



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116793066 A

(43) 申请公布日 2023. 09. 22

(21) 申请号 202211505277.0

(22) 申请日 2022.11.29

(71) 申请人 冯良荣

地址 610016 四川省成都市龙泉驿区十陵
街道明蜀新村C区

(72) 发明人 冯良荣 甘亚

(51) Int. Cl.

F27B 7/02 (2006.01)

F27B 7/22 (2006.01)

F27B 7/20 (2006.01)

F27B 7/33 (2006.01)

F27B 7/30 (2006.01)

B30B 11/12 (2006.01)

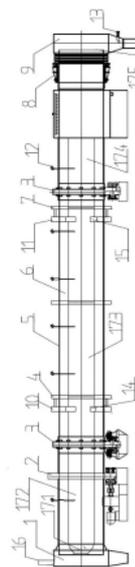
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种用于碳热还原反应的成套装置

(57) 摘要

一种用于碳热还原反应的成套装置,用于生产钒氮合金、氮化钒铁、还原铁、氮化铬铁等产品,其包括对辊压球机和直热式回转窑。对辊压球机轧辊上的半球窝模具的一部分或者全部为弹性材料制成。直热式回转窑包括回转管、回转管内部的耐材、窑头箱和窑尾箱等部件。耐材围成的圆柱形或者棱柱形的内腔为窑膛。窑膛被分为预热段、加热段和降温段。在加热段的两端设置有正负电极。在所述的窑膛内壁上设有高度1cm以上的凸起。本发明的优点是提高了窑膛内部物料的填充率、降低了加热电源的电压,提高了直热式回转窑产能、降低能耗。



1. 一种用于碳热还原反应的成套装置,其包括对辊压球机和直热式回转窑,其特征在于:对辊压球机的轧辊上的半球窝模具有一部分或者全部为弹性材料;

所述的直热式回转窑包括回转管、回转管内部的耐材、窑头箱和窑尾箱;耐材围成的长条形的内腔为窑膛;窑膛分为预热段、加热段和降温段;在加热段的两端设置有正负电极,加热电源在正极和负极上外接加热电源,通过电极与回转窑内部被加热的物料接触,电流经由正极流经物料再到负极,使得物料自身作为电阻发热,以完成对物料的加热;在所述的窑膛内壁上设有高度1cm 以上的凸起,形成炒料槽或挡料环,或者形成炒料槽和挡料环;回转管与窑头箱和窑尾箱之间转动密封连接;在窑尾箱上设置有进气口;

碳热还原反应的固体原料经过所述的对辊压球机压球成型后,经过直热式回转窑的窑头箱进入窑膛、依次经过预热段、加热段和降温段,然后从窑膛出料口掉落到窑尾箱中;

碳热还原反应的气体原料或者保护性气体从窑尾箱上的进气口进入窑尾箱,依次经过窑膛降温段、加热段和预热段,然后撤出窑膛。

2. 根据权利要求1所述的一种用于碳热还原反应的成套装置,其特征在于:所述的弹性材料为橡胶。

3. 根据权利要求1所述的一种用于碳热还原反应的成套装置,其特征在于:所述的弹性材料为聚氨酯橡胶。

4. 根据权利要求1~3中任意一项所述的一种用于碳热还原反应的成套装置,其特征在于:在所述的窑膛出料口设置有挡料板;碳热还原反应的固体原料经过所述的对辊压球机压球成型后,经过直热式回转窑的窑头箱进入窑膛、依次经过预热段、加热段和降温段,然后从窑膛出料口越过挡料板后掉落到窑尾箱中暂存。

5. 根据权利要求1~4中任意一项所述的一种用于碳热还原反应的成套装置,其特征在于:所述的加热电源为可调直流电源,其最大输出电压为 U_{max} 伏特,最大输出电流为 I_{max} 安培;有电压值 U_1 在 $0 \sim U_{max}$ 伏特之间,有电流值 I_1 在 $0 \sim I_{max}$ 安培之间;所述的直热式回转窑在工作时,加热电源在保持装机功率不变的前提下,其输出可在两档电压电流范围之间切换;两档电压电流范围分别为高电压低电流档和低电压大电流档;在高电压低电流档时,输出电压可调范围为 $0 \sim U_{max}$ 伏特,输出电流可调范围在 $0 \sim I_1$ 安培;在低电压大电流档时,输出电压可调范围为 $0 \sim U_1$ 伏特,输出电流可调范围为 $0 \sim I_{max}$ 安培。

