



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102656415 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 15

(21) 申请号 201080056170. 1

*F27D 99/00*(2006. 01)

(22) 申请日 2010. 12. 15

*C21C 5/52*(2006. 01)

(30) 优先权数据

*H05B 7/12*(2006. 01)

MI2009A002192 2009. 12. 15 IT

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2012. 06. 11

CN 1210659 A, 1999. 03. 10, 说明书第 5 页第 16 至第 8 页第 23 行, 图 1 和图 2.

(86) PCT国际申请的申请数据

JP H03279779 A, 1991. 12. 10, 说明书第 7 栏第 6 行至第 10 栏第 5 行, 图 1.

PCT/EP2010/069730 2010. 12. 15

CN 1120656 A, 1996. 04. 17, 全文.

(87) PCT国际申请的公布数据

CN 2150508 Y, 1993. 12. 22, 全文.

W02011/073244 EN 2011. 06. 23

US 4101725 A, 1978. 07. 18, 全文.

(73) 专利权人 丹尼尔和科菲森梅克尼齐有限公司

审查员 李平

地址 意大利巴特罗

(72) 发明人 毛里齐奥·皮西奥托

马可·安索尔迪 斯特凡诺·莫萨特

阿尔弗雷多·波罗尼

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

代理人 张华卿 郑霞

(51) Int. Cl.

*F27B 3/24*(2006. 01)

*F27D 11/04*(2006. 01)

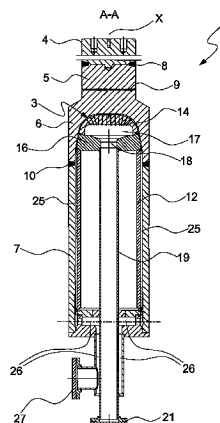
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

用于连续直流电弧炉的电极

(57) 摘要

用于连续直流电弧炉的底部电极或阳极, 设置有允许改进底部电极的冷却作用的有效性的冷却系统, 被制造为以双金属坯件的形状, 用于确保所述电极的在炉的操作期间以及在具有非常高的电负荷时保持固体的部分的足够的高度的目的。



1. 一种电极,用于用来熔融金属的直流电弧炉,所述电极适合于被容纳在所述炉的底部中,所述电极包括:

- 双金属杆 (2),其界定纵向轴线 (X),包括沿着其纵向延伸部的第一钢部分 (4、5),以及第二铜部分 (6、7),所述第一钢部分 (4、5) 的第一端适合于与所述炉内的金属浴接触,所述第二铜部分 (6、7) 被焊接于所述第一钢部分 (4、5) 的第二端;

- 冷却装置 (3),其用于冷却所述双金属杆 (2);

- 空腔 (50),其在所述第二铜部分 (6、7) 内获得,所述冷却装置 (3) 被至少部分地容纳在所述空腔 (50) 中;

- 缝隙,其在所述空腔 (50) 和所述冷却装置 (3) 之间;

其特征在于,所述冷却装置 (3) 包括:

- 收集器 (17),其被放置在所述冷却装置 (3) 的第一端处,具有设置有多个通道 (20) 的端壁,所述通道 (20) 使所述收集器 (17) 与所述缝隙的邻近于所述第一钢部分 (4、5) 的第一部分连通;

- 第一管 (19),其用于将冷却液体朝向所述收集器 (17) 输送;

其中相对于所述纵向轴线 (X),所述收集器 (17) 具有为所述第一管 (19) 的横截面积的至少 1.5 倍的横截面积,

并且其中所述通道 (20) 中的每个具有纵向轴线,所述通道 (20) 中的每个的纵向轴线实质上垂直于与相应的出口段相切的平面,由此在所述缝隙的所述第一部分中产生了实质上垂直于所述空腔 (50) 的邻近于所述第一钢部分 (4、5) 的主表面 (23) 的多个冷却液体射流,

并且其中所述端壁是封闭所述冷却装置 (3) 的管 (12) 的凸形的或实质上平坦的盖子 (14),所述管 (12) 与所述冷却液体的所述第一管 (19) 同轴并且在所述冷却液体的所述第一管 (19) 的外部。

2. 根据权利要求 1 所述的电极,其中所述盖子 (14) 与环形元件 (16) 相关联,其中所述第一管 (19) 被接合在所述环形元件的中心孔 (18) 中。

3. 根据权利要求 2 所述的电极,其中所述中心孔 (18) 具有朝向所述收集器 (17) 的喇叭口。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的电极,其中根据待被冷却的所述主表面 (23) 的形状,所述盖子 (14) 具有半球形的帽或在顶部处被压扁的圆顶或实质上平坦的板的形状。

5. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的电极,其中所述第一管 (19) 在与所述盖子 (14) 相对的侧从所述管 (12) 突出并且连接于所述冷却液体的进口凸缘 (21)。

6. 根据权利要求 1 所述的电极,其中所述通道 (20) 的所述出口段之间的间距 ( $L_d$ ) 在所述通道 (20) 的直径 ( $d_i$ ) 的 3 至 15 倍的范围内。

7. 根据权利要求 1 所述的电极,其中所述缝隙的宽度从所述主表面 (23) 向所述空腔 (50) 的第二表面 (24) 减小。

8. 根据权利要求 7 所述的电极,其中所述缝隙的所述第一部分在所述主表面 (23) 处具有在 5 至 30mm 的范围内的宽度 (H)。

9. 根据权利要求 8 所述的电极,其中所述缝隙的远离所述第一钢部分 (4、5) 的第二部分 (25) 在所述第二表面 (24) 处具有在 2 至 12mm 的范围内的宽度。

10. 根据权利要求 9 所述的电极,其中所述缝隙的所述第二部分 (25) 连接于所述冷却液体的第二排出管 (26)。

11. 根据权利要求 1、2、3、6、7、8、9 或 10 所述的电极,其中所述冷却液体是水。

12. 一种冷却电极的冷却工艺,用于冷却根据权利要求 1 所述的电极,包括以下步骤:

- 使用冷却液体填充被设置在所述空腔 (50) 和所述冷却装置 (3) 之间的所述缝隙;
- 连续地将冷却液体引入所述第一管 (19) 中,由此所述冷却液体到达所述收集器 (17);

- 主要地通过多个冷却液体射流经过所述多个通道 (20) 的连续的泄漏来冷却所述电极,所述多个冷却液体射流实质上在所述缝隙的所述第一部分中垂直地冲击所述主表面 (23) 的相应的部分;

- 借助于所述冷却液体在所述缝隙的所述第二部分 (25) 中的随后的下降流来二次地冷却所述电极。

13. 根据权利要求 12 所述的冷却工艺,其中所述收集器 (17) 内的所述冷却液体的压力在 1 至 15barg 的范围内,并且从所述通道 (20) 离开的射流的速度 ( $v_{\text{射流}}$ ) 等于或小于 50m/s 的值。

