



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104745757 B

(45)授权公告日 2017.06.16

(21)申请号 201310740483.4

(22)申请日 2013.12.27

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104745757 A

(43)申请公布日 2015.07.01

(73)专利权人 中冶长天国际工程有限责任公司

地址 410007 湖南省长沙市劳动中路1号

(72)发明人 贺新华 胡兵 王兆才 孙英

储太山 向锡炎

(74)专利代理机构 湖南兆弘专利事务所(普通

合伙) 43008

代理人 赵洪

(51)Int.Cl.

G21B 13/10(2006.01)

(56)对比文件

US 5989019 A,1999.11.23,全文.

KR 2001-0049329 A,2001.06.15,全文.

CN 1754966 A,2006.04.05,说明书第1页倒
数第1段,第2页第1、4段.

CN 1403595 A,2003.03.19,全文.

CN 103447148 A,2013.12.18,全文.

CN 103237904 A,2013.08.07,全文.

CN 101358257 A,2009.02.04,全文.

CN 101457269 A,2009.06.17,全文.

CN 102978320 A,2013.03.20,全文.

CN 103290159 A,2013.09.11,全文.

审查员 赵重阳

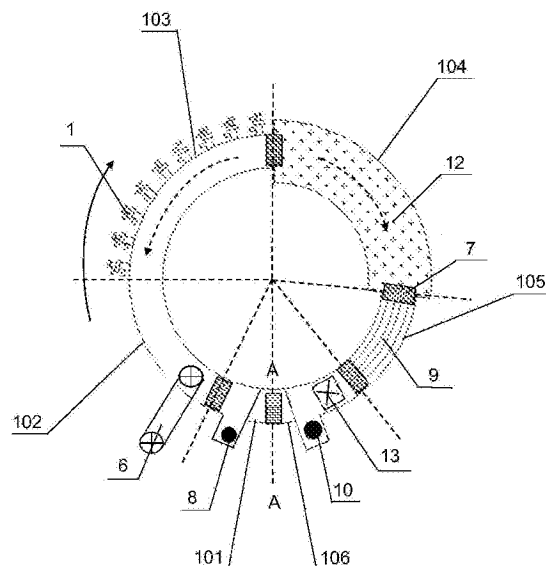
权利要求书2页 说明书7页 附图11页

(54)发明名称

一种微波燃料联合供热式煤基直接还原方法
及转底炉

(57)摘要

本发明公开了一种微波燃料联合供热式煤基直接还原方法及转底炉,该方法为:物料经过干燥和预热进入还原作业,先利用燃料燃烧的方式对物料进行还原,然后采用微波辐射的方式对物料进行进一步还原;金属氧化物还原为金属所需的还原剂来自于物料中的固定碳。该转底炉为基于上述方法的设备。本发明具有结构简单、成本低廉、金属化率高、易实现和推广应用等优点。



1. 一种微波燃料联合供热式煤基直接还原方法,其特征在于,物料(3)经过干燥和预热进入还原作业;先利用燃料燃烧的方式对物料(3)进行还原,然后采用微波辐射的方式对物料(3)进行进一步还原;金属氧化物还原为金属所需的还原剂来自于物料(3)中的固定碳;在采用燃料燃烧方式进行还原时,利用烧嘴(1)燃烧燃料供热,产生的高温烟气对所述物料(3)进行加热并还原,还原温度为900~1250℃;在采用微波辐射方式进行还原时,由微波辐射供热,对所述物料(3)进行加热和催化还原,还原温度为950~1300℃。

2. 一种微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,包括转动的炉床(2)和炉罩(4),其特征在于,沿着所述炉床(2)的转动方向依次形成布料段(101)、干燥预热段(102)、燃料燃烧还原段(103)、微波辐射还原段(104)和排料段(106);于所述燃料燃烧还原段(103)设有烧嘴(1),于所述微波辐射还原段(104)设有用来产生微波辐射(12)的微波辐射组件。

3. 根据权利要求2所述的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,其特征在于,在所述排料段(106)中靠近微波辐射还原段(104)的一侧设有炉压控制装置(13),所述微波辐射还原段(104)的还原性气体流动方向与炉床(2)的转动方向相同,所述微波辐射还原段(104)处产生的还原性气体自炉压控制装置(13)排出。

4. 根据权利要求3所述的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,其特征在于,在干燥预热段(102)靠近布料段(101)的一侧设有烟囱(6),所述燃料燃烧的烟气自烟囱(6)排出。

5. 根据权利要求2所述的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,其特征在于,在燃料燃烧还原段(103)与微波辐射还原段(104)之间、微波辐射还原段(104)与排料段(106)之间均设有密封墙(7)。

6. 根据权利要求2所述的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,其特征在于,沿着所述炉床(2)的转动方向,在微波辐射还原段(104)与排料段(106)之间设置冷却段(105)。

7. 根据权利要求6所述的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,其特征在于,在所述排料段(106)中靠近冷却段(105)的一侧设有炉压控制装置(13),所述微波辐射还原段(104)的还原性气体流动方向与炉床(2)的转动方向相同,所述微波辐射还原段(104)产生的还原性气体自炉压控制装置(13)排出。

8. 根据权利要求6所述的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,其特征在于,在所述燃料燃烧还原段(103)与微波辐射还原段(104)之间、微波辐射还原段(104)和冷却段(105)之间均设有密封墙(7)。

9. 根据权利要求6所述的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,其特征在于,在所述干燥预热段(102)靠近布料段(101)的一侧设有烟囱(6),燃料燃烧所产生的烟气自烟囱(6)排出。

10. 根据权利要求2~9中任意一项所述的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,其特征在于,在所述干燥预热段(102),炉床(2)上的物料(3)由炉床(2)的余温和燃料燃烧的烟气余热加热至600~900℃;在所述燃料燃烧还原段(103),由所述烧嘴(1)燃烧燃料供热,产生的高温烟气对物料(3)进行加热并还原,还原温度为900~1250℃;在所述微波辐射还原段(104),由微波辐射(12)供热,对所述物料(3)进行加热和催化还原,加热过程产生还原性气体,还原温度为950~1300℃;所述燃料燃烧的烟气流动方向与炉床(2)的运转方向相反。

11. 根据权利要求2~9中任意一项所述的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉, 其特征在于, 所述微波辐射还原段(104)的长度为对应圆心角占整个转底炉一周的 $10/360 \sim 60/360$ 。

12. 根据权利要求2~9中任意一项所述的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉, 其特征在于, 在所述布料段(101)和排料段(106)之间、布料段(101)和干燥预热段(102)之间、排料段(106)和微波辐射还原段(104)之间、排料段(106)和冷却段(105)之间均设置密封墙(7)。

一种微波燃料联合供热式煤基直接还原方法及转底炉

技术领域

[0001] 本发明主要涉及到煤基直接还原转底炉领域,特指一种采用燃料和微波的微波燃料联合供热式煤基直接还原方法及基于该方法的转底炉。

背景技术

[0002] 煤基直接还原转底炉技术是以煤为还原剂,在非软熔状况下将矿石物料中的金属氧化物还原成金属的一种方法。该方法不依赖于焦煤资源,相比传统钢铁生产流程,可大大减少污染物的排放,其产品可代替废钢作为电炉冶炼优质钢的原料。因此,该工艺市场前景广阔,是未来钢铁冶炼发展的主要方向之一。

[0003] 直接还原生产常用的方法有气基竖炉法、煤基链篦机-回转窑法、煤基转底炉法。气基竖炉法以天然气为还原剂,若用于天然气资源匮乏和价格昂贵的地区,直接还原生产成本过高。加之该技术投资过大,设备性能要求较高,推广受到了极大影响。煤基链篦机-回转窑法以煤为还原剂,对煤资源丰富的地区有很大的吸引力,但该技术对温度控制精度要求较高,生产中极易结窑、作业率较低,导致经常停产,其推广和应用处于停滞状态。煤基转底炉直接还原技术因转底炉设备构造简单、大型化难度小、不结窑、设备维护简单、投资相对较少等优点,被广泛应用于冶金和建材等行业。如钢铁厂用来加热钢坯的环形加热炉,其结构同转底炉相近,只是热工制度和工作原理有所差异。