6. 根据权利要求1~4中任意一项所述的一种用于碳热还原反应的成套装置,其特征在于:在所述的窑膛加热段有一根或多根热电偶,其沿回转管径向方向穿过回转管并插入耐材中或者穿过耐材,并靠近窑膛壁;热电偶测得的温度数据模拟量被固定在回转管圆周面外面的温度变送器进行模数变换后无线传送到所述的加热电源的控制柜,用于温度的显示和对加热电源输出功率的控制。

7. 根据权利要求1~4中任意一项所述的一种用于碳热还原反应的成套装置,其特征在于:其用作高温碳热还原反应和/或高温氮化反应的成套设备,所述的反应包括以下反应过程:

R1 . 氧化钒与碳质还原剂在高温和氮气气氛下碳热还原氮化生产钒氮合金;

R2 . 氧化钒、铁和/或氧化铁、碳质还原剂在高温和氮气气氛下碳热还原氮化生产氮化钒铁;

R3 . 氧化铁和/或铁矿和碳质还原剂和/或氢气在高温和隔绝空气的情况下反应生产

还原铁、海绵铁、氮化铁或铁碳化合物或混合物；

R4: 氧化铬和碳质还原剂在高温和氮气气氛下碳热还原氮化生产氮化铬和/或碳化铬；

R5: 高碳铬铁和氧化铬和/或氧化铁在高温和氮气气氛下碳热还原氮化生产微碳氮化铬铁；

R6: 钛氧化物在高温和氮气气氛下碳热还原氮化生产碳氮化钛；

R7: 用石油焦和/或沥青在高温下碳化和/或石墨化生产二次电池电极石墨；

R8: 二氧化硅和碳质还原剂在高温下碳热还原生产金属硅、碳化硅或者在氮气气氛下生产氮化硅和/或碳氮化硅；

R9: 钛氧化物、铝氧化物和碳质还原剂在高温下碳热还原制备碳氮化铝钛材料, 其为MAX相材料的一种。

一种用于碳热还原反应的成套装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种高温碳热还原反应的成套装置,属于高温设备技术领域。

背景技术

[0002] 回转窑是化工、材料、甚至医药行业重要的加热煅烧设备,应用非常广泛。本发明人提交的中国专利CN112880389A披露了一种用于碳热还原反应的直热式回转窑,为一种将电源通过电极直接馈入回转窑内的被加热的固体物料(也即回转窑所处理的物料,以下简称物料),电流从加热电源经正极流经物料、返回负极再回到加热电源,利用物料电阻使得物料自身直接发热的电加热回转窑(下称直热式回转窑)。窑膛(紧靠回转管内壁的耐材构成的近似圆柱形的内腔,即回转管内物料所能到达的地方)内的物料一般随着回转管的旋转而旋转和/或翻滚,并且由于回转窑的回转管一般与水平面有一个倾角,物料也会在旋转过程中沿回转管轴向前进,也即回转窑内的物料是螺旋前进的。回转窑窑膛沿回转管轴向方向被分为预热段(或升温段)、加热段(或高温段)、降温段(或冷却段),物料依次经过预热段、加热段、冷却段然后出窑。一般说来,回转窑在制作过程中,处于回转管内部的正负电极之间的距离已经固定,也就是说正负极之间的距离已经固定,进一步就固定了作为发热电阻的加热段物料的长度。加热段物料的横截面积则会随着窑膛中物料的填充率的增加而增加(回转窑填充率一般定义为回转窑内物料体积与回转窑窑膛体积之比),提高直热式回转窑的填充率,或者说提高加热段的填充率,就可以提高直热式回转窑的产能(即单位时间的产量)。