14. 一种用于熔融金属的直流电弧炉,包括在其底部处的至少一个根据权利要求 1 所述的电极。

## 用于连续直流电弧炉的电极

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于连续直流电弧炉的电极,特别是用作在所述炉的底部的阳极的电极。

### 背景技术

[0002] 连续直流电弧炉(DC EAF)在钢技术中用于熔融和精炼基于铁的金属合金。

[0003] 在这些炉中,电弧在布置在顶部处的至少一个石墨电极(阴极)和布置在炉的炉床中的底部处的至少一个底部电极(阳极)之间放电。电流的经过允许电弧的形成,电弧的辐射和对流的效应使废铁熔融。

[0004] 相对于交流电弧炉(AC EAF),直流电弧炉有利地允许具有更低的电能消耗、更低的电极消耗和耐火材料消耗、废铁的均一的和快速的熔融(因为可获得大长度的电弧)、噪声和机械应力的减少以及液体金属浴的良好蒸煮。此外,无功功率的变化以及“闪烁”效应是显著地更少的。

[0005] 典型地,连续直流电弧炉具有与炉的冠部相关联并且在炉自身内部延伸的顶部电极或阴极,以及被包括在炉的用于封闭电路的耐火炉床中的多个下部电极或底部电极或阳极。

[0006] 在这些炉中,阳极是最精密的部件中的一个,因为它们被具有非常高的强度的电流经过并且经受相当大的热应力和磁力。

[0007] 多种类型的底部电极属于现有技术。

[0008] 这样的底部电极被例如制造为金属杆的形状,被包括在炉的耐火炉床中,在其底部端部处在炉自身的外部部分地延伸。所述杆的数量以及其相对于炉的中部对称的布置取决于炉的功率并且取决于其炉床的构造。

[0009] 根据另一种类型的底部电极,所述金属杆可以被分为多个具有非常小的直径的坯件,坯件在底部固定在共用的板上,共用的板通常是空气冷却的并且借助于水冷却的管连接于电源。

[0010] 在另一个已知的实施方案中,代替坯件,每个电极单元可以由多个金属片组成,多个金属片被焊接在普通金属支撑物上并且被布置为与其他电极单元配合,以形成与炉同心的环。

[0011] 根据已知的技术,杆型的电极可以完全地由钢制成或由钢和铜制成。

[0012] 所述杆的正在与熔融金属浴接触的顶部钢部分熔融高至某个高度。根据冷却的效率,杆具有被分隔区分隔的顶部液体部分和下部固体部分。

[0013] 在这种类型的底部电极中,主要问题是,开发在由所述底部电极传导的高电负荷和热负荷的条件下也尽可能地延伸的能够确保沿着杆的高度的固体下部部分的冷却系统的问题。

[0014] 除了别的以外,具有对于该冷却系统的需要,以防止熔融金属的可能的逃逸路线的形成。实际上,如果阳极内的熔化前沿继续完成阳极的基部的穿孔,那么将发生液体金属

与水或用于冷却阳极的基部的其他冷却液体的接触,从而导致具有显著地危险的后果的真实的爆炸。

[0015] 已经提出多种解决方案以获得底部电极的冷却作用的改进的热效率。

[0016] 第一解决方案提供使用配备有用于流体的通过的通道以冷却铜部分的、相似于连续铸造结晶器的、以坯件的形状的双金属钢-铜阳极。热交换机理是与单相流体(以液态的水)强制对流的热交换机理。冷却流体的运动实质上平行于待被冷却的表面发生,这需要通道的某个速度和某个尺寸以确保足够的热交换。

[0017] 如果所采用的电流不高的话,该解决方案是足够的。当电流增加时,需要增加直径和流量,然而同时将通路通道的截面保持为尽可能不变,以进而保持热交换系数所依赖的流体的速度不变。考虑到在这样的条件下,金属结构的变形可以被巨大地放大,所以冷却流体穿过的通道也将被热交换的可能的显著的减小修改。这些现象可能严重地危害阳极的结构完整性,对炉的操作有影响。

[0018] 代替地,第二解决方案提供使用双金属钢-铜阳极,其配备有在阳极的铜部分内的冷却系统,借助于当它们与待被冷却的表面接触时的液滴雾化和其相继的沸腾而使用二相冷却流体(液态-气态)。相转移(所谓的“沸腾”)允许高效率地除去热,但是不利地仅高至临界温度。在超出该临界温度时,热交换性质快速衰退,这因此导致差的系统可靠性。如果发生阳极的基部的完全的穿孔,那么一系列障碍物被设置用于阻挡熔融流体向冷却系统的壳体中泄漏,然而因此涉及增加的构造复杂性。

[0019] 因此,意识到制造允许克服上述缺点的底部电极的需要。

## 发明内容

[0020] 本发明的主要目的是提供用于连续直流电弧炉的底部电极或阳极,其设置有冷却系统,该冷却系统能够确保最有可能的沿着坯件(billet)的纵向延伸部的固体部分(solid part)也处在高电负荷的条件下,以持续地确保阳极的固体-液体界面和冷却水之间的足够的距离,以及因此确保绝对的安全性。

[0021] 本发明的另一个目的是通过借助于冷却通道的特定的几何形状优化热交换,获得被制造为双金属坯件的形状的底部电极的冷却作用的高度优于目前可能的效率的效率。

[0022] 本发明的一个另外的目的是同时确保该条件被保持为在坯件的被冷却的部分和未被冷却的部分之间的接合区域处具有最佳的热传导和电传导,从而获得在生产效率方面改进的炉操作、增加的电极持续时间、增加的可靠性和安全性。

[0023] 因此,本发明提出通过制造用于用来熔融金属的连续直流电弧炉的适合于被容纳在所述炉的底部中的电极来实现上文讨论的目的,所述电极,根据权利要求 1,包括:

[0024] - 双金属杆,其界定纵向轴线 X,包括沿着其纵向延伸部的第一钢部分,以及第二铜部分,所述第一钢部分的第一端适合于与所述炉内的金属浴接触,所述第二铜部分被焊接于所述第一钢部分的第二端;

[0025] - 冷却装置,其用于冷却所述双金属杆;

[0026] - 空腔,其在所述第二铜部分内获得,所述冷却装置被至少部分地容纳在所述空腔中;

[0027] - 缝隙,其在所述空腔和所述冷却装置之间;

[0028] 其中所述冷却装置包括：

[0029] - 收集器，其被放置在所述冷却装置的第一端，具有设置有多个通道的端壁，所述多个通道使所述收集器与所述缝隙的邻近于所述第一钢部分的第一部分连通；

[0030] - 第一管，其用于将冷却液体朝向所述收集器输送；

[0031] 其中相对于所述纵向轴线 X，所述收集器具有为所述第一管的相对于所述纵向轴线的横截面积的至少 1.5 倍的横截面积，

[0032] 并且其中所述通道中的每个具有纵向轴线，其纵向轴线实质上垂直于与相应的出口段相切的平面，由此在缝隙的第一部分中产生了实质上垂直于空腔的邻近于所述第一钢部分的主表面的多个冷却液体射流。