[0004] 基于转底炉的以上优势,近年来国内外针对转底炉处理钢铁厂含锌粉尘,分离铁、锌、铅元素;处理黄土镍矿,提取镍金属;处理钒钛磁铁矿,提取钒、钛有价金属等进行了广泛的研究,并取得了一些突破性的进展。冶金界一致认为转底炉法是现有处理钢铁厂含锌粉尘较好的方法,能有效地分离粉尘中的铁、锌、铅等元素,很好地解决了锌富集引起高炉结瘤,缩短高炉寿命的问题,解决了粉尘堆存大量占用土地、污染环境的问题,解决了粉尘中有价金属难以回收和再利用的问题。但转底炉工艺实施过程中仍存在诸如产品金属化率低、产品质量不均匀等关键的技术问题,若能攻克以上问题,其发展前景将更为广阔。

[0005] 如图1和图2所示,分别为含冷却段的现有转底炉俯视图及展开图;如图3和图4所示,分别为无冷却段的现有转底炉俯视图及展开图。该转底炉技术是采用烧嘴1燃烧燃料来加热炉床2上的含碳的物料3。这种常规直接还原转底炉主要由转动的炉床2和上部炉罩4组成。炉罩4罩在转动的炉床2上,炉罩4与炉床2之间通过液密封或沙封的方式密封,以防止炉内外气流流窜和热量流失。炉床2根据其作业功能依次划分为布料段101、干燥预热段102、燃料燃烧还原段103、冷却段105(图1)、排料段106。在布料段101与干燥预热段102之间和排料段106与冷却段105之间,以及布料段101与排料段106之间均设有密封墙7。作为供热装置的烧嘴1设在位于燃料燃烧还原段103的炉罩4的内、外侧墙上,烧嘴1燃烧燃料产生高温烟气,满足直接还原反应温度所需的热量,炉内最低温度为800℃,最高温度达1300℃或更高。炉内燃料燃烧产生的烟气气流运动方向与物料3运行方向相反(物料3和炉床2的运行方向如图1、图3中实线所示的方向;烟气气流运行方向如图1、图3中虚线所示的方向),最终从设置在干燥预热段102的炉罩顶部靠近布料段一侧的烟囱6排放。物料3(俗称生球)由布料机8

均匀地铺设在转底炉转动的炉床2上,经过干燥、预热、还原等过程后,物料3中的水分、易挥发份被脱除,物料3中的固定碳将金属氧化物还原成金属。获得的高温还原产物由卸料机10排出转底炉(如图3),或经铺有冷却水管9的冷却段105冷却(如图1)后,由卸料机10排出转底炉,进入冷却器11或进入矿热炉进行加热熔分。

[0006] 该常规直接还原转底炉存在的主要问题有:

[0007] 1) 由于铺设在转动炉床2上的物料3的干燥、预热、还原所需的热量均来自于位于燃料燃烧还原段103的炉罩4内、外侧墙上的烧嘴1燃烧燃料所产生的高温烟气的辐射热,而物料3又具有一定的厚度,从而使得上部物料3加热快,下部物料3加热慢。物料3越厚,这种温度梯度就越明显。同时,只有物料3的温度达到一定值后,还原反应才可快速稳定进行。以上两方面的原因产生了转底炉对其产品的产量和质量(主要是还原率)难以兼顾的矛盾,即料层厚度一定时,产量与物料3在炉内的停留时间成反比,而还原率与物料3在炉内的停留时间成正比。这一矛盾造成了投资、运行成本、能耗、经济性、产品质量等一系列问题。就现有投入运行的一些转底炉生产实例来看,其单位处理能力的相对投资较大,为确保产品的金属化率符合电弧炉冶炼的要求,需大幅降低生产能力,这难以让企业所接受。正因如此,使得众多企业舍弃高金属化率的追求而确保一定的处理能力,导致出炉的产品金属化率较低,其产品只能作为高炉炉料,并且3毫米以下粉状物料只能返回烧结再造块。据现有生产数据统计,产品的金属化率均低于70%,3毫米以上成品率只有50%左右,锌回收率只有80%。由此可见,常规的转底炉技术还明显存在众多亟待解决的问题,否则将面临淘汰的危险。

[0008] 2) 常规转底炉技术存在的另一个重要问题是,即使让物料3在炉内停留足够长的时间,确保下层物料3的金属氧化物获得足够高的还原率,但由于燃料燃烧的烟气中含有大量的CO₂类氧化性气氛的气体,会将上部物料3中已还原的金属再次氧化。这也是现有转底炉热工制度下,产品金属化率不高的又一原因。深入研究发现,利用常规的加热方法很难解决以上问题,若采取燃料燃烧还原段103的后段不布设烧嘴的措施,以降低烟气中的氧化性气氛,则还原吸热和炉体散热将使炉温快速下降,导致产品金属化率仍无法进一步提高。因此,常规转底炉技术在热工制度上存在致命的缺陷,无法实现产量、金属化率双高的目标。

[0009] 3) 为了提供足够的热量、提高产品金属化率,往往要求传统转底炉还原段温度高于1300℃。炉床2在转动过程中,不断经历高温还原段和低温冷却段之间的温差冲击,导致炉床寿命减短。

[0010] 有从业者提出一种采用全微波方式的直接还原转底炉,如图5和图6所示,它利用一个或多个微波导管,将微波辐射12从微波发生器导入炉腔中,通过控制微波辐射的强度等级,使含碳的铁氧化物物料3加热到适中的温度并进行自还原,避免磷、硫和氧化硅的还原。但是,该方法目前未见相关深入研究和实际运用的报道。通过对该方式的深入分析可知,导致其难以付诸实施的主要问题有:

[0011] 1) 当物料3低于某温度时,微波辐射12与物料3之间的耦合作用较弱,微波辐射12对金属氧化物物料3的辐射加热速度较慢,热效率非常低。但在高温下,不仅微波自身辐射能力加强,而且会增强金属氧化物的活性,加快固定碳的气化反应,使得金属氧化物的还原温度降低,还原速率加快。因此,物料3并不是在所有温度条件下均适合采用微波辐射加热。结果说明全微波方式在炉温较低时,能效非常低,这将会导致产品生产成本变高。

[0012] 2) 全微波方式供热的转底炉装置,其投资成本比常规燃料燃烧供热转底炉装置的

投资成本要高出几十倍甚至几百倍,特别是在当今大功率微波加热装置价格非常昂贵的情况下,其投资无法为企业所能承受。而且,微波装置的寿命和维护成本对生产运行和经济性会产生极大的影响,也是全微微波难以实现工业化的又一原因。

[0013] 3)目前的全微波方式只是一个雏形,仅提供了一种概念,并未有与之匹配、能够工业化的完整设计,其中很多技术问题例如微波还原下的烟气排放、炉压控制等技术均未曾有过任何研究。

发明内容

[0014] 本发明要解决的技术问题就在于:针对现有技术存在的技术问题,本发明提供一种结构简单、投资和生产成本低、金属化率高、易实现和推广应用的微波燃料联合供热式煤基直接还原方法及基于该方法的转底炉。

[0015] 为解决上述技术问题,本发明采用以下技术方案:

[0016] 一种微波燃料联合供热式煤基直接还原方法,物料经过干燥和预热进入还原作业;先利用燃料燃烧的方式对物料进行还原,然后采用微波辐射的方式对物料进行进一步还原;金属氧化物还原为金属所需的还原剂来自于物料中的固定碳。

