



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111663015 B

(45) 授权公告日 2022.06.07

(21) 申请号 202010473246.6

C21C 5/54 (2006.01)

(22) 申请日 2020.05.29

C21C 7/076 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

C21C 7/10 (2006.01)

申请公布号 CN 111663015 A

C21C 7/06 (2006.01)

C21C 7/068 (2006.01)

(43) 申请公布日 2020.09.15

C21C 7/064 (2006.01)

(73) 专利权人 山东墨龙石油机械股份有限公司

地址 262700 山东省潍坊市寿光市文圣街  
999号

(56) 对比文件

CN 110747395 A, 2020.02.04

CN 104451385 A, 2015.03.25

CN 105296867 A, 2016.02.03

CN 105603312 A, 2016.05.25

JP 特開2006-118049 A, 2006.05.11

(72) 发明人 张冠琪 王林顺 张晓峰 王金霞

王建磊 王振华 魏召强 张静波

马宗礼 韩军义

张建良等. 山东墨龙HIsmelt工艺生产运行概况及主要特点.《中国冶金》.2018,第28卷(第5期),

张建良等. 山东墨龙HIsmelt工艺生产运行概况及主要特点.《中国冶金》.2018,第28卷(第5期),

(74) 专利代理机构 济南千慧专利事务所(普通  
合伙企业) 37232

专利代理师 左建华

审查员 潘晓萌

(51) Int. Cl.

C21B 11/00 (2006.01)

C21C 1/02 (2006.01)

C21C 5/36 (2006.01)

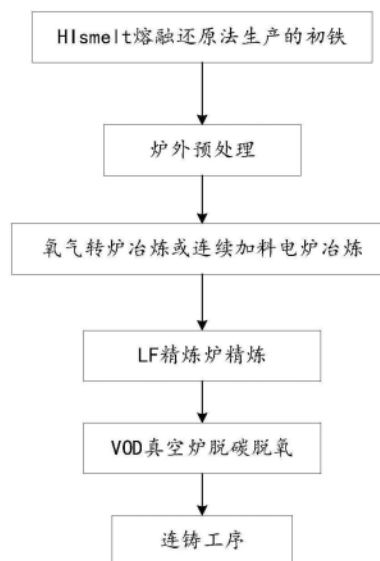
权利要求书2页 说明书12页 附图1页

## (54) 发明名称

一种熔融还原工艺生产纯铁的方法

## (57) 摘要

本发明涉及金属冶炼技术领域,尤其涉及一种熔融还原工艺生产纯铁的方法。该熔融还原工艺生产纯铁的方法,包括从初铁制备YT4等级纯铁的过程,原料是使用铁浴熔融还原法生产的初铁。通过该方法得到的产品中铁含量可以达到99.95%以上,满足YT4等级工业纯铁及高纯铁的成分条件,可以实现YT4等级工业纯铁的规模化生产,产品纯度高、生产成本低、安全环保,质量满足YT4等级工业纯铁和高纯铁的要求,生产过程控制稳定、产品质量优异。



1. 一种熔融还原工艺生产纯铁的方法,其特征在于,包括从初铁制备YT4等级纯铁的过程,原料是使用铁浴熔融还原法生产的初铁;

所述铁浴熔融还原法是HIsmelt熔融还原法,所述HIsmelt熔融还原法的核心SRV炉工艺控制过程包括:

控制熔融还原炉中富氧热风枪的氧含量,以空气氧含量为基数,每提高5吨喷矿量、富氧含量提高0.2-0.5%,控制热风出口压力在80-200kPa;

控制熔融还原炉的总热负荷在35-65MW、控制每条喷枪在炉渣中的热负荷0.5-1.5MW、控制涌泉高度在1-5m;

控制熔融还原炉内炉渣的厚度在1.5-2.5m;

通过控制锥阀来控制熔融还原炉中压力控制系统的变化系数,控制压力每3秒提高1kPa,控制出铁总时间为8-10min;

从初铁制备YT4等级纯铁的过程包括:炉外预处理、氧气转炉冶炼或连续加料电炉冶炼、LF精炼炉精炼、VOD真空炉脱碳脱氧;