[0033] 本发明的第二方面提供上述的电极的冷却工艺，所述冷却工艺，根据权利要求 13，包括以下步骤：

[0034] - 使用冷却液体填充被设置在空腔和冷却装置之间的缝隙；

[0035] - 连续地将另外的冷却液体引入第一管中，由此所述冷却液体到达收集器；

[0036] - 主要地通过多个冷却液体射流经过多个通道的连续的泄漏来冷却电极，所述多个冷却液体射流实质上在缝隙的邻近于电极的钢部分的第一部分中垂直地冲击主表面的相应的部分；

[0037] - 借助于冷却液体在缝隙的远离电极的钢部分的第二部分中的随后的下降流来二次地冷却电极。

[0038] 有利地，本发明的解决方案通过使用单相流体，优选地以液态的水，通过对流机理使用热交换。冷却作用有利地是双重的。

[0039] 主要冷却借助于使冷却液体实质上以相对于待被冷却的壁的垂直方向运动来产生，从而利用射流的冲击（“撞击”）来除去热。被约束的射流的垂直的特征允许冷却系统距待被冷却的阳极的主表面的距离不受约束，热交换是相等的。因此，可以在所述主表面和冷却液体的注射孔的出口段之间提供间隙或更大的距离，使得阳极在高电流的效应下的机械变形不影响冷却的效率，如代替地在现有技术的第一解决方案中发生的。

[0040] 此外，对于射流，可以通过简单地改变射流的截面来增加液体的速度，因此不干涉流量的增加。因此，可以将液体的速度与液体的流量分开。

[0041] 代替地，二次冷却通过使冷却液体实质上以平行于待被冷却的表面的方向运动来产生。这样的二次冷却已经在板或有孔帽的区域中显现，因为在已经冲击电极套管的弯曲表面之后，射流的液体趋于重叠其，直到其到达在电极套管和冷却吹管之间的管道或缝隙的竖直壁，在竖直壁液体然后以平行于阳极的相应的表面的方向竖直地下降，从而朝向排放段移动。

[0042] 本发明的电极的冷却系统作为单相（仅水，在系统内没有空气）和封闭的系统操作。所述系统可以使用高的或低的出口压力不同地操作。

[0043] 板或有孔帽的孔的数量取决于待被冷却的表面。还可以设置冷却液体的注射喷嘴。

[0044] 双金属钢 - 铜坯件的使用允许确保优良的导电率并且允许将冷却效应以液体钢浴的方向延伸。这允许将钢的固体 - 液体界面保持为尽可能远离被冷却的区域。高效率的冷却系统允许通过显著地增加安全系数进一步改进这方面。

[0045] 从属权利要求描述本发明的优选的实施方案。

#### 附图说明

[0046] 本发明的另外的特征和优点将在附图的辅助下根据以非限制性的实施例的方式示出的用于连续直流电弧炉的电极的优选的而非排他的实施方案的详细描述成为更明显的,在附图中:

[0047] 图 1 示出了根据本发明的电极的第一侧视图;

[0048] 图 2 示出了图 1 中的电极的沿着平面 A-A 的剖视图;

[0049] 图 2a 示出了图 1 中的电极的第一部分的沿着平面 A-A 的剖视图;

[0050] 图 2b 示出了图 1 中的电极的第二部分的沿着平面 A-A 的剖视图;

[0051] 图 3 示出了图 1 中的电极的仰视图;

[0052] 图 4 示出了图 3 中的电极的沿着平面 B-B 的剖视图;

[0053] 图 5 示出了被包括在电弧炉的炉床内的本发明的电极的视图;

[0054] 图 6a 示出了本发明的电极的冷却系统的部件的剖视侧视图;

[0055] 图 6b 示出了图 6a 中的部件的俯视图。

#### 具体实施方式

[0056] 参照附图,提出了全部由参考数字 1 指示的用于连续直流电弧炉的电极的第一实施方案,特别是待被包括在所述炉的耐火炉床内的底部电极或阳极。

[0057] 本发明的对象电极 1 包括:

[0058] - 杆或双金属坯件 2,其优选地具有被便利地焊接于彼此的钢的顶部部分和铜的底部部分;

[0059] - 冷却装置 3,其被容纳在坯件 2 的底部铜部分内。

[0060] 特别地,在结构方面,参照图 1 和 2,在坯件 2 中从顶部至底部设置:

[0061] - 第一钢部分 4;

[0062] - 第二钢部分 5,其被焊接于所述第一钢部分 4;

[0063] - 第三铜部分 6,其被焊接于所述第二钢部分 5;

[0064] - 第四铜部分 7,其被焊接于所述第三铜部分 6。

[0065] 第三铜部分 6 具有截面的变化,特别是其横截面从顶部朝向底部增大,参照图 2。

[0066] 图 1 和 2 示出了在第一部分 4 和第二部分 5 之间的钢-钢焊接线(welding cordon)8;在第二部分 5 和第三部分 6 之间的钢-铜线或焊缝线 9;在第三部分 6 和第四部分 7 之间的铜-铜焊接线 10。

[0067] 第四铜部分 7 实质上由圆柱形管组成。第三铜部分 6 在其底部包括在第三部分 6 的较宽的部分中制造的凹部 13。第二钢部分 5 和第三铜部分 6 界定所谓的“隔离物”以便利地将电极的冷却区与坯件 2 的将在电弧炉的操作期间变成液体的钢部分间隔开。坯件 2 的将保持固体的铜部分和钢部分被焊接在一起以确保电流通路和热连续性。

[0068] 有利地,冷却装置 3 被至少部分地容纳在由圆柱形管 7 的内部和由第三铜部分 6 的所述凹部 13 界定的纵向空腔 50 中。隔离物 5、6 和圆柱形管 7 界定所谓的电极套管。

[0069] 冷却装置 3 包括优选地金属材料的实质上圆柱形的冷却吹管 11,冷却吹管 11 又包

括以下元件：

[0070] - 圆柱形管 12, 其具有略微地小于圆柱形管 7 的内径的外径；

[0071] - 凸形的或实质上平坦的盖子 14, 其被设置用于封闭所述管 12 的第一端, 在其外壁中设置有多通道 20, 例如以简单的通孔的形状；

[0072] - 冷却流体例如水的输送管 19, 其在管 12 内穿过并且耦合于所述盖子 14, 从而与在盖子本身内获得的收集器 17 连通。管 12 优选地与所述输送管 19 同轴。

[0073] 作为简单的通孔 20 的替代形式, 可以设置被旋接在通孔 20 的相应的螺纹上的有螺纹的喷嘴。

[0074] 在优选的变化形式中, 盖子 14 与环形元件 16 相关联, 输送管 19 被插入环形元件 16 的中心孔 18 中。

[0075] 有利地, 中心孔 18 具有朝向收集器 17 的喇叭口 (flare)。有利地, 相对于电极的纵向轴线 X, 收集器 17 具有管 19 的相对于所述纵向轴线 X 的横截面积的至少 1.5 倍的横截面积。在优选的变化形式中, 收集器 17 的横截面等于管 19 的横截面的至少两倍。