[0017] 作为本发明方法的进一步改进:在采用燃料燃烧方式进行还原时,利用烧嘴燃烧燃料供热,产生的高温烟气对所述物料进行加热并还原,还原温度为 $900\sim 1250^{\circ}\text{C}$;在采用微波辐射方式进行还原时,由微波辐射供热,对所述物料进行加热和催化还原,还原温度为 $950\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 。

[0018] 本发明进一步提供一种微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,包括转动的炉床和炉罩,其特征在于,沿着所述炉床的转动方向依次形成布料段、干燥预热段、燃料燃烧还原段、微波辐射还原段和排料段;于所述燃料燃烧还原段设有烧嘴,于所述微波辐射还原段设有用来产生微波辐射)的微波辐射组件。

[0019] 作为本发明装置的进一步改进:在所述排料段中靠近微波辐射还原段的一侧设有炉压控制装置,所述微波辐射还原段的还原性气体流动方向与炉床的转动方向相同,所述微波辐射还原段处产生的还原性气体自炉压控制装置排出。

[0020] 作为本发明装置的进一步改进:在干燥预热段靠近布料段的一侧设有烟囱,所述燃料燃烧的烟气自烟囱排出。

[0021] 作为本发明装置的进一步改进:在燃料燃烧还原段与微波辐射还原段之间、微波辐射还原段与排料段之间均设有密封墙。

[0022] 作为本发明装置的进一步改进:沿着所述炉床的转动方向,在微波辐射还原段与排料段之间设置冷却段。

[0023] 作为本发明装置的进一步改进:在所述排料段中靠近冷却段的一侧设有炉压控制装置,所述微波辐射还原段的还原性气体流动方向与炉床的转动方向相同,所述微波辐射还原段产生的还原性气体自炉压控制装置排出。

[0024] 作为本发明装置的进一步改进:在所述燃料燃烧还原段与微波辐射还原段之间、微波辐射还原段和冷却段之间均设有密封墙。

[0025] 作为本发明装置的进一步改进:作为本发明装置的进一步改进:在所述干燥预热段靠近布料段的一侧设有烟囱,燃料燃烧所产生的烟气自烟囱排出。

[0026] 作为本发明装置的进一步改进:在所述干燥预热段,炉床上的物料由炉床的余温和燃料燃烧的烟气余热加热至600~900℃;在所述燃料燃烧还原段,由所述烧嘴燃烧燃料供热,产生的高温烟气对物料进行加热并还原,还原温度为900~1250℃;在所述微波辐射还原段,由微波辐射供热,对所述物料进行加热和催化还原,加热过程产生还原性气体,还原温度为950~1300℃;所述燃料燃烧的烟气流动方向与炉床的运转方向相反。

[0027] 作为本发明装置的进一步改进:所述微波辐射还原段的长度为对应圆心角占整个转底炉一周的10/360~60/360。

[0028] 作为本发明装置的进一步改进:在所述布料段和排料段之间、布料段和干燥预热段之间、排料段和微波辐射还原段之间、排料段和冷却段之间均设置密封墙。

[0029] 与现有技术相比,本发明的优点在于:本发明的微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,结构简单、投资和生产成本低、金属化率高、易实现和推广应用;本发明的转底炉在物料处于低温状态时,采用烧嘴燃烧燃料进行加热并还原,从而避免了出现微波辐射与低温物料之间的耦合作用较弱、微波辐射对金属氧化物物料的辐射加热速度较慢、热效率非常低等问题。同时,当物料温度上升达到一定程度后,再通过微波辐射对其进行加热和催化还原,这就增强了金属氧化物的活性,加快了固定碳的气化反应速度,并使得金属氧化物的还原温度降低,还原速率加快。最终提高并保证了物料在转底炉内运行的全时段中整个转底炉设备的高效能,降低了运行成本。从另外一个角度来看,由于采用的是局部微波的方式,所以也大大降低了投资成本,降低了转底炉制造装配的难度,有利于实现工业化和市场推广应用。

附图说明

[0030] 图1是现有技术中含冷却段的传统转底炉的俯视结构示意图。

[0031] 图2是现有技术中含冷却段的传统转底炉的展开结构示意图。

[0032] 图3是现有技术中无冷却段的传统转底炉的俯视结构示意图。

[0033] 图4是现有技术中无冷却段的传统转底炉的展开结构示意图。

[0034] 图5是现有技术中全微波方式转底炉的俯视结构示意图。

[0035] 图6是现有技术中全微波方式转底炉的展开结构示意图。

[0036] 图7是本发明无冷却结构多段供热式转底炉的俯视结构示意图。

[0037] 图8是本发明无冷却结构多段供热式转底炉的展开结构示意图。

[0038] 图9是本发明含冷却结构多段供热式转底炉的俯视结构示意图。

[0039] 图10是本发明含冷却结构多段供热式转底炉的展开结构示意图。

[0040] 图11是随着温度升高的铁精矿介电常数变化趋势示意图。

[0041] 图12是随着温度升高的铁精矿磁导率变化趋势示意图。

[0042] 图例说明:

[0043] 1、烧嘴;2、炉床;3、物料;4、炉罩;5、车轮;6、烟囱;7、密封墙;8、布料机;9、冷却水管;10、卸料机;11、冷却器;12、微波辐射;13、炉压控制装置;101、布料段;102、干燥预热段;103、燃料燃烧还原段;104、微波辐射还原段;105、冷却段;106、排料段。

具体实施方式

[0044] 以下将结合说明书附图和具体实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0045] 电磁性能是体现材料与微波耦合作用能力的内因,材料的电磁性能决定了材料的微波加热特性,是材料能否被微波加热的根本。从材料本身的电磁性能出发,去研究影响材料吸收微波的能力,主要考查的因素有材料的复介电常数(介电常数实部 ϵ'_r 和虚部 ϵ''_r),因为在微波电磁场中,影响材料升温的主要是介电损耗。然而材料的电磁性能也会随着温度的变化、物相和结构等因素的改变而出现很大的变动。长期研究结果表明(如图11所示),当磁铁精矿放入微波场中加热时,在400℃以下,磁铁精矿的介电常数实部 ϵ'_r 和虚部 ϵ''_r 变化不大,而超过这一温度以后, ϵ'_r 和 ϵ''_r 迅速增大。根据公式(1)可知,随着温度升高,材料的升温速度加快,微波的作用效率提高。

$$[0046] \quad \frac{\Delta T}{t} = \frac{2\pi f(\epsilon_0 \epsilon''_{eff} E^2 + \mu_0 \mu''_{eff} H^2)V - q_{损}}{\rho CV} \quad (1)$$

$$[0047] \quad \epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon''_{eff} = \epsilon_0 (\epsilon' - j\epsilon'') \quad (2)$$

$$[0048] \quad \mu = \mu_0 \cdot \mu''_{eff} = \mu_0 (\mu' - j\mu'') \quad (3)$$

[0049] 式中, f 代表频率(Hz), ϵ' 代表介电常数实部, ϵ'' 代表介电常数虚部, E 代表电场强度大小, H 代表磁场强度大小, ϵ_0 是真空介电常数, ϵ''_{eff} 是有效的相对介电损耗因子, μ''_{eff} 是有效的相对磁损耗因子, ρ 是材料密度, C 是样品比热容, $q_{损}$ 是由于辐射、对流和传导而引起的热损失。

[0050] 如图12所示,当磁铁精矿放入微波场中加热时,在550~600℃以前,磁导率(磁导率的实部 μ'_r 和虚部 μ''_r)变化不大,超过600℃以后,磁导率接近零值,材料的磁性消失。对于磁铁精矿物料,当温度超过600℃后,介电损耗成为微波加热升温的主要方式。

[0051] 基于以上理论,本发明的一种微波燃料联合供热式煤基直接还原方法,步骤为:物料经过干燥和预热进入还原作业,先利用燃料燃烧的方式对物料进行还原,然后采用微波辐射的方式对物料进行进一步的还原,最终利用物料中的固定碳将金属氧化物还原成金属。