所述炉外预处理包括:

使用复合脱硫剂对初铁进行脱硫、调碳,使脱硫、调碳后的铁水的硫含量低于0.0010wt%,并对脱硫、调碳后的铁水进行扒渣处理,直至铁水中剩余渣量小于总渣量的5wt%;

所述复合脱硫剂的各成分的添加步骤包括:

1) 按照焦粒、镁粉、氧化钙的顺序依次喷吹,控制总喷吹时间为5-10min,控制氮气的喷吹流量为50-160m<sup>3</sup>/min,控制喷吹过程中的压力为80-350kPa,喷枪在铁水包的位置位于距离铁水包包底500-800mm处;

2) 在铁水温度不低于1300℃时添加铁粒;

3) 在炉渣的温度不低于1300℃时添加氟化钙;

所述氧气转炉冶炼包括:

将经炉外预处理后的铁水转入氧气转炉中全铁水冶炼,在全铁水中加入预处理渣料造渣;

在进行溅渣护炉前加入调渣剂对炉渣改质,控制炉渣中氧化铁的含量低于20wt%、炉渣碱度为2.8-3.2;在溅渣护炉中使用旋流氧枪;

控制氧气转炉终点的碳含量低于0.03%、硅含量低于0.005%、锰含量不高于0.001%、磷含量低于0.005%、硫含量低于0.0010%,控制出钢温度在1590-1620℃;

在转炉氧气吹炼前一次性加入所述预处理渣料和所述调渣剂,加入的总量为25-35kg/t。

2. 根据权利要求1所述的熔融还原工艺生产纯铁的方法,其特征在于:

控制五害元素铅、锡、砷、锑、铋的总含量低于0.001wt%;

使得制备的初铁中磷的含量低于0.015wt%、硫的含量为0.09-0.12wt%;

使得制备的初铁中锰的含量低于0.001wt%、钒的含量低于0.001wt%、钛的含量低于0.005wt%。

3. 根据权利要求1所述的熔融还原工艺生产纯铁的方法,其特征在于,所述复合脱硫剂包括:镁粉 15-20份、氧化钙 30-50份、焦粒 5-10份、氟化钙5-10份、铁粒 5-10份;

所述焦粒是由HIsmelt工艺过程中产生的粉尘颗粒物经二次处理后得到的;所述铁粒是由HIsmelt熔融还原炉的炉渣中分离得到的。

4. 根据权利要求1所述的熔融还原工艺生产纯铁的方法,其特征在于,所述预处理渣料包括:氧化钙 30-40份,二氧化硅 15-20份,氧化镁 8-12份,焦粒 10-20份;

所述调渣剂包括:焦粒 30-50份,氧化镁 10-20份,氧化钙 20-30份;

所述焦粒是由HIsmelt工艺过程中产生的粉尘颗粒物经二次处理后得到的。

5. 根据权利要求1所述的熔融还原工艺生产纯铁的方法,其特征在于,所述连续加料电炉冶炼包括:

将经炉外预处理后的铁水转入电炉中冶炼,在电炉中加入预处理渣料造渣,预处理渣料的加入量为25-35kg/t,控制炉渣中氧化铁含量低于28wt%,炉渣碱度为2.2-2.8,加入造渣剂100kg/次,总加入量为400-600kg,每次间隔4-6min,控制渣层厚度在0.8-1.5m;

所述预处理渣料包括:氧化钙 30-40份,二氧化硅 15-20份,氧化镁 8-12份,焦粒 10-20份;所述造渣剂是碳元素含量高于75wt%的碳球;

冶炼前期通过吹氧脱碳提温;冶炼中期控制炉内温度在1540-1580℃;冶炼后期控制碳含量低于0.03%、硅含量低于0.005%、锰含量不高于0.001%、磷含量低于0.005%、硫含量低于0.0010%后,通过石墨电极加热控制出钢温度在1590-1620℃。

6. 根据权利要求1所述的熔融还原工艺生产纯铁的方法,其特征在于,所述LF精炼炉精炼包括:

