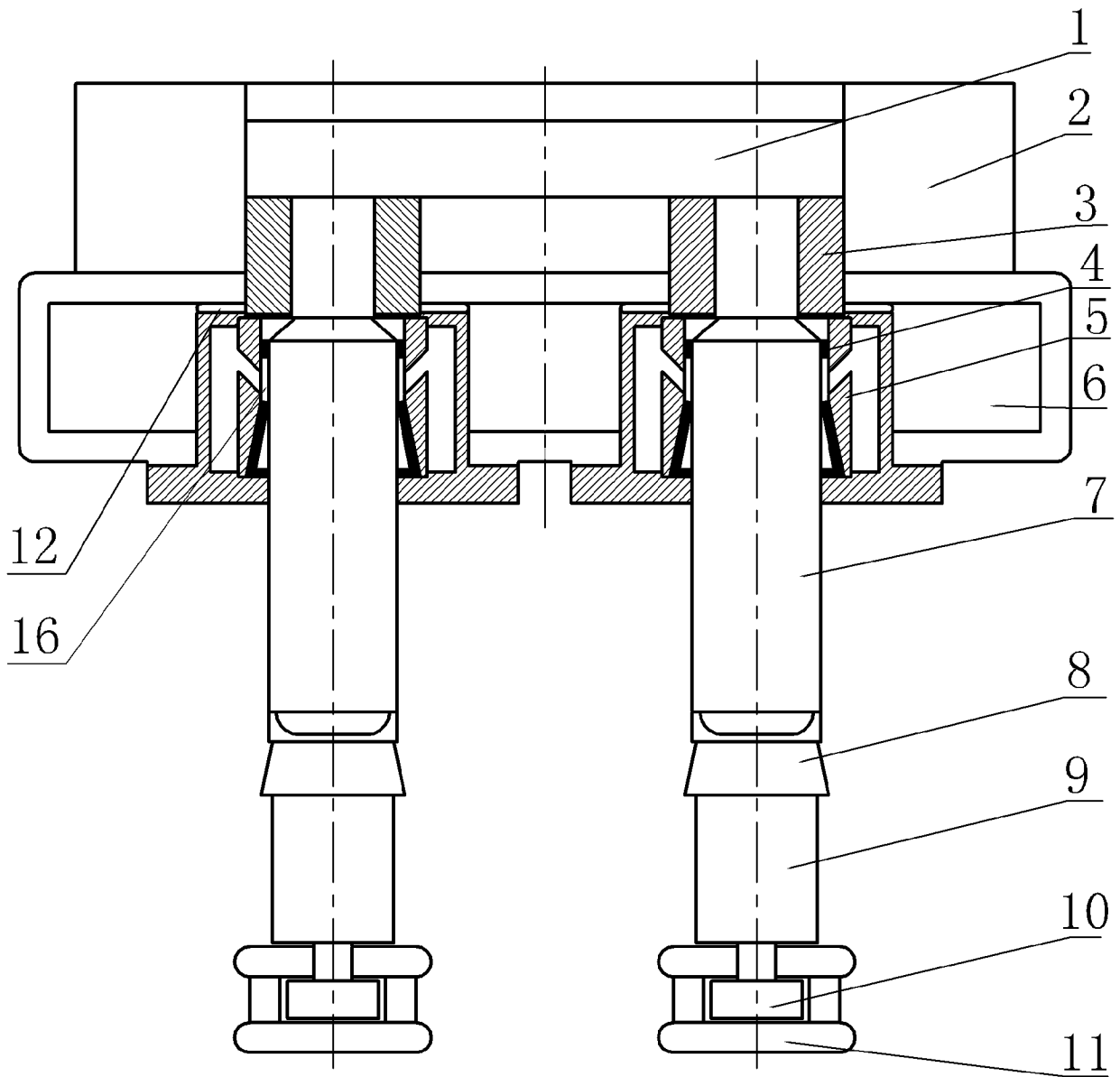


图 1