[0003] 一般的非直热式的回转窑,受传热限制的影响,其物料填充率,特别是加热段的填充率很少有大于20%的。而作为直热式回转窑,窑膛内的物料自身直接发热,省却了热量从回转管内壁或者窑膛内气氛传递到物料的过程,可以在保持物料流量增加时增加加热段物料填充率,提高回转窑产能,降低单位产品的能耗(因为无论产能大小,只要温度相同,同一回转窑通过回转管向周围环境的散热量基本上是一定的,产能大,则单位产品分摊的这个热损失就小),当然也提高了生产效率。一般直热式回转窑在运转过程中,填充率都控制在25%以上,最好控制在50%左右,对流动性好、结块不严重的物料,可以控制在70%甚至更高,提高设备产能至少一倍以上。

[0004] 虽然发明人研究直热式回转窑的初衷是以更低的能耗更高的效率生产氮化钒或钒氮合金,但是经过近年来的改进和对其它原料和产品的接触,发现不同碳热还原反应,就是一般采用金属氧化物和碳质还原剂进行高温加热还原和/或氮化的反应,都有一个共同特点,反应过程中固体原料中大量的氧和碳生成一氧化碳气体后,固体原料由于质量减少,且伴随后续的高温收缩密度变大,体积往往减少一半甚至四分之三或者更多。而采用直热式回转窑作为碳热还原反应的反应器时,回转窑在安装完成后,其窑膛结构也即窑型也随即固定,回转管的倾斜率(回转管轴线与水平面的夹角)也同时固定,其对物料在其中的前进速度的影响也固定了。在物料在反应过程中体积大幅减小和回转窑窑型和倾斜率固定这两个因素的影响下,体积未减小的物料(下称左端物料)和体积减小的物料(下称右端物料)

的体积流速相差不大的情况下,流速的速控步骤必然是左端物料的体积流速。也就是左端物料的体积流速即使比右端物料的体积流速大,左端物料的体积流速也满足不了右端物料体积流速的要求,这导致了右端物料所在的窑膛段填充率大幅降低。

[0005] 实际生产实践中,由于上述右端物料在回转窑中经过高温收缩和更长时间的运动,比左端物料更加光滑和密度更大,更加有利于增加其体积流速。另外,直热式回转窑加热段温度比较高,一般都在1000℃以上,高温下的挥发性组份会随气相流动到预热段,随着温度降低,其在预热段的某一段沉积形成结圈,就是回转窑中常见的结圈现象,该结圈又会进一步降低左端物料的体积流速。

[0006] 因此,碳热还原反应中上述左端物料的流速成为阻碍窑膛中物料填充率特别是加热段填充率的限制性控制因素,是一个流速瓶颈。这大大降低了直热式回转窑的物料填充率、限制了回转窑预热段的长度(预热段越长、对物料流动的阻力越大)、降低了其设备产能,增加了控制较高填充率的困难。虽然发明人在CN112880389A专利申请中采用了多种技术方案来提高直热式回转窑中加热段物料的填充率和左端物料的前进速度,也遇到控制困难、物料流速和填充率很难兼顾、需要针对不同物料和不同体积收缩比例对直热式回转窑各种结构参数进行研究和调整等问题。

[0007] 采用直热式回转窑进行碳热还原反应,将固体原料压块成型,有利于提高固体原料的导电性、改善反应过程中的传热传质过程、提高回转窑窑膛中物料的前进速度。但是,现有的各种压球机或者其它类型的成球机,都有各自的缺点。

[0008] 常用的球团造球机,其在成球过程中粉状原料需要不停的滚动,而金属氧化物密度往往比碳质还原剂大,粉料滚动过程中,容易使得这二者分离。并且其成球的球强度比较低。当然其优点是成型的球圆整度比较好、设备产能大。

[0009] 等静压或者准等静压压球机,操作压力大成型的料球强度高,但设备价格高、产能小、操作程序繁复,不能满足碳热还原反应的要求。

[0010] 对辊压球机,其产能大、自动化程度高操作简单、设备价格较低,得到广泛使用。但是由于要兼顾脱模的难易,其一对轧辊模具上的半球窝的深度或者说半球窝的深度与宽度的比例受到限制,如果半球窝太深,则不易脱模。因此一般球窝的深度都做得比较浅,压出的料球圆整度很差,甚至接近为圆饼形状或者双四棱锥形状。这样形状的料球的料堆安息角比较大,在回转窑中流动困难,前进的速度较低。