[0076] 如果管 19 和收集器 17 具有圆形横截面, 那么收集器 17 的直径优选地等于管 19 的直径的 1.5 倍。在除了圆形之外的截面的情况下, 优选地在相应的等效直径之间是相同的关系。

[0077] 环形元件 16 例如借助于焊接而被整体固定于圆柱形管 12。

[0078] 所述盖子 14 可以例如借助于焊接而被整体固定在所述环形元件 16 上方, 从而将收集器 17 界定在其内。

[0079] 通过将内收集器 17 置于与冷却装置的外部连通来将孔 20 制造在盖子 14 的厚度中。

[0080] 根据电极的待被冷却的内中央表面的形状, 盖子 14 可以具有半球形的帽或在顶部处或多或少压扁的圆顶或实质上平坦的板的形状。因此, 凹部 13 的轮廓实质上相应于盖子 14 的外轮廓。

[0081] 输送管 19 在圆柱形管 12 的第二端从圆柱形管 12 突出, 即从相对于盖子 14 的相对侧突出, 并且连接于冷却水的进口凸缘 21。

[0082] 一旦电极被组装, 那么吹管 11 被容纳在电极套管内。凹部 13 的形状使得接收吹管 11 的盖子 14。预确定的间隙或距离 H 被设置在凹部 13 和盖子 14 之间, 在待被冷却的电极的内中央表面或主表面 23 处, 预确定的间隙或距离 H 优选地从电极的内侧或第二表面 24 减小。

[0083] 有利地, 在主表面 23 (也称为“润湿表面”) 和盖子 14 的相应的表面 (在主表面 23 和孔或喷嘴 20 的出口段之间) 之间的距离 H 在 5 至 30mm 之间、优选地 6 至 12mm 之间的范围内。在优选的变化形式中, 距离 H 等于 8mm。该距离 H 相应于缝隙的在空腔 50 和冷却装置 3 或吹管 11 之间的第一部分的宽度。

[0084] 在管 7 和管 12 之间的管道 25 的宽度优选地在 2 至 12mm 之间, 管道 25 的所述宽度相应于缝隙的在空腔 50 和冷却装置 3 或吹管 11 之间的第二部分的宽度。

[0085] 这样的管道 25 连接于设置有出口凸缘 27 的冷却水排放管 26。

[0086] 孔或喷嘴 20 的直径“ $d_1$ ”有利地在 1 至 10mm 之间、优选地 1 至 5mm 之间的范围内。在优选的变化形式中, 直径“ $d_1$ ”等于 3mm。



[0087] 代替地,关于孔 20 在盖子 14 上的分布,孔 20 之间的间距由  $L_d$  表示,是孔的直径的函数,优选地但是不必要地等于所述直径的倍数。分布可以是在盖子 14 的表面上均一的或不均一的。间距  $L_d$  在孔 20 的直径  $d_i$  的 3 至 15 倍之间的范围内,优选地在孔的直径的 6 至 11 倍之间的范围内。在优选的变化形式中, $L_d$  等于 31.5mm。

[0088] 孔在盖子 14 上的分布准则是基于通过由分别的射流的冲击产生的整个高效率冷却区域的一部分冷却的主表面 23 的最优的覆盖率。

[0089] 有利地,孔 20 被制造在盖子 14 中,从而使其纵向轴线实质上垂直于与其出口段相切的平面,即实质上垂直于主表面 23 的相应的部分。

[0090] 此外,主表面 23 或“润湿区域”可以是平面的或弯曲的,并且其延伸部在等效直径  $D_{eq}$  方面取决于坯件 2 的直径并且具有约 700mm、优选地在 250 至 600mm 之间的范围内的最大值。在优选的变化形式中, $D_{eq}$  等于 550mm。

[0091] 如图 6 中图示的,底部电极 1 的双金属坯件 2 被包括在连续直流电弧炉的耐火炉床 30 中。在炉床 30 内,坯件 2 被至少顺序的环形耐火套圈 31 围绕。坯件 2 的顶部端 32 与在炉内的液体金属浴(未示出)接触。与液体金属的所述接触连同高电流沿着坯件本身经过的效应共同地,决定由界面区域 35 分隔的顶部液体部分 33 和底部固体部分 34 沿着坯件 2 的形成。

[0092] 电极的冷却液体优选地但是不必要地是水,以预确定的流量连续地引入输送管 19 中,冷却液体沿着输送管 19 流动,直到到达环形元件 16 的中心孔 18,从而到达在盖子 14 内部的收集器 17。

[0093] 可能的是,提供作为水的替代形式的其他冷却液体的使用,例如诸如液态金属例如钠以及具有多种组成的低共熔混合物。

[0094] 有利地,第一环形元件 16 的中心孔 18 具有朝向收集器 17 的喇叭口,用于最小化负载损失以及恢复收集器 17 内的最高压力。收集器 17 内的冷却液体的压力在 1 至 15barg 的范围内,优选地等于约 12barg。

[0095] 从收集器 17(也称为“底部收集器”),液体通过多个孔 20 垂直地注射至主铜表面 23 上。影响热的局部传递的离开孔 20 的液体射流的速度  $v_{射流}$  具有 50m/s 的最大值,优选地在 25 至 30m/s 之间的范围内。在优选的工艺变化形式中,这样的速度等于约 27m/s。连续地离开孔 20 的液体射流的速度应使得防止与电极的铜部分的内表面接触的液体蒸发的任何可能性。

[0096] 孔 20 的分布和工艺参数是使得获得经过电极的铜部分的等于约 20MW/m<sup>2</sup> 的最大热流。

[0097] 有利地,设置被安装在阳极的铜块(特别是第三段 6)中的一系列的热电偶 40(图 3 和 4),以勘测经过电极的铜部分产生的热流。

[0098] 在优选的变化形式中,热电偶 40 被容纳为相对于电极的纵向轴线倾斜约 60° 并且其前端部被布置为接近于所述轴线。热电偶 40 的这种配置具有允许连续监测大部分热机械应力区中的一个的状态的优点。

[0099] 此外,在电极的铜段 6 和管 7 内,提供用于热阻的壳体 41,作为温度和诊断的另外的控制仪器。

[0100] 因此,本发明的电极的冷却系统允许在顶部处由待冷却的主表面 23 划界的区域

或“顶部收集器”中产生和排放冷却液体射流。

[0101] 所有的射流都被约束为垂直于主表面 23 的相应的部分,并且完全地浸入已经占据“顶部收集器”和在管 12 和管 7 之间的侧管道 25 的同一冷却液体中。有利地,当操作时,液体的经过区域没有一个容纳空气而是被液体本身完全地占据。因此,本发明的电极的冷却系统作为单相(仅水,在系统内没有空气)和封闭的系统操作。所述系统可以使用高的或低的出口压力不同地操作。