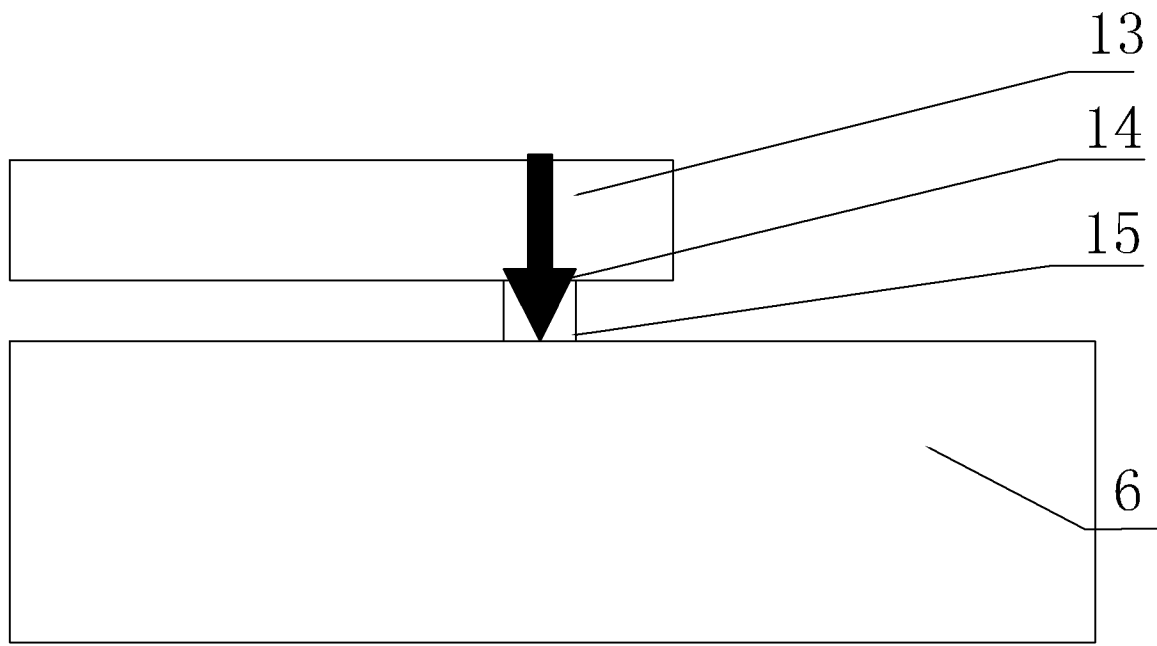


图 2