[0011] 就发明人所知,还没有一种设备价格低、产能大、成型的料球圆整度好、成型的料球强度高、自动化程度高、操作工序简单的压球机。

[0012] 综上所述,虽然直热式回转窑用于碳热还原反应具有巨大的优势,但是只靠直热式回转窑的改进来提高其窑膛中物料的填充率、并且兼顾提高物料的体积流速非常困难,需要结合对压球机的改进来达到兼顾提高填充率和提高物料体积流速的目的。

发明内容

[0013] 发明的目的:在碳热还原中,提高直热式回转窑高窑膛中前述左端物料的体积流速、兼顾窑膛中固体物料足够高的填充率、提高窑膛中全部固体物料的体积流速、降低回转窑运转时回转管的转速、适应不同的碳热还原反应中不同原料的不同的体积收缩率;在提高左端物料体积流速的前提下,在直热式回转窑窑膛中设置预热段或者延长预热段的长

度;通过以上目的最终达到进一步提高直热式回转窑的电热效率、简化回转窑结构参数的调整、简化回转窑运行控制难度、提高回转窑运行稳定性、提高设备产能、降低粉尘产生量。

[0014] 本发明的目的是这样实现的:本发明在总结本发明人之前制造和使用直热式回转窑进行碳热还原反应的经验基础上,对碳热还原装置中的对辊压球机进行了改进,提高了其成型原料球的圆整度,降低对直热式回转窑的各种结构参数的调整难度并提高了其运行稳定性。

[0015] 本发明的具体技术方案如下:

一种用于碳热还原反应的成套装置,其包括对辊压球机和直热式回转窑,其特征在于:对辊压球机的轧辊上的半球窝模具有一部分或者全部为弹性材料。由于在轧辊模具的半球窝模部位采用弹性材料,可以将半球窝做得比较深,并且其压球时在压力作用下半球窝底部的弹性材料变形并扩展变薄使得半球窝深度进一步增加,使得压制的料球圆整度得以提高。在压力消失的时候,弹性材料回弹,自然将压制的料球脱模弹出球窝,有利于料球的脱模。

[0016] 所述的直热式回转窑包括回转管、回转管内部的耐材、窑头箱和窑尾箱;耐材围成的长条形的内腔为窑膛;窑膛分为预热段、加热段和降温段;在加热段的两端设置有正负电极,加热电源在正极和负极上外接加热电源,通过电极与回转窑内部被加热的物料接触,电流经由正极流经物料再到负极,使得物料自身作为电阻发热,以完成对物料的加热;在所述的窑膛内壁上设有高度1cm 以上的凸起;回转管与窑头箱和窑尾箱之间转动密封连接;在窑尾箱上设置有进气口。窑膛内壁上的凸起一般由耐材构成,凸起组成炒料槽和/或者挡料环。在原料球圆整度提高的情况下,炒料槽不但有提高窑膛中原料球料位高度、提高填充率的作用,还有翻炒原料球料堆、防止原料球料堆整体滑动的作用。挡料环则可以缩小窑膛有效内径,提高其与窑膛进料口之间物料的填充率。

[0017] 碳热还原反应的固体原料经过所述的对辊压球机压球成型后,经过直热式回转窑的窑头箱进入窑膛、依次经过预热段、加热段和降温段,然后从窑膛出料口掉落到窑尾箱中暂存。由于原料球圆整度提高,设置预热段或者加长预热段的长度对左端物料的体积流速影响较小。物料经过预热段后温度得以升高,并且被部分还原,获得了较好的导电性。