[0052] 具体应用实例中,在采用燃料燃烧方式进行还原时,利用烧嘴燃烧燃料供热,产生的高温烟气对物料进行加热并还原,还原温度为900~1250℃;在采用微波辐射方式进行还原时,由微波辐射供热,对所述物料进行加热和催化还原,还原温度为950~1300℃。

[0053] 进一步,如图7和图8所示,本发明提出了一种微波燃料联合供热式煤基直接还原转底炉,炉床2沿着图7中顺时针转动方向(图7中实线箭头方向)或沿着图8中从左至右转动方向(图8中实线箭头方向),依次由布料段101、干燥预热段102、燃料燃烧还原段103、微波辐射还原段104、排料段106组成,于燃料燃烧还原段103设有烧嘴1,烧嘴1安装于所对应区域的炉罩4内、外侧壁上,于微波辐射还原段104处设有用来产生微波辐射12的微波辐射组件;换言之,转底炉的整个还原段由两段组成,每段的供热方式不同,在靠近干燥预热段102的一侧由烧嘴1燃烧燃料供热,在靠近排料段106的一侧由微波辐射组件产生的微波辐射12供热,微波辐射12同时还具有催化还原的作用。

[0054] 本实施例中,在布料段101设有布料机8,经混合造球后的含固定碳(即含炭的颗粒物)和金属氧化物(即含金属氧化物的颗粒物)的物料3(俗称生球)由布料机8均匀布设于转底炉的炉床2上,随由车轮5带动的炉床2一起顺时针转动(如图7实线箭头方向)或自左至右转动(如图8实线箭头方向)。物料3进入干燥预热段102,由炉床2的余温和燃料燃烧的烟气

余热加热至600~900℃,水分、易挥发份被逐步脱除。进入燃料燃烧还原段103,由烧嘴1采用传统的燃烧燃料方式供热,对物料3进行加热并还原,在约900~1250℃的还原温度条件下,物料3中的固定碳开始气化并将金属氧化物还原成金属。进入微波辐射还原段104,由微波辐射组件产生的微波辐射12供热,物料3中的金属氧化物全部被还原,还原温度为950~1300℃。在该还原温度条件下,不仅微波自身的辐射加热能力增强,而且会增强微波辐射12范围内物料3中金属氧化物的活性,加快物料3中固定碳的气化反应速度,并使金属氧化物的还原温度降低,还原速率加快,使微波辐射12具有催化还原的作用。物料3历经燃料燃烧还原段103和微波辐射还原段104后,金属化率高达92%以上。还原后的物料3最终由排料段106处的卸料机10排出转底炉,进入冷却器11或进入矿热炉进行加热熔分。

[0055] 通过采用本发明的上述结构,在物料3处于低温状态时,采用烧嘴1燃烧燃料的供热方式进行加热并还原,从而避免了在低温条件下微波辐射12与物料3之间的耦合作用较弱、微波辐射12对金属氧化物物料3的辐射加热速度较慢、热效率非常低等现象产生的问题。物料3进入燃料燃烧还原段103,温度进一步升高,部分固定碳气化,产生还原反应,然后进入微波辐射还原段104,再通过微波辐射12对其继续加热并催化还原。这不仅增强了金属氧化物的活性,加快了固定碳的气化反应速度,而且使得金属氧化物的还原温度降低,还原速率加快。最终保证了物料3在转底炉内运行的全时段中整个转底炉设备的高效能,降低了转底炉的运行成本。从另外一个角度来看,由于采用的是局部微波的方式,所以也大大降低了投资成本,降低了制造装配的难度,使其能够满足市场推广的需要。

[0056] 本实施例中,微波辐射还原段104的长度需根据物料3的不同特性而定,一般为对应圆心角占整个转底炉一周的10/360~60/360,这是通过实验得到的优化方案。

[0057] 在另一个实施例中,如图9和图10所示,还可以进一步沿着炉床2的转动方向,在微波辐射还原段104与排料段106之间设置冷却段105,完成微波辐射还原后的物料3经铺设冷却水管9的冷却段105冷却后,最终由卸料机10排出转底炉,进入冷却器11或进入矿热炉进行加热熔分。冷却水管9铺设在冷却段105所对应的炉罩4内。

[0058] 本实施例中,进一步地除了在布料段101后端和排料段106前端设有密封墙7,此处密封墙7的作用是防止布料段101处的烟气乱窜至排料段106,尽可能让布料段101和排料段106间气氛及温度互不干扰。之外,并且还在微波辐射还原段104前后端,即燃料燃烧还原段103和微波辐射还原段104之间、微波辐射还原段104和冷却段105之间(无冷却段105时,为微波辐射还原段104和排料段106之间)均设有密封墙7,以防止空气或氧化性气体进微波辐射还原段104,避免已还原金属的再氧化和微波外泄。防止微波外泄的目的有两个:第一是尽可能让微波作用在微波辐射还原段104,提高微波能利用效率;第二是防止微波泄漏至燃料燃烧段后,继续从烟囱6及布料段101泄漏到炉外(因为,燃料燃烧还原段103和烟囱6及布料段101是连通的),引起安全问题。

[0059] 本实施例中,在干燥预热段102的前端设有烟囱6,燃料燃烧还原段103产生的高温烟气流向与炉床2转动的方向相反,如图7、图8、图9、图10中燃料燃烧还原段103所对应的虚线箭头方向,经干燥预热段102后,从烟囱6排放。燃料燃烧还原段103产生的高温烟气与随炉床2转动的物料3逆流接触,加热物料3,使其表层固定碳气化并使金属氧化物还原,然后继续与干燥预热段102的物料3逆流接触,水分、易挥发份被逐步脱除。

[0060] 本实施例中,进一步在冷却段105后端与卸料机10之间(当无冷却段105时,为微波

辐射还原段104后端与卸料机10之间)设有炉压控制装置13,微波辐射还原段104产生的还原性高温气体流向与炉床2转动的方向相同,如图7、图8、图9、图10中燃料燃烧还原段103所对应的虚线箭头方向,经冷却段105((当有冷却段105时)、排料段106后,从炉压控制装置13的顶部排放。炉压控制装置13的主要作用是确保微波辐射还原段104内气氛的还原性和还原反应速度。

[0061] 转底炉内始终保持微负压状态,防止因密封问题发生泄露后,导致炉内的还原性气体(属于可燃性气体)外泄,产生易燃易爆的安全性问题。

[0062] 微波辐射还原段104的作用之一是避免燃烧燃料产生的氧化性气氛对已还原金属的再氧化。转底炉正常工作时,炉罩4内的气体压力呈微负压状态。通过本发明提供的炉压控制装置13,使得转底炉微波辐射还原段104的气体压力绝对值略高于与其相邻的燃料燃烧还原段103、排料段106或冷却段105的气体压力,防止燃料燃烧还原段103的烟气和排料段106或冷却段105的气体进入,保证微波辐射还原段104内气氛的还原性。此外,物料3在转底炉内的直接还原过程是由间接还原反应(1)和碳气化反应(2)共同组成的,还原剂来源于固定碳。直接还原过程的速率受碳气化反应(2)控制,碳气化反应(2)是一个增容反应,若炉压升高,则反应式(2)向右进行的速率下降,使得平衡气相中CO分压降低,进而导致反应式(1)向右进行的速率下降。因此,通过炉压控制装置13使得转底炉微波辐射还原段104的气体压力绝对值略高于与其相邻的燃料燃烧还原段103、排料段106或冷却段105的气体压力,既可保证反应产生的气体顺利流向炉压控制装置13后外排,又可保证转底炉内气氛的还原势,还可保证整个还原反应的速率。