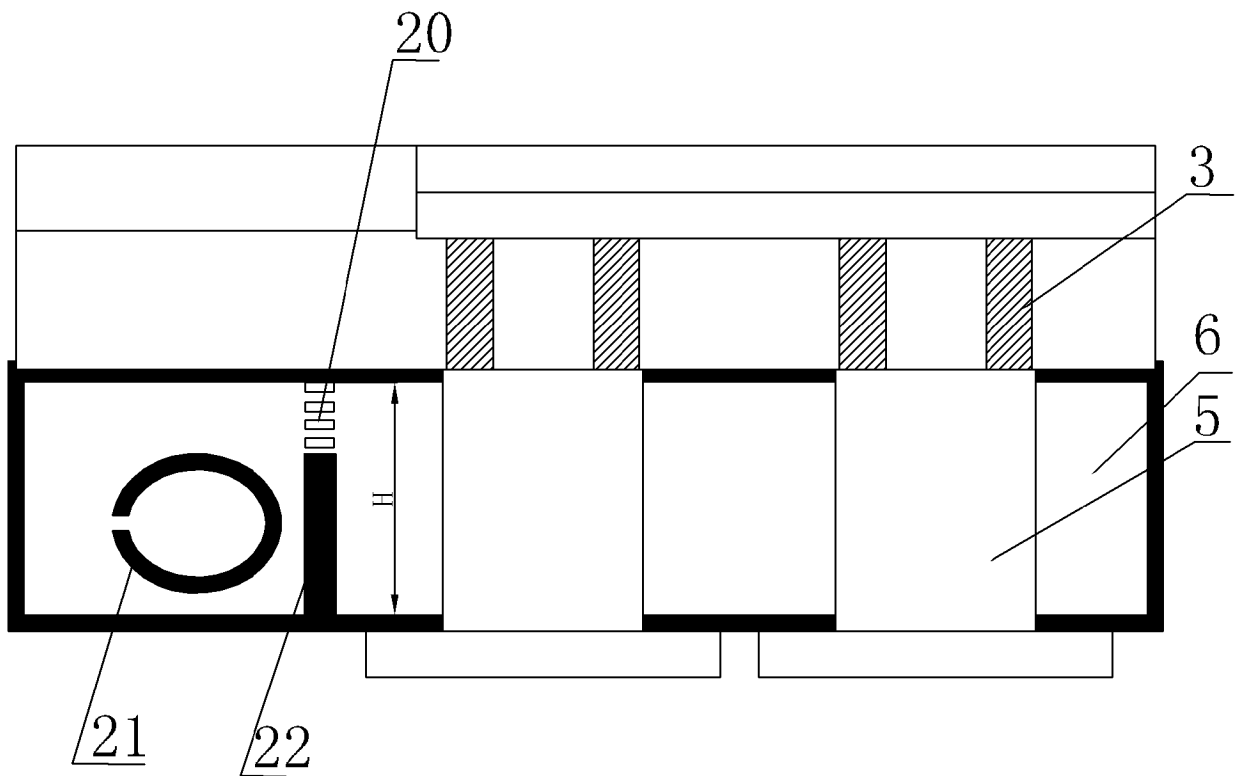


图 3

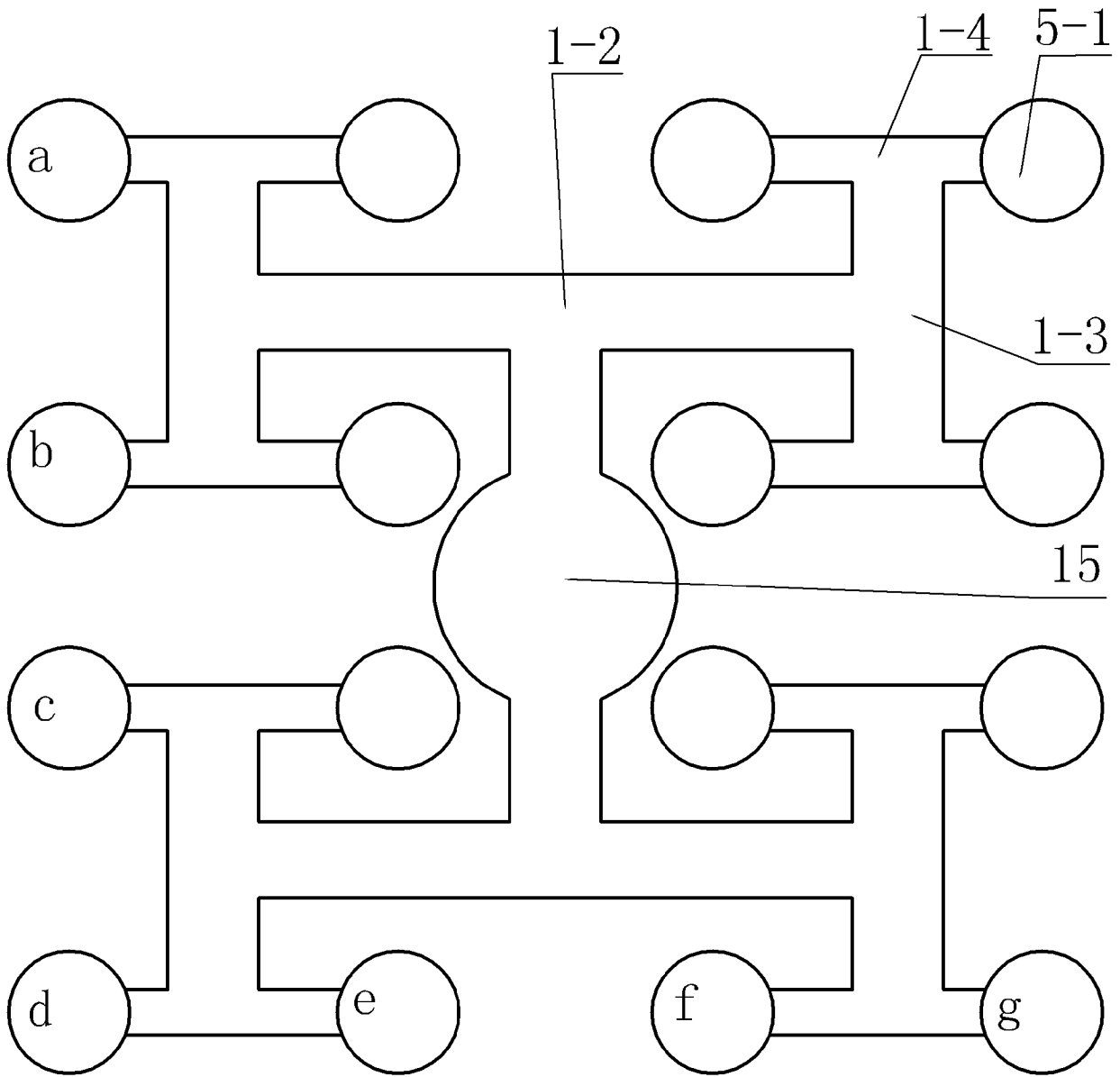