[0018] 碳热还原反应的气体原料或者保护性气体从窑尾箱上的进气口进入窑尾箱,然后依次经过降温段、加热段和预热段撤出窑膛。

[0019] 进一步的是所述的弹性材料为橡胶或者优选为聚氨酯橡胶。

[0020] 进一步的是,在所述的窑膛出料口设置有挡料板;碳热还原反应的固体原料经过所述的对辊压球机压球成型后,经过直热式回转窑的窑头箱进入窑膛、依次经过预热段、加热段和降温段,然后从窑膛出料口越过挡料板后掉落到窑尾箱中暂存。在窑膛出料口设置挡料板,减小窑膛出料口的有效内径,使得该处成为固体物料体积流速的瓶颈,使得前述左端物料的体积流速跟得上右端物料的体积流速的需求。进一步在保持或者降低回转管转速的情况下使得直热式回转窑窑膛中物料的填充率达到要求的高度。

[0021] 进一步的是,所述的加热电源为可调直流电源,其最大输出电压为 U_{max} 伏特,最大输出电流为 I_{max} 安培;有电压值 U_1 在 $0 \sim U_{max}$ 伏特之间,有电流值 I_1 在 $0 \sim I_{max}$ 安培之间;所述的直热式回转窑在工作时,加热电源在保持装机功率不变的前提下,其输出可在两档电压电流范围之间切换;两档电压电流范围分别为高电压低电流档和低电压大电流档;在

高电压低电流档时,输出电压可调范围为 $0 \sim U_{\max}$ 伏特,输出电流可调范围在 $0 \sim I_1$ 安培;在低电压大电流档时,输出电压可调范围为 $0 \sim U_1$ 伏特,输出电流可调范围为 $0 \sim I_{\max}$ 安培。

[0022] 在所述的窑膛加热段有一根或多根热电偶,其沿回转管径向方向穿过回转管并插入耐材中或者穿过耐材,并靠近窑膛壁;热电偶测得的温度数据模拟量被固定在回转管圆周面外面的温度变送器进行模数变换后无线传送到所述的加热电源的控制柜,用于温度的显示和对加热电源输出功率的控制。

[0023] 进一步的是,本发明所述的成套装置,其用作高温碳热还原反应和/或高温氮化反应的成套设备,所述的反应包括以下反应过程:

R1 .氧化钒与碳质还原剂在高温和氮气气氛下碳热还原氮化生产钒氮合金;

R2 .氧化钒、铁和/或氧化铁、碳质还原剂在高温和氮气气氛下碳热还原氮化生产氮化钒铁;

R3 .氧化铁和/或铁矿和碳质还原剂和/或氢气在高温和隔绝空气的情况下反应生产还原铁、海绵铁、氮化铁或铁碳化合物或混合物;

R4:氧化铬和碳质还原剂在高温和氮气气氛下碳热还原氮化生产氮化铬和/或碳化铬;

R5:高碳铬铁和氧化铬和/或氧化铁在高温和氮气气氛下碳热还原氮化生产微碳氮化铬铁;

R6:钛氧化物在高温和氮气气氛下碳热还原氮化生产碳氮化钛;

R7:用石油焦和/或沥青在高温下碳化和/或石墨化生产二次电池电极石墨;

R8:二氧化硅和碳质还原剂在高温下碳热还原生产金属硅、碳化硅或者在氮气气氛下生产氮化硅和/或碳氮化硅。

[0024] R9:钛氧化物、铝氧化物和碳质还原剂在高温下碳热还原制备碳氮化铝钛材料,其为MAX相材料的一种。

[0025] 与现有技术相比,采用本发明的技术方案具有如下的优点:

1) 通过将辊压球机的轧辊上的半球窝模具的一部分或者全部替换为弹性材料,获得圆整度较高的原料球,并且压球时料球容易脱模,并且同时保持了对辊压球机的产能、自动化程度和操作稳定性。

[0026] 2) 通过将辊压球机的轧辊上的半球窝模具的一部分或者全部替换为弹性材料,获得圆整度较高的原料球。在碳热还原反应中,即使在反应过程中物料体积大幅缩小的情况下,其提高了原料球在直热式回转窑窑膛中的体积流速,使得前述左端物料的体积流速跟得上右端物料体积流速的需要。提高了窑膛中的物料的填充率,并可使回转管在较低的转速下运行。

[0027] 3) 由于原料球圆整度的提高,在窑膛预热段结圈的情况下,原料球在结圈处也能够保持足够的体积流速以满足前述右端物料体积流速的要求。保持了回转窑运行的稳定性,延长了因此导致的回转窑的检修间隔时间。