[0102] 帽或有孔的板形状的盖子 14 的配置,以及在主表面 23 和所述帽或有孔的板之间的区域的配置,应使得促进液体射流在主表面 23 上的实质上垂直的冲击以及朝向冷却系统的排放部下降的连续流动,其中射流的冷却效应被完全地转化为湍流对流。

[0103] 液体射流冲击在为阳极的被冷却的顶部区域的“润湿区域”23 上;电极的铜套管的内部的其余部分,即管道 25,被来自所述被冷却的顶部区域的液体的下降流冷却(二次冷却)。

[0104] 实验测试已经证实,被约束的液体射流的冲击是非常有效的用于获得连续直流电弧炉的底部电极的铜部分的高冷却效率的手段。

[0105] 垂直地冲击在平坦的表面上的湍流射流已经在接近于射流的滞留点的区域中产生在单相对流(没有空气)中遇到的最高热交换系数值。

[0106] 这种表现是由于在射流的冲击区域中的边界层变薄,从而允许将冷却液体在这样的区域中与交换表面直接接触。此外,滞止压力是在射流的减速区(在减速区中,射流冲击在表面上)中记录的压力,显著地增加饱和温度,饱和温度是对于给定的压力发生沸腾现象的温度。因此,由于这些现象,可能的是,在停滞区中存在高壁温度以及因此高热流,而没有必要建立沸腾条件。

[0107] 当距射流的滞留点的距离增加时,压力和热交换迅速地减少。因此,为了冷却表面的大部分,实施方案设想垂直地冲击在平坦的表面上的一系列射流。在多个射流之间的流体动力学显著地不同于单个射流的冷却条件。特别地,在来自毗邻的射流的流动线集合在一起的区域中,在待被冷却的二次表面上产生停滞区,在停滞区中将发生热交换系数的局部增加。