[0065] 在整个转底炉装置运转过程中,燃料燃烧还原段103产生的烟气流动方向与物料3运转方向逆向(图7、图9中燃料燃烧还原段103处所对应虚线的方向),经干燥预热段102预热物料3后,从烟囱6排放。在炉压控制装置13的作用下,微波辐射还原段104的气体压力绝对值处于略高于相邻的燃料燃烧还原段103、排料段106(无冷却段105时)或冷却段105的压力状态,微波辐射还原段104产生的气体在炉压控制装置13的作用下,大部分气体流动方向与物料3运转方向同向(图7、图9中微波辐射还原段104处虚线所示的方向),自炉压控制装置13的顶部排放,少量气体会进入燃料燃烧还原段103,一并由烟囱6排放。

[0066] 以上仅是本发明的优选实施方式,本发明的保护范围并不仅局限于上述实施例,凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理前提下的若干改进和润饰,应视为本发明的保护范围。

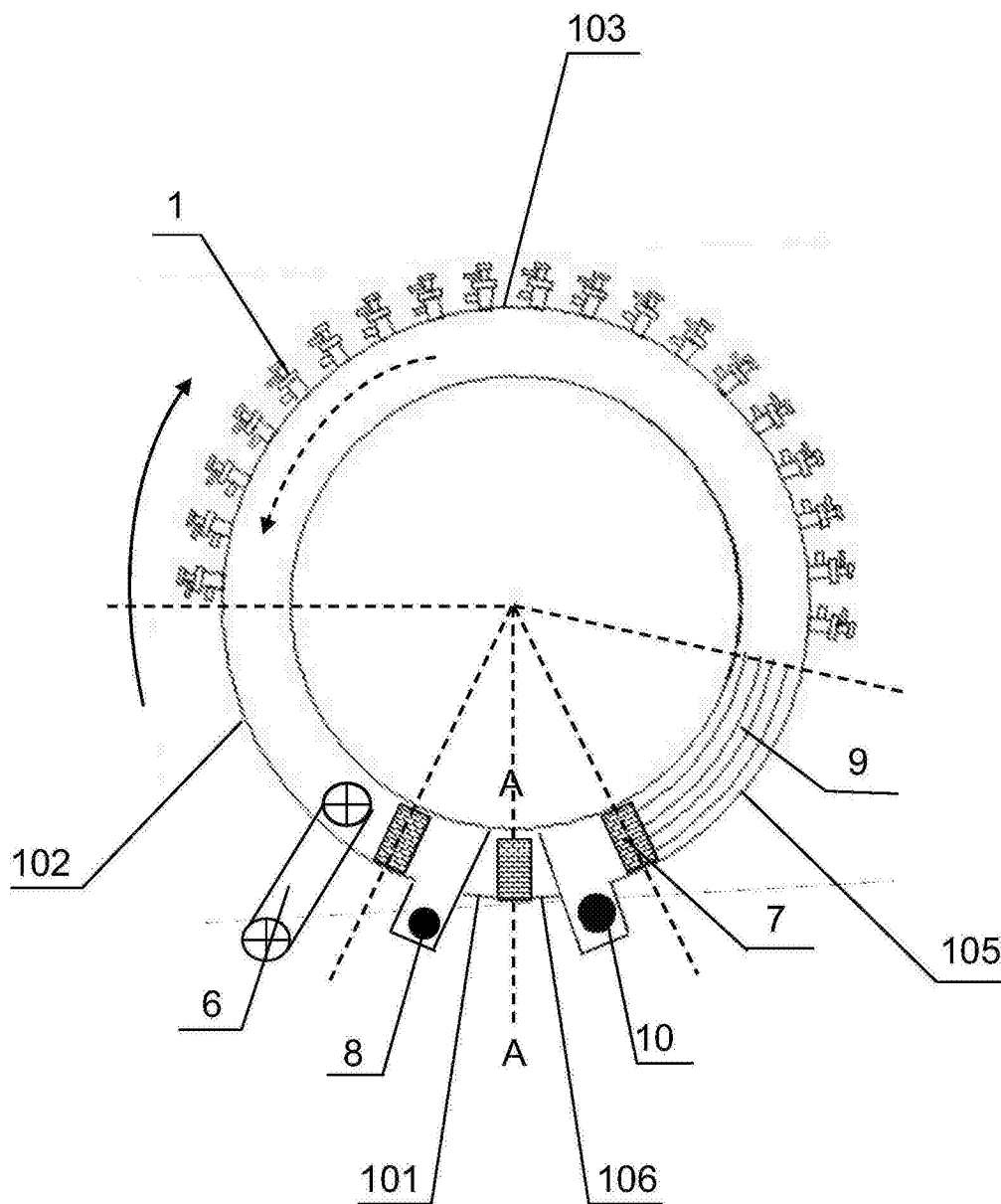