图 4

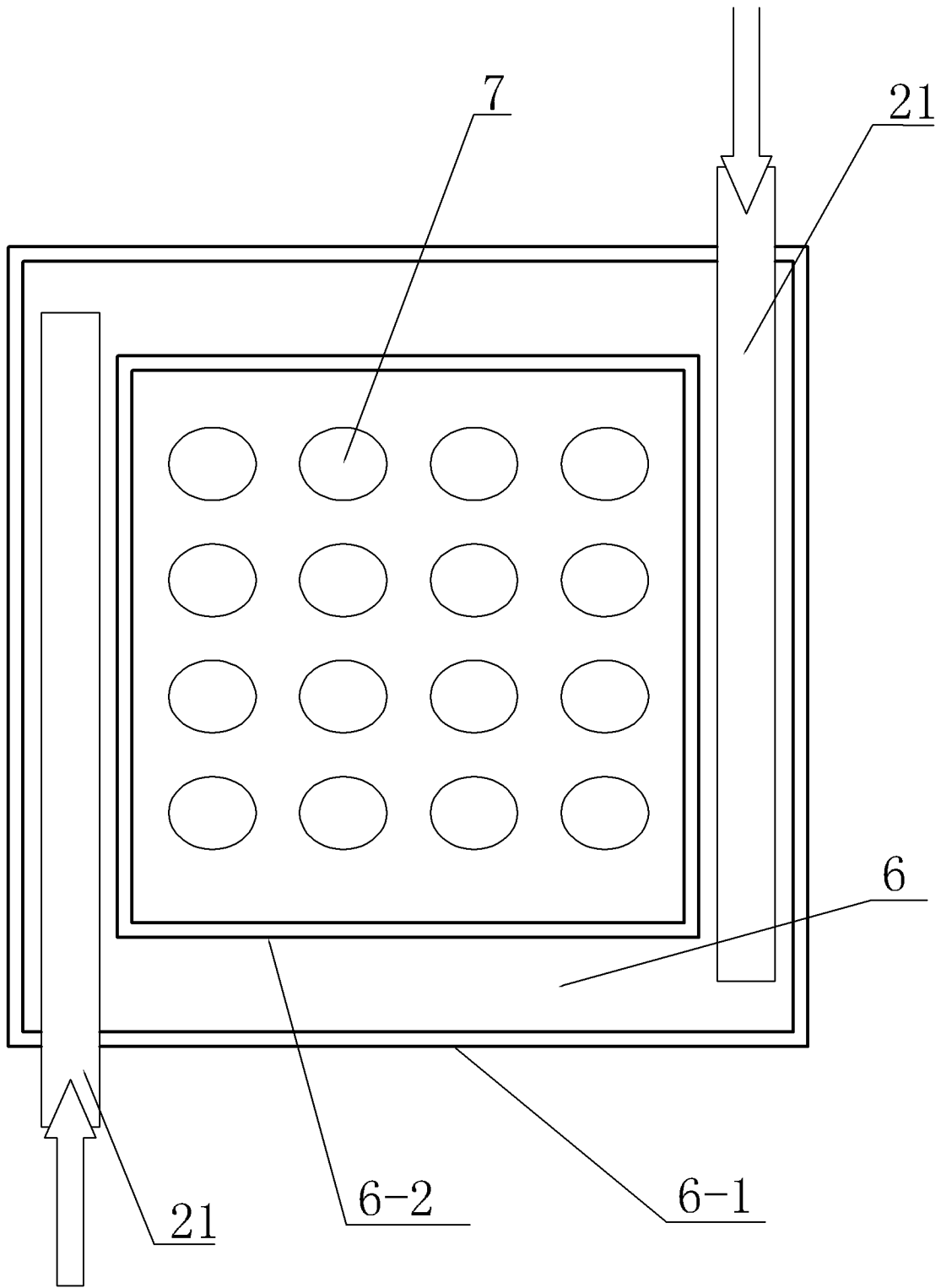