[0108] 因此,相对于单一射流的配置,根据射流之间的倒数的距离,将发生在被液体击打的整个表面上的热交换系数的平均值的增加。

[0109] 然后在曲线表面例如半球形表面上有效地测试使用实质上垂直地冲击所述平坦的表面的多个液体射流的解决方案。

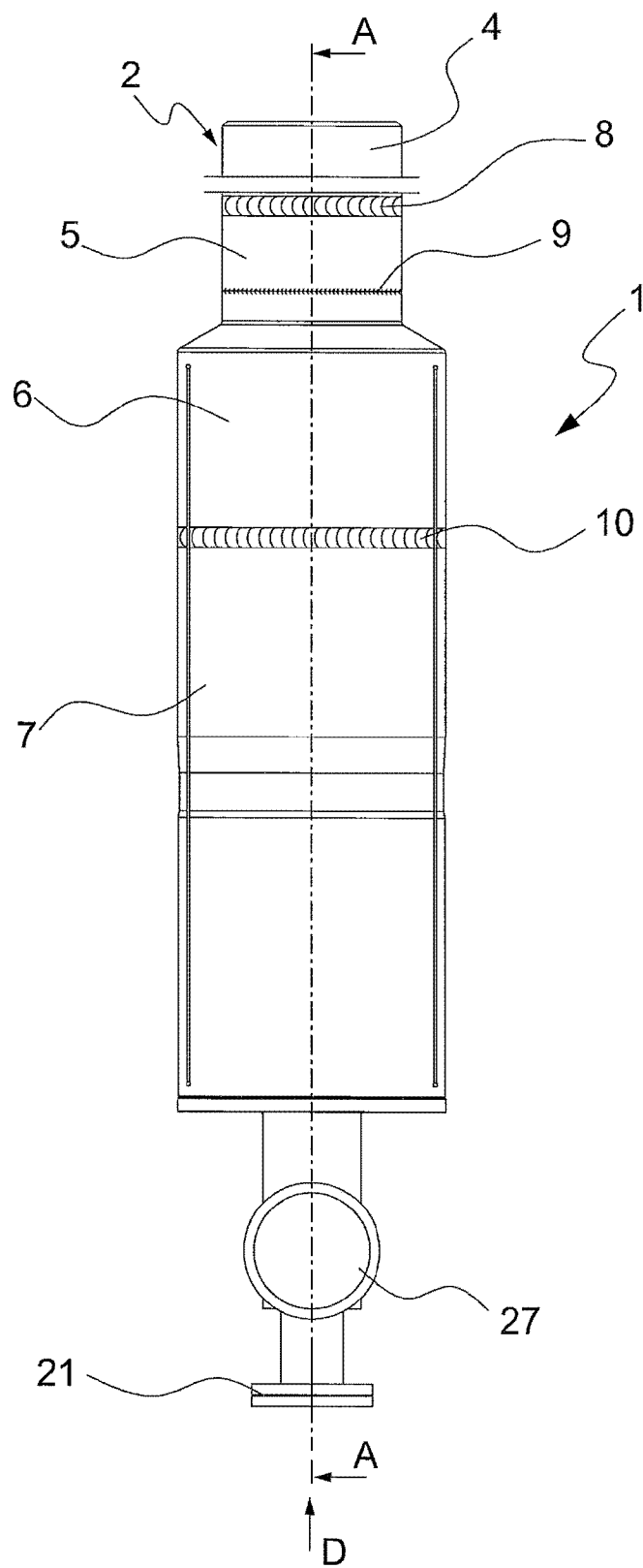


图 1