图1

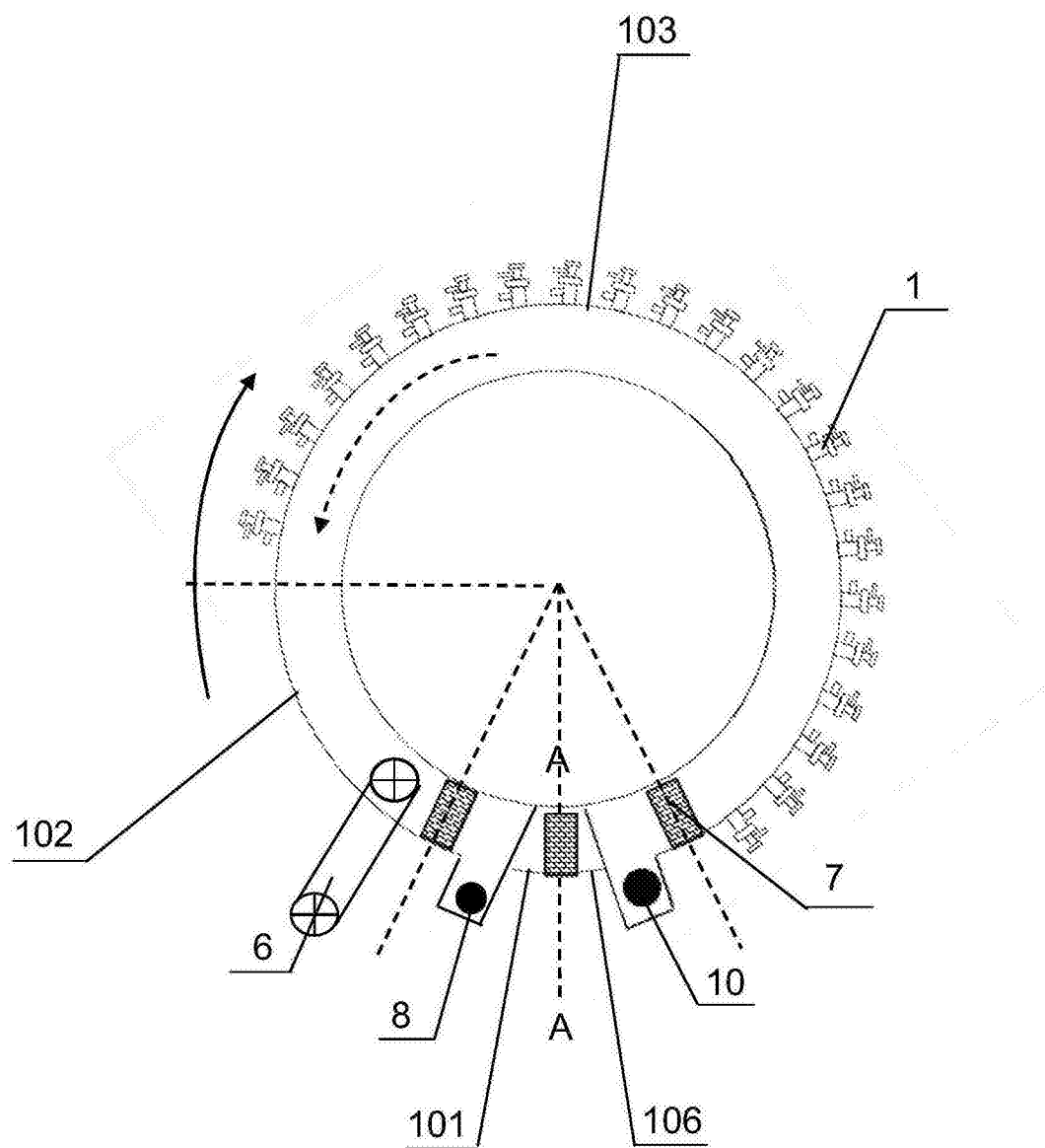


图3

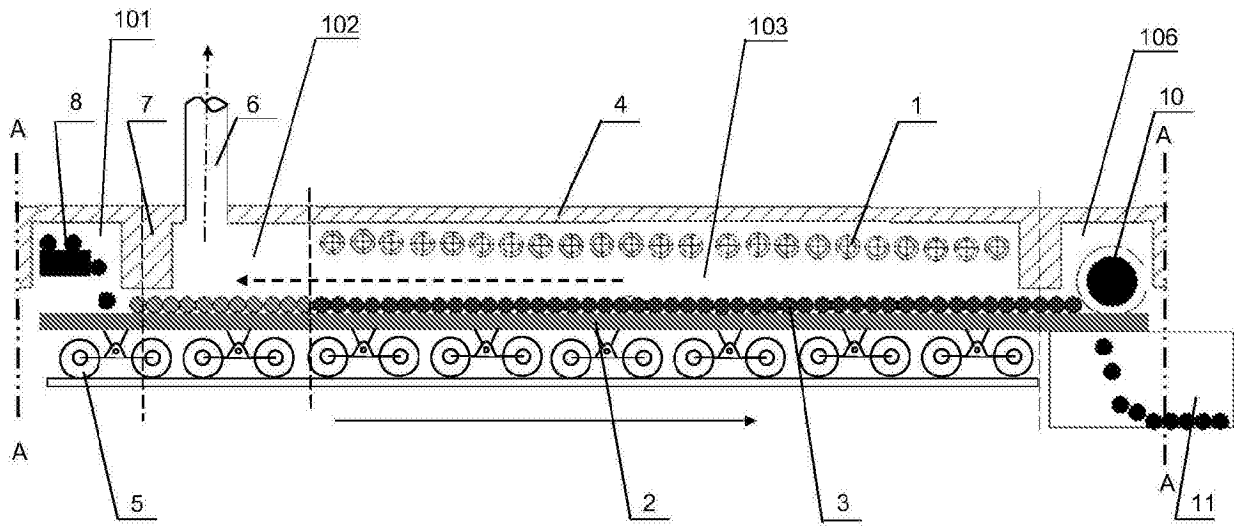


图4

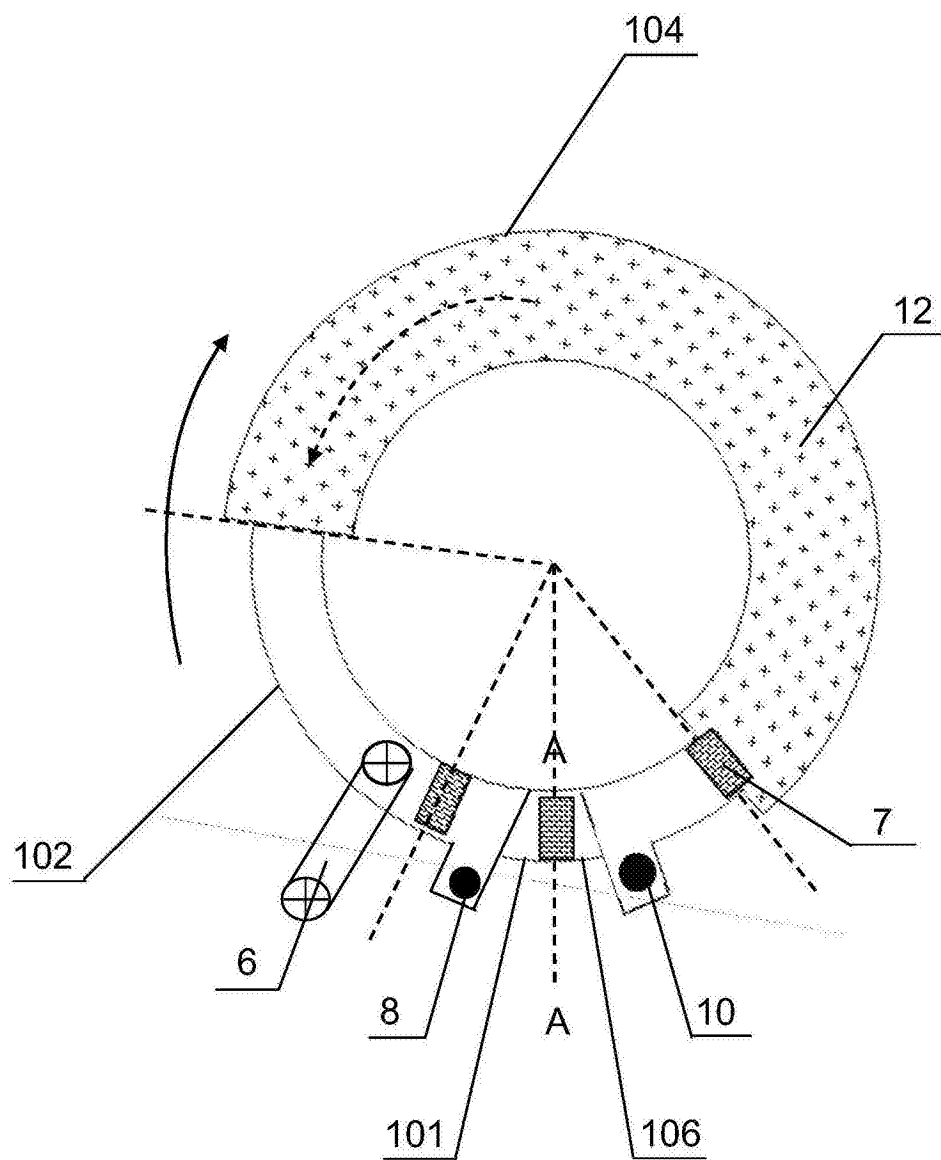


图5

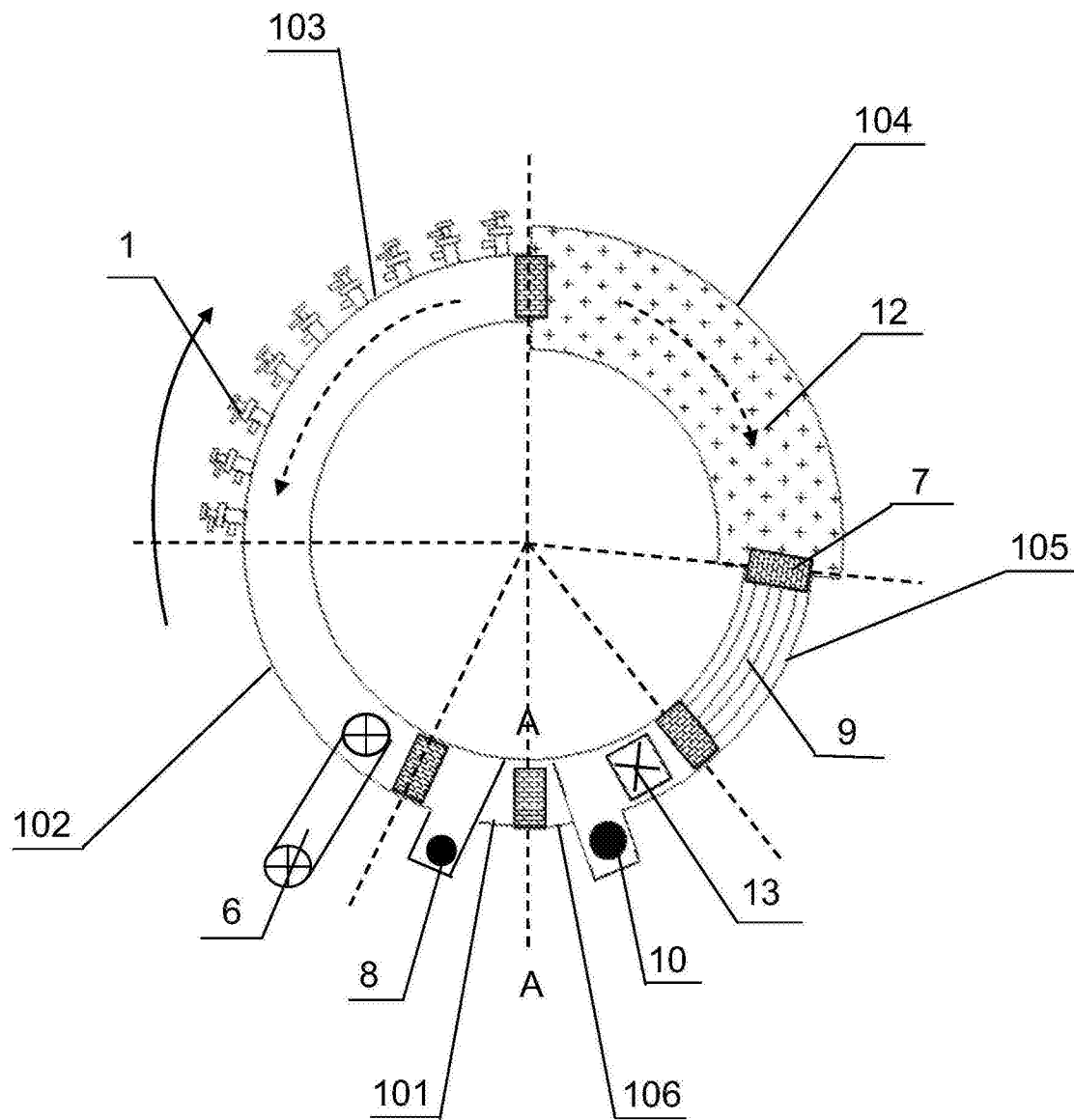


图7