图 5

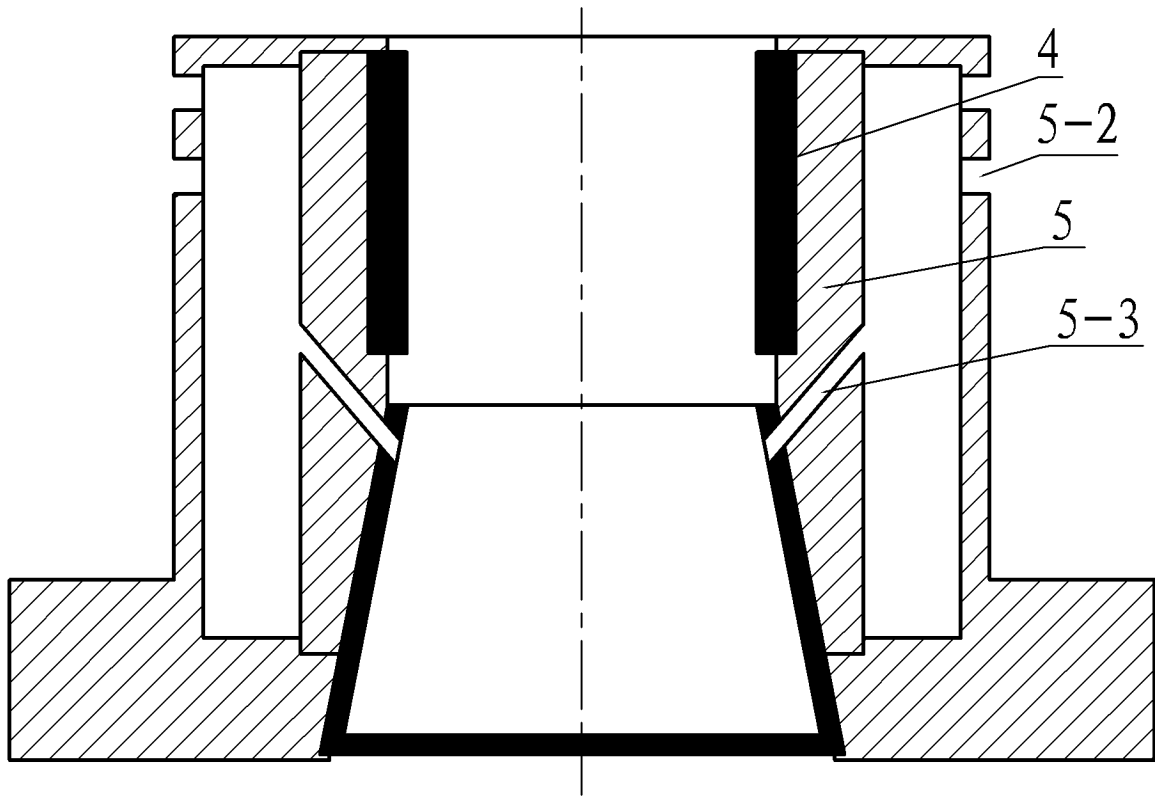