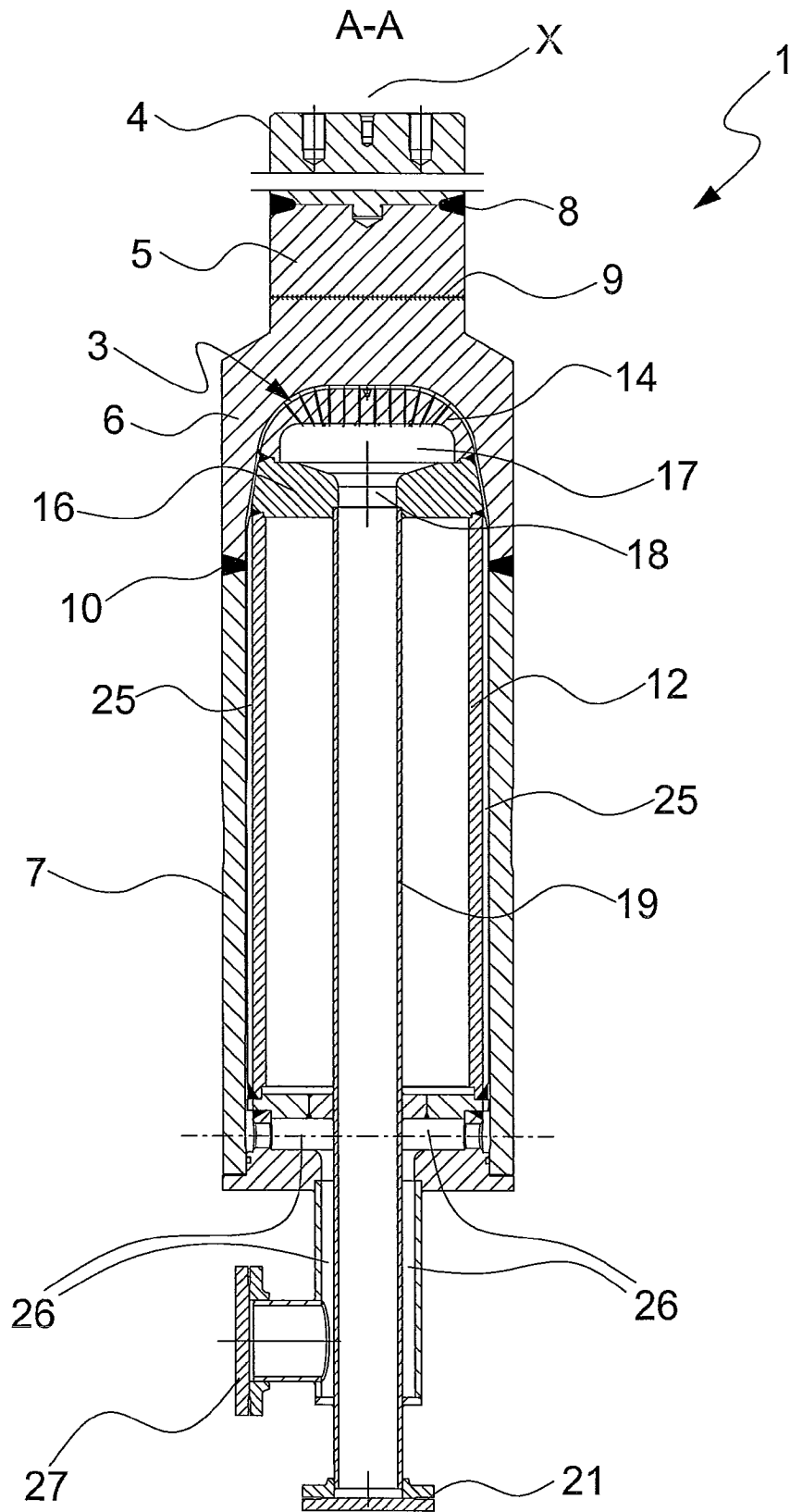


图 2

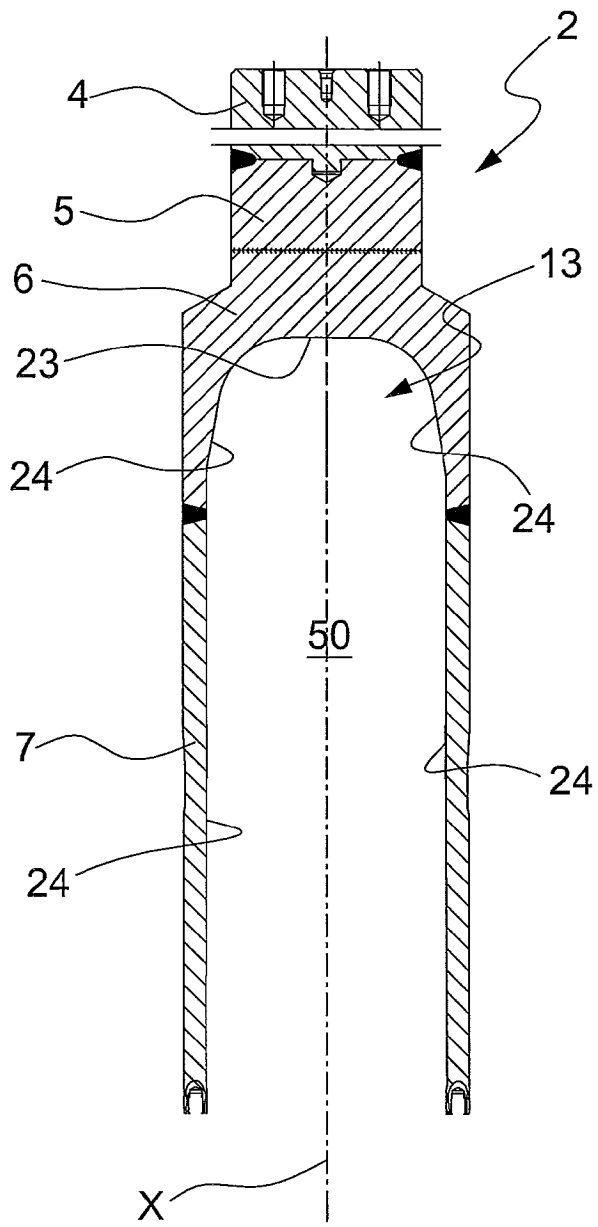


图 2a

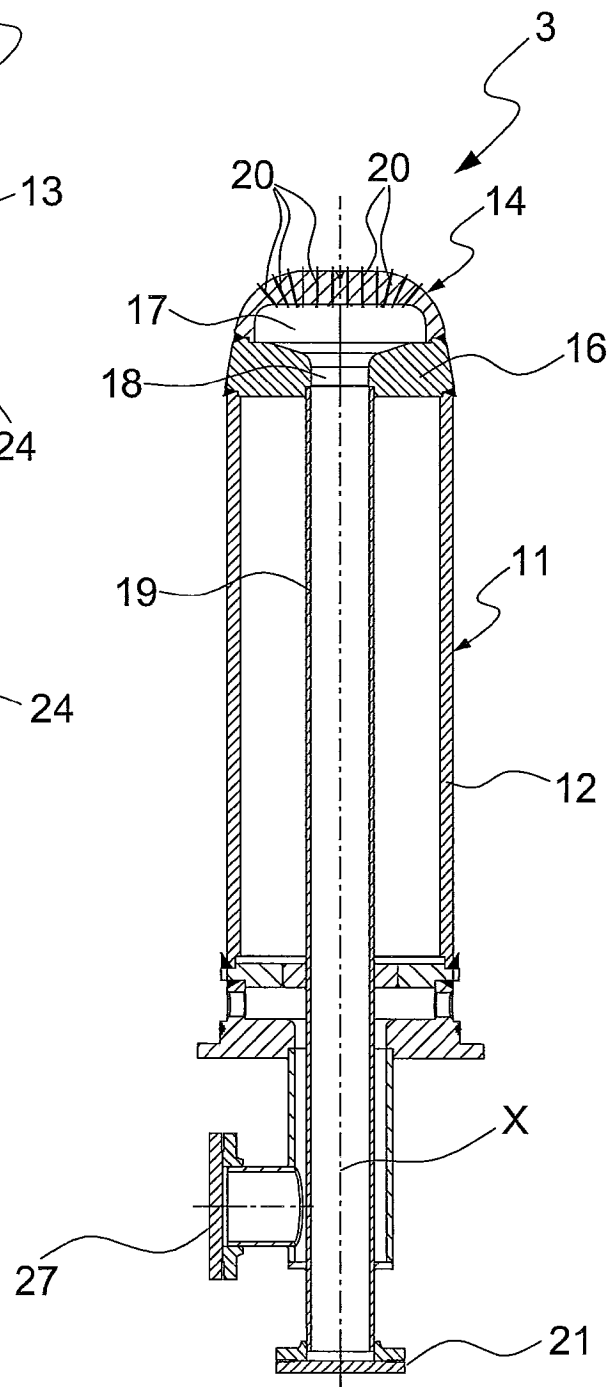


图 2b

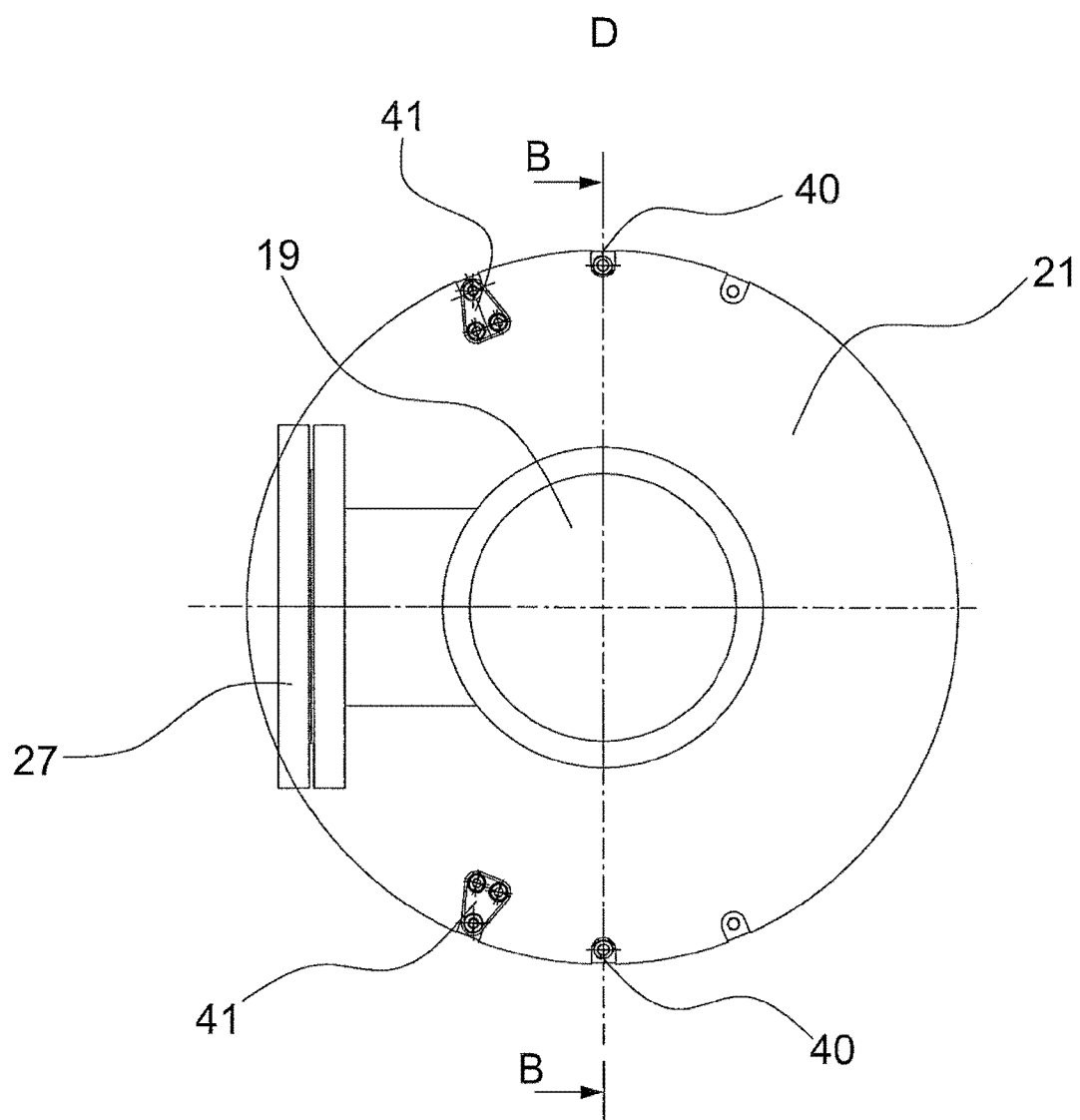


图 3