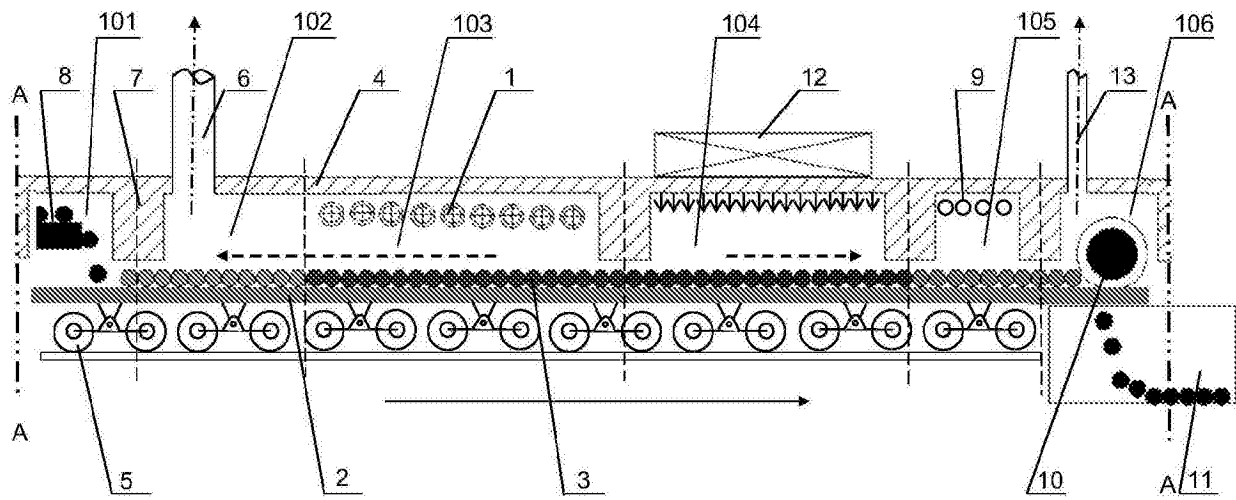


图8

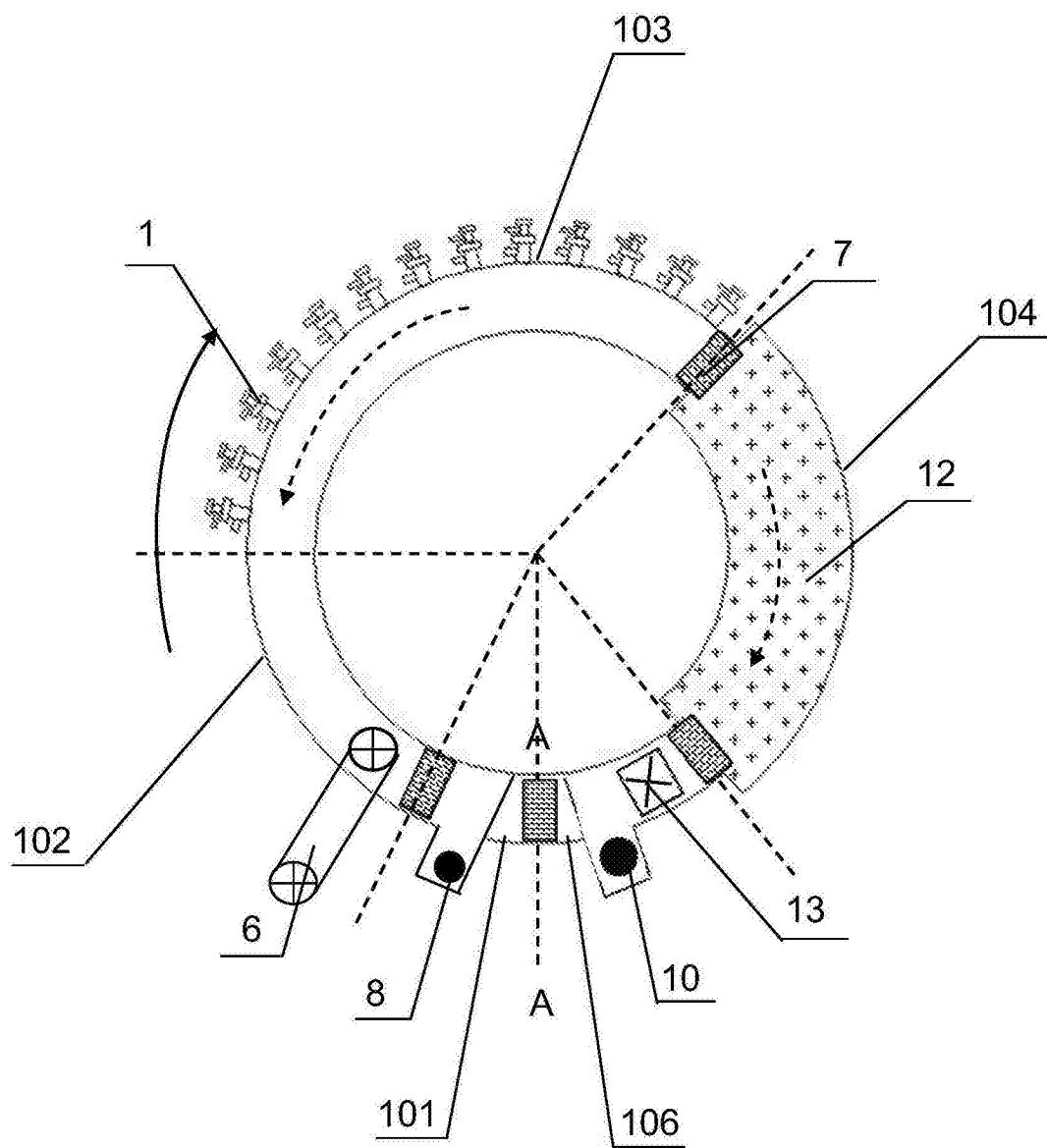


图9

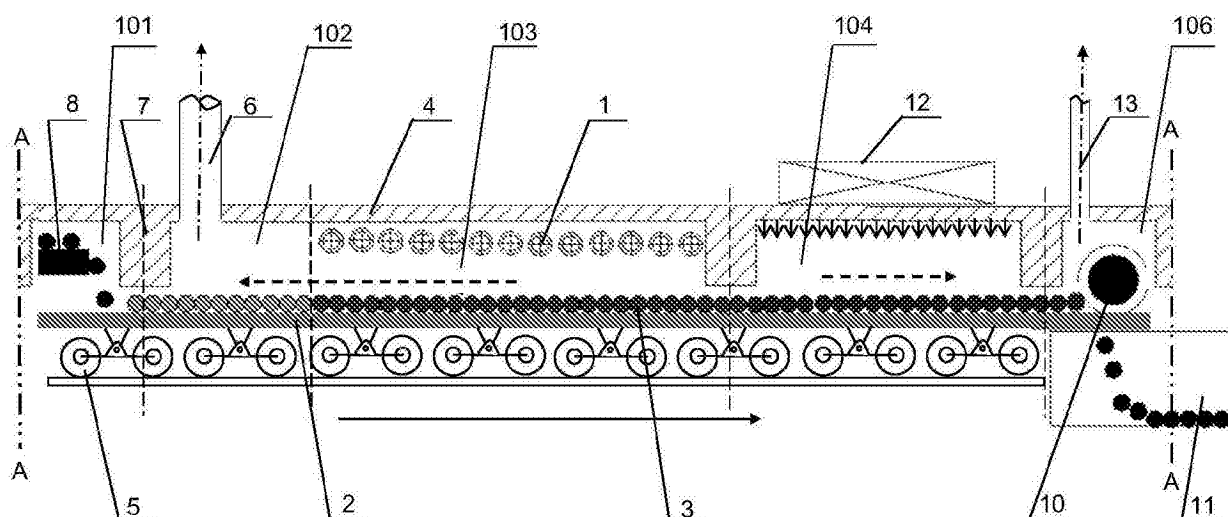


图10

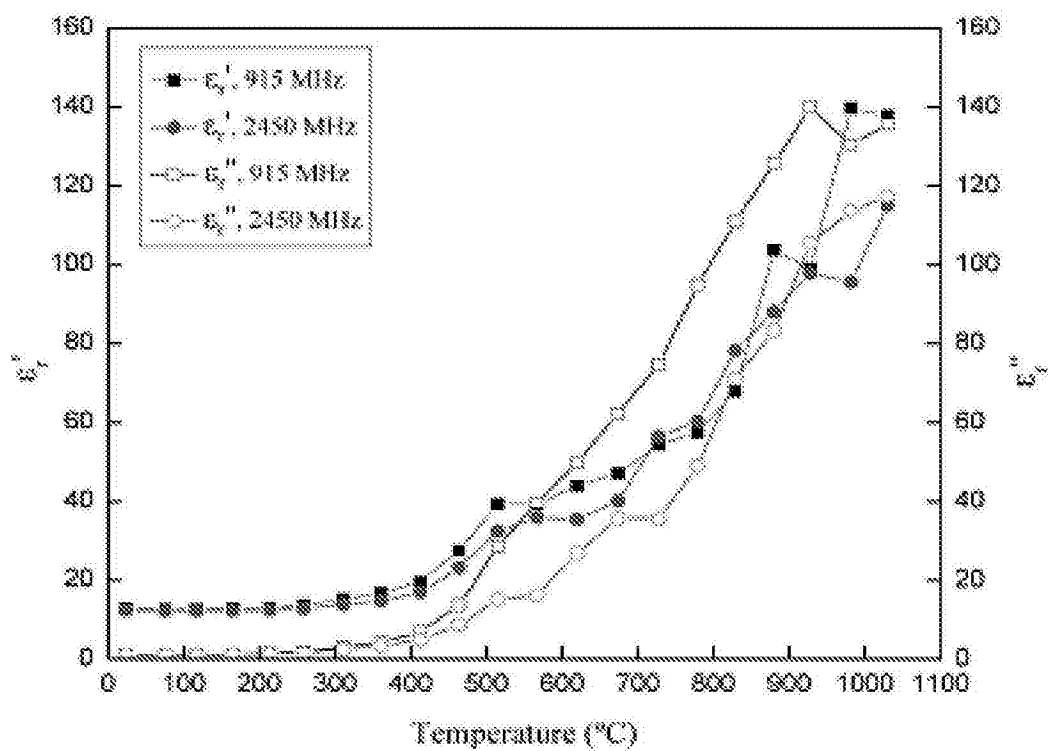


图 11

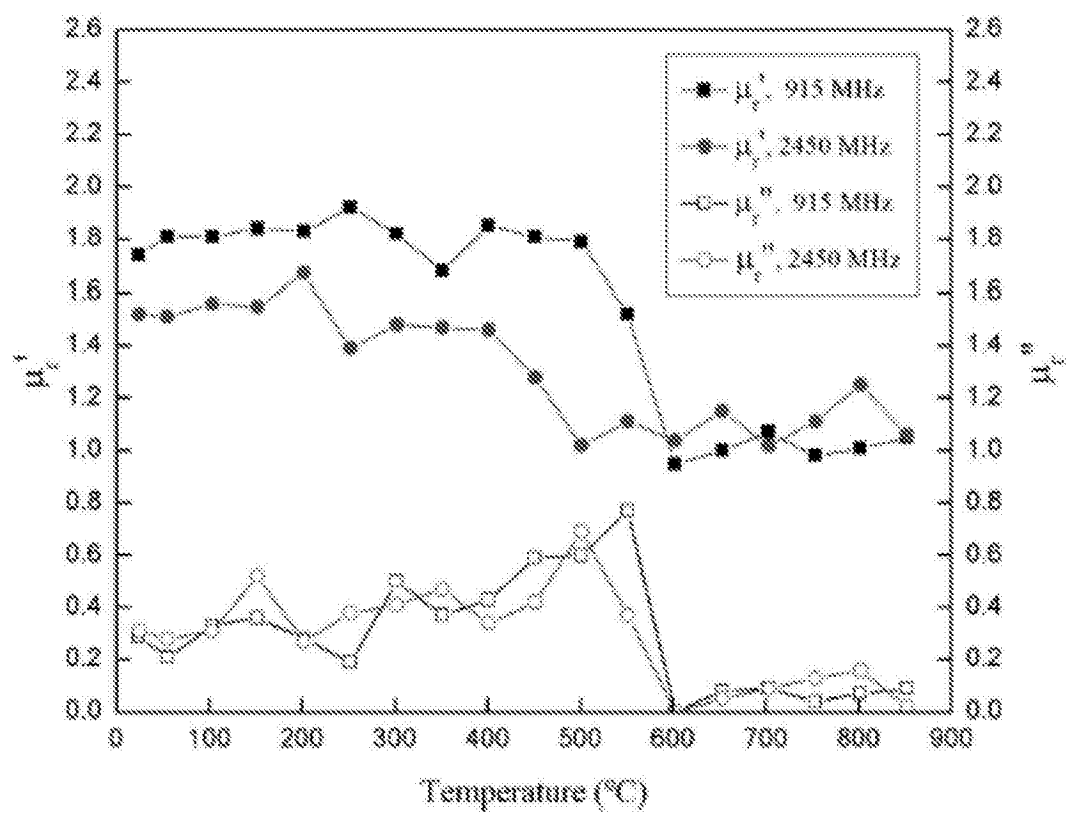


图12