[0028] 4) 由于原料球圆整度的提高,提高了前述左端物料的体积流速,使得整体物料的体积流速瓶颈移动到挡料环或者挡料板处,从而简化了窑膛中物料的填充率的控制、简化了回转管转速与窑膛出料口固体物料体积流速的对应关系。在加热能力足够和保持最低反

应时间要求的情况下,可以方便的用回转管的转速控制回转窑的产量。

[0029] 5) 由于原料球圆整度的提高,回转管在较低的转速下也能够提供足够的固体物料的体积流速,因此降低了物料的磨损程度,降低了窑膛中粉尘的产生和扬尘,降低了粉尘回收和扬尘治理的压力。

[0030] 6) 由于原料球圆整度的提高,提高了前述左端物料的体积流速,较长的窑膛预热段长度对左端物料的体积流速影响较小,可以设置较长的预热段长度,提高预热段热交换效果,降低撤出预热段的气体温度,提高从预热段进入加热段的固体物料的温度,提高进入加热段的固体物料的预还原程度。

[0031] 7) 由于原料球圆整度的提高,提高了前述左端物料的体积流速,可以降低回转管的倾斜率,提高回转窑运行安全性和寿命。

[0032] 8) 由于原料球圆整度的提高,减少了料球的边缘和棱角,降低了在窑膛中原料球边缘和棱角的磨损率,降低了细粒度料的比例。对于要求产品粒度较大的产品,降低了回返细粒度料的比例,提高了生产效率。

[0033] 9) 由于原料球圆整度的提高,兼顾调整回转窑结构参数、窑膛物料填充率、回转管转速、进出料速度变得相对简单,使得制造更大规模的碳热还原反应直热式回转窑,扩大生产规模,在技术上变得相对简单。

[0034] 采用本发明的技术方案进行所述的碳热还原反应,生产稳定可靠,提高了所述的碳热还原反应的产量,使得工艺过程环保、高效、节能、自动化程度高,生产成本和劳动强度降低。

附图说明

[0035] 图1是实施例1直热式回转窑示意图图。

[0036] 图2是实施例1直热式回转窑的回转管由出料端到进料端方向的正视图示意图,左上部分局部剖视。

[0037] 图3是实施例1对辊压球机的球窝模具示意图。

[0038] 实施例1

图1和图2为实施例1的示意图。如图1所示,所述的直热式回转窑,其用作金属氧化物等原料碳热还原和/或氮化反应的反应器,包括窑头箱1、窑头箱尾气出口16、驱动轮2、承重轮3、一组两个正极14、回转管5、耐材6、一组两个负极15、6支k分度热电偶12、窑尾箱与回转管之间的转动密封连接8、窑尾箱9和窑尾箱上的进气口13。耐材6同时起到耐火、保温和绝缘的作用,要求加热段与物料接触的耐材的电阻比物料大。耐材6围成的一个近似圆形、与回转管接近等长的内腔称为窑膛17。窑膛17按照物料经过的先后顺序,依次分为窑膛进料口171、预热段172、加热段173、降温段174、窑膛出料口175。其余细节未示出。

[0039] 如图2所示,直热式回转窑的耐材6由高低两个规格的耐材602和601组成。在回转管径向方向上,耐材602比601更加突出于窑膛内,突出高度为3cm,形成炒料槽。在回转窑转动时,其可以防止物料在窑膛壁上滑动,抬高物料的料位。在窑膛出料口处设置一块挡料板19,或者在窑膛出料口处连接一段筛孔管25、在筛孔管的出料口处设置一块挡料板19。挡料板19在图2中的右上边缘与水平面的夹角设置为 20° 。由图2中还可以看到,环状的负极15比周围的耐材601和602在面向回转管中心轴的方向上都高,形成挡料环。