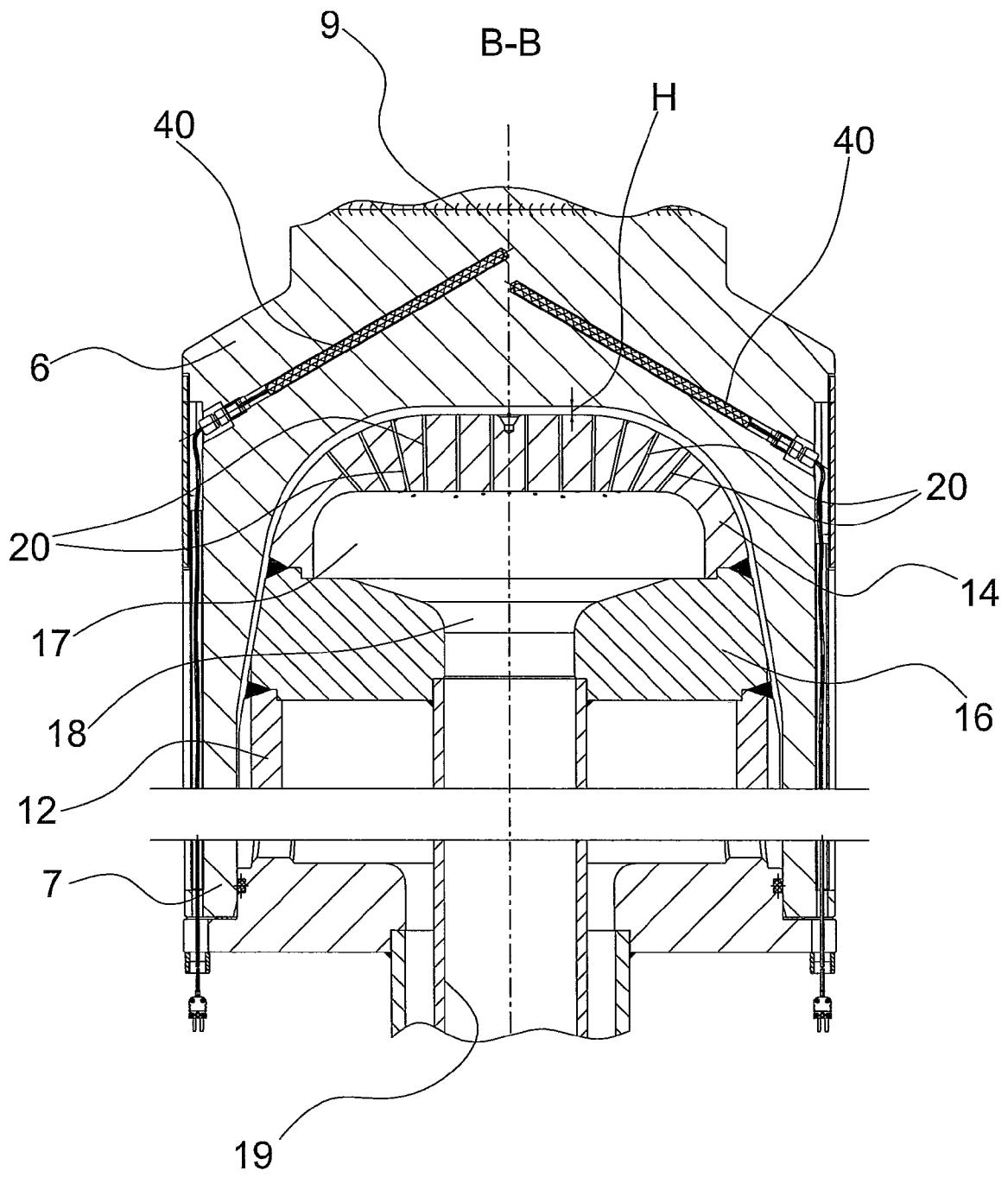


图 4

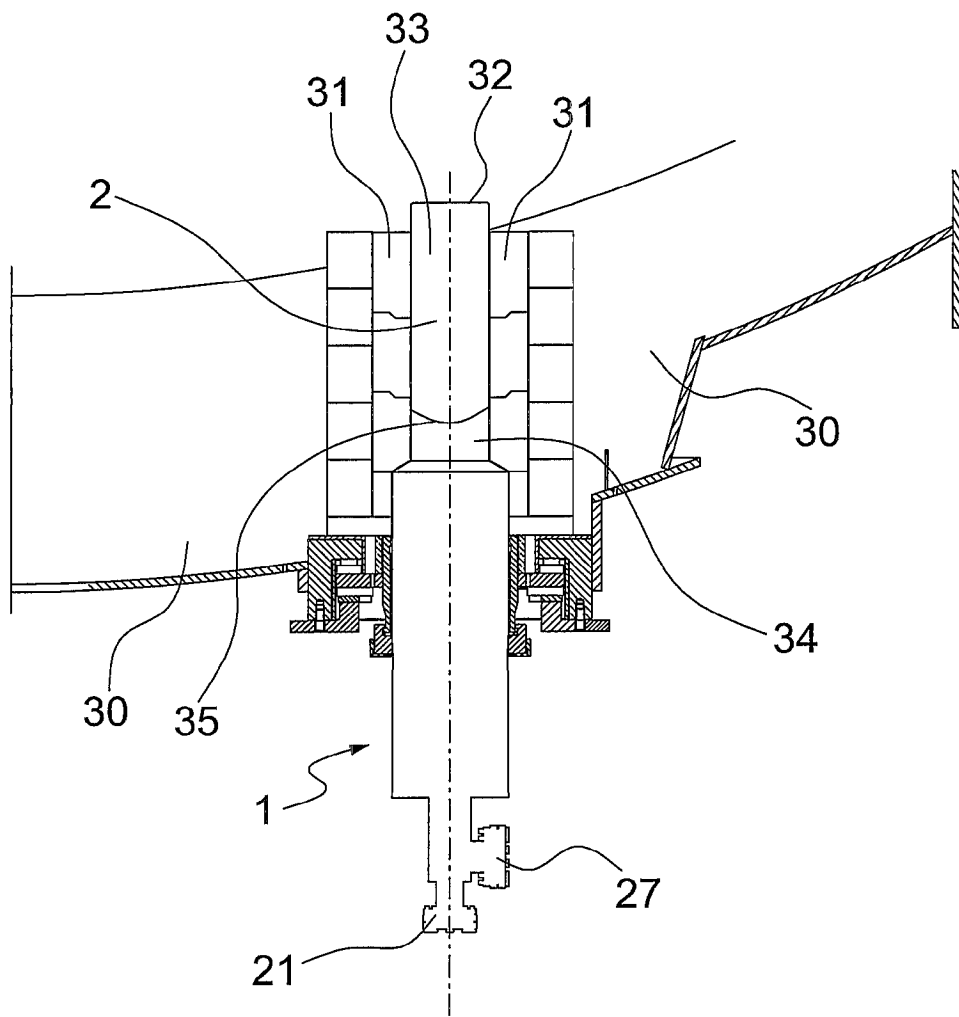


图 5

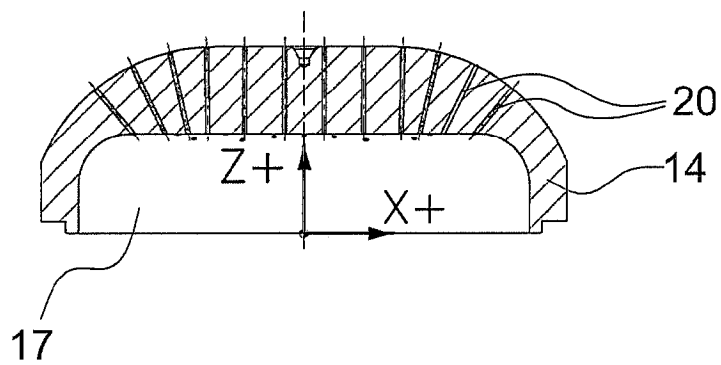


图 6a



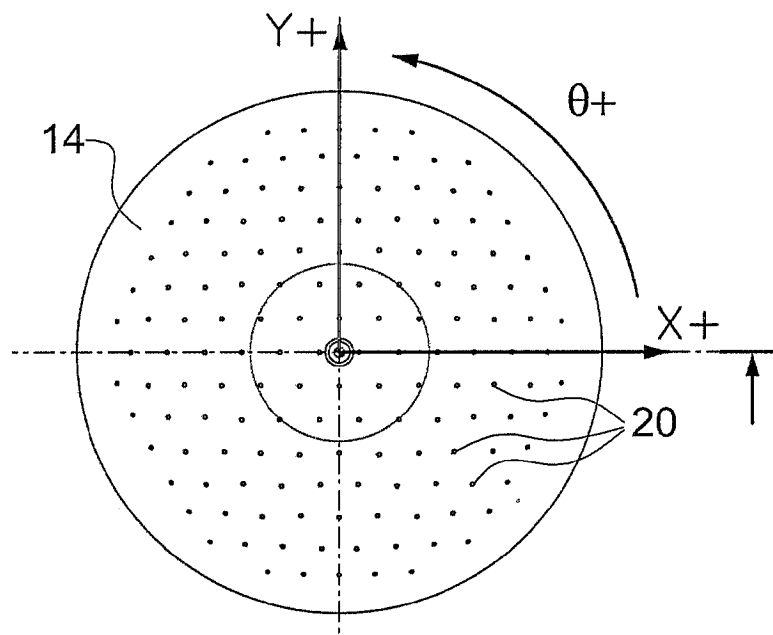


图 6b