图 6

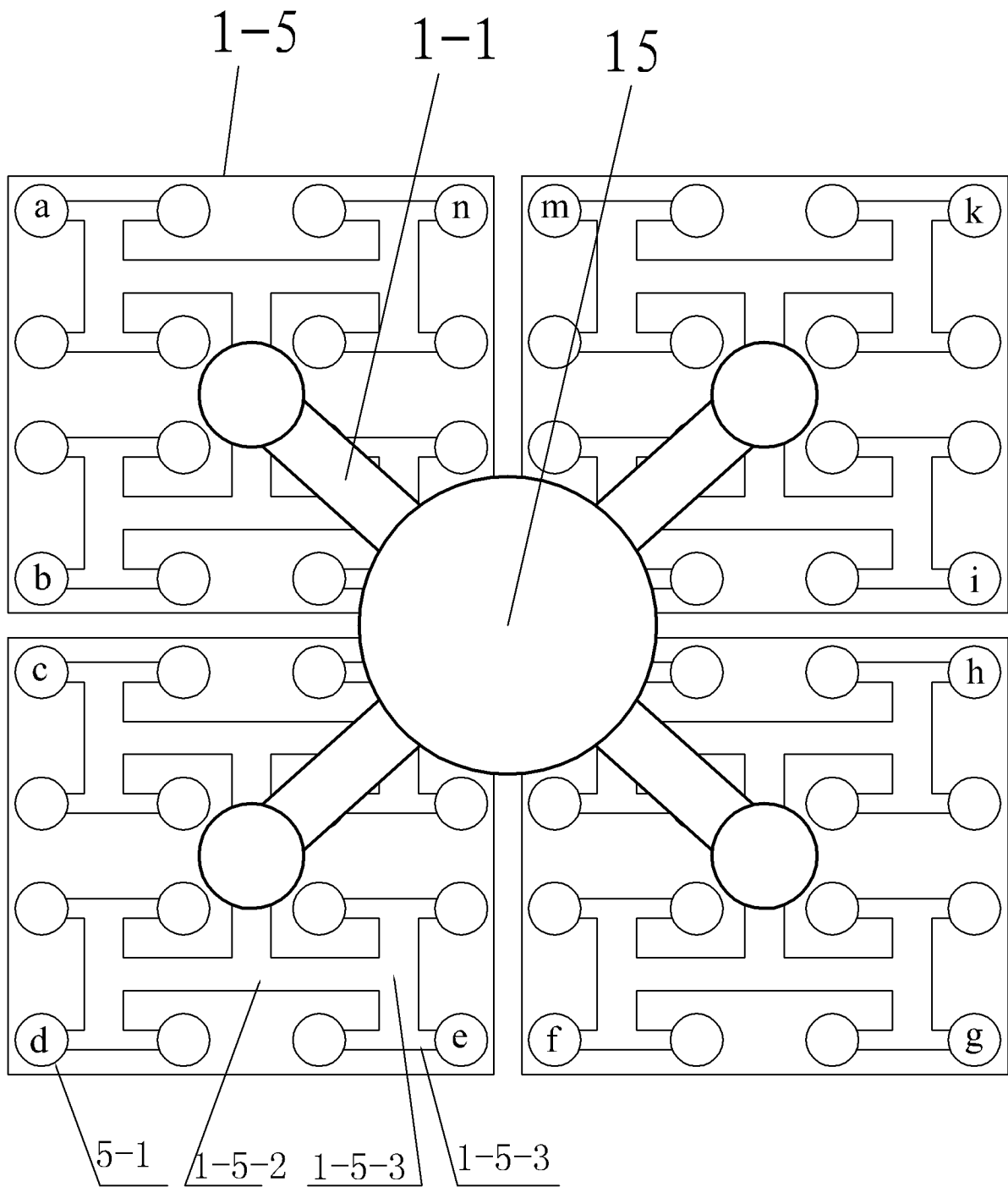


图 7