[0040] 如图3所示的对辊压球机的球窝模具的剖视示意图。子图B为子图A的局部放大图。轧辊钢模具1为一个圆环结构,其外圆柱面规则排列有一系列的半球窝。驱动钢模具转动的轴装配到其内圆中。在半球窝里面有聚氨酯橡胶材质的模具2。模具2覆盖钢模具1的半球窝的底部,构成半球窝模具的一部分。一台对辊压球机有两个钢模具1,其旋转轴在水平面上平行并排排列,其圆柱面彼此分开0到数毫米,并且一个钢模具的半球窝开口面对准另外一个钢模具的半球窝的开口面。两个正对的半球窝合成一个近似的球形。两个将要正对的半球窝将其上方的固体物料随着对辊的向下旋转剝入半球窝并在两个半球窝正对时完成挤压过程。此时半球窝底部的橡胶较厚处的橡胶会向四周较薄处延展,使得半球窝底部变深,并且两个半球窝围成的固体物料近似球形。随着一对轧辊继续向下旋转,压力逐步消失,橡胶回弹并将球弹出,完成压球过程。

[0041] 压制得到的原料球接近球形,圆整度较好,单个原料球长径大小~4.0cm,短径大小~3.5cm。原料球料堆安息角 $<15^{\circ}$ 。直热式回转窑窑膛壁有耐材凸起构成的深度~3cm的炒料槽,在回转管转速为0.2转/分钟时,窑膛中原料料球的料堆斜面与水平面的夹角小于 20° 。

[0042] 作为对比,采用现有的对辊压球机压制的原料球,形状近似为底部为正方形的两个四棱锥在正方形的一面扣拢形成的双四棱锥。原料球安息角 $>30^{\circ}$,在 35° 左右。在上述同样的回转窑条件下,料堆斜面与水平面的夹角约为 40° 。

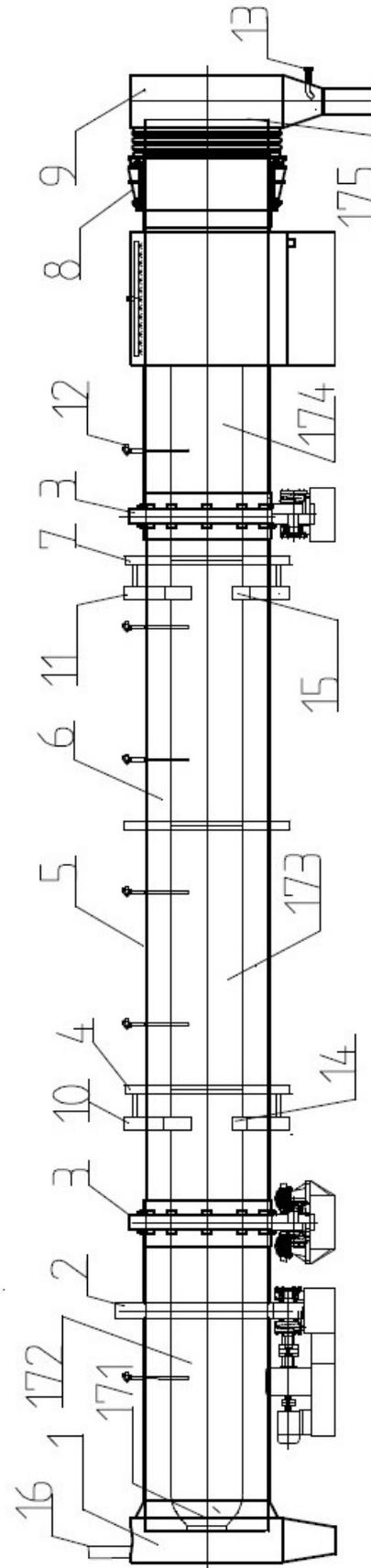


图1

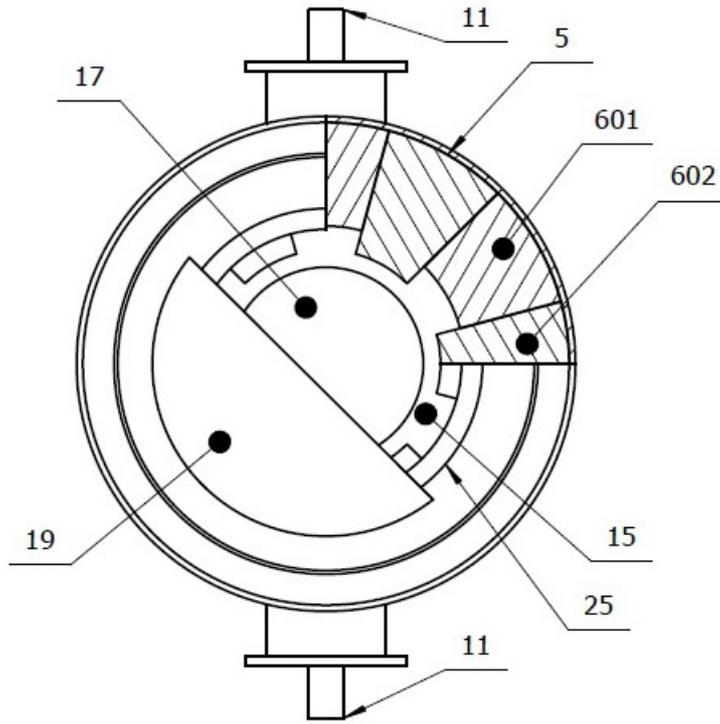


图2

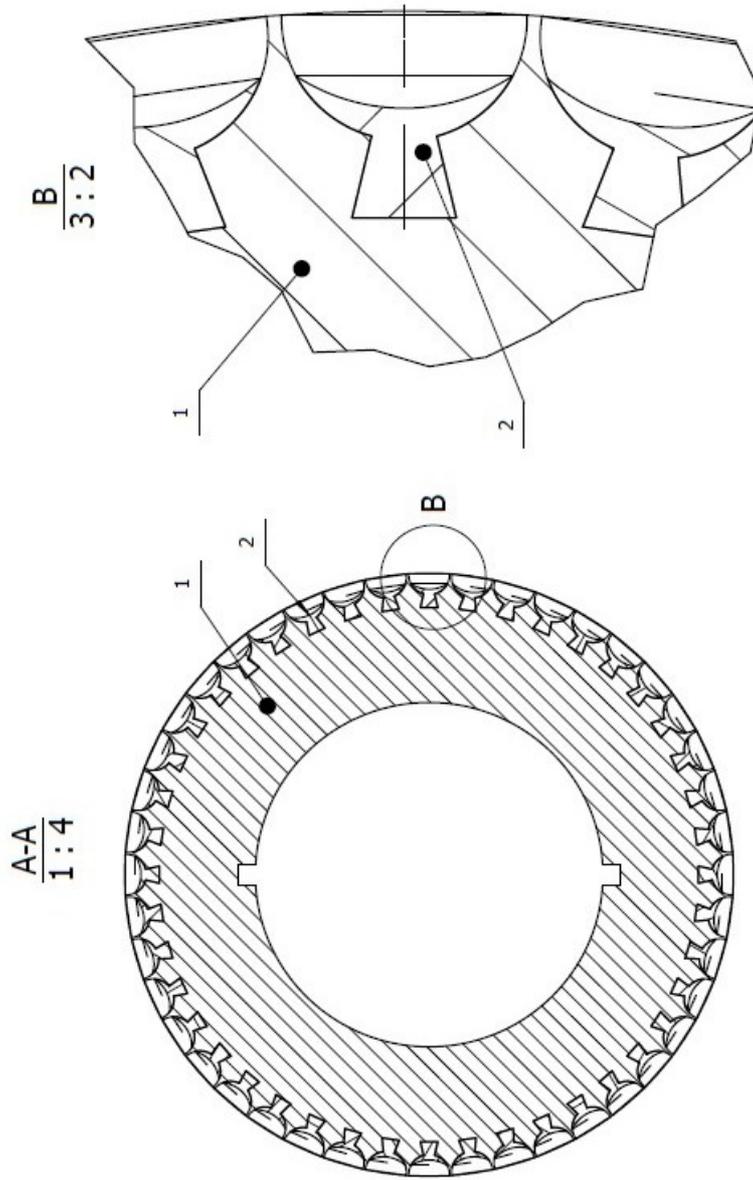


图3