在氧气转炉冶炼或连续加料电炉冶炼后的铁水中加入精处理渣料进行造渣提纯;在LF精炼炉精炼的总时间的1/3的时间点添加复合添加剂进行改性,LF终点氧含量控制在380-500ppm,终点温度控制在1685-1710℃;

所述精处理渣料包括:氧化钙75-85份,氟化钙10-15份;所述精处理渣料的加入量为6-8kg/t;

所述复合添加剂包括:氟化钙 30-40份,氧化钙 30-40份,三氧化二铝 10-20份,发泡剂 5-10份。

7. 根据权利要求1所述的熔融还原工艺生产纯铁的方法,其特征在于,所述VOD真空炉脱碳脱氧包括:

将LF精炼炉精炼的铁水加入铁水包,到达VOD真空炉后,进行真空脱碳操作,依次打开三级真空系统,底吹氩气搅拌流量80-120 L/min,同时在上部插入氧枪吹氧流量2000-3000 m<sup>3</sup>/h,控制真空度在100 Pa以内8-9 min,停氧提枪,控制真空度在67 Pa以内10-12 min, VOD破空后测温、定氧,喂入铝线、钙包芯线进行脱氧、脱硫处理,底吹氩气流量10-30 L/min,控制钢水翻滚直径低于300 mm,软吹15-16 min,控制终点温度在1602-1620℃,将钢包送至连铸工序。

## 一种熔融还原工艺生产纯铁的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及金属冶炼技术领域,尤其涉及一种熔融还原工艺生产纯铁的方法。

### 背景技术

[0002] 纯铁是一种碳含量很低( $[C]<0.01\%$ )的钢材,具有铁纯度高、韧性好、磁性能好及电学性能优良等性能。作为实现工业化生产和应用的工业纯铁,产品中铁元素含量达到99.6%-99.8%,工业纯铁是一种重要的钢铁基础材料,主要用于冶炼各种高温合金、耐热合金、精密合金、马氏体时效钢、高温轴承钢等航空航天、军工和民用合金或钢材。

[0003] 高纯净铁的制备主要包括电解法、电渣重熔、空间提纯、等离子熔炼等,大多数还处于小规模实验室阶段,无法满足现有市场需求,而且制备出的高纯铁成本高昂,当Fe含量达到99.95%-99.9999%时,产品价格可以达到1-150万元/t,纯度越高、难度越大、价值越高。国内外高纯铁的制备工艺仍不成熟,高纯铁的供应也不能满足需求,因而,生产成本低、纯净度高的工业纯铁的需求迫切。

### 发明内容

[0004] 本发明提供了一种熔融还原工艺生产纯铁的方法,该方法使用HIsmelt熔融还原法生产的低成本初铁冶炼高纯度纯铁,产品中的铁含量可以达到99.95%以上,满足YT4等级工业纯铁及高纯铁的成分条件,具有成本低、纯度高、附加值高等优点,有效解决了现有技术中存在的问题。

[0005] 本发明为解决上述技术问题所采用的技术方案是:

[0006] 一种熔融还原工艺生产纯铁的方法,包括从初铁制备YT4等级纯铁的过程,原料是使用铁浴熔融还原法生产的初铁。

[0007] 优选的,所述铁浴熔融还原法是HIsmelt熔融还原法,所述HIsmelt熔融还原法的核心SRV炉工艺控制过程包括:

[0008] 控制熔融还原炉中富氧热风枪的氧含量,以空气氧含量为基数,每提高5吨喷矿量、富氧含量提高0.2-0.5%,控制热风出口压力在80-200kPa,控制五害元素铅、锡、砷、锑、铋的总含量低于0.001wt%;

[0009] 控制熔融还原炉的总热负荷在35-65MW、控制每条喷枪在炉渣中的热负荷0.5-1.5MW、控制涌泉高度在1-5m,通过控制上述参数使得制备的初铁中磷的含量低于0.015wt%、硫的含量为0.09-0.12wt%;

[0010] 控制熔融还原炉内炉渣的厚度在1.5-2.5m,使得制备的初铁中锰的含量低于0.001wt%、钒的含量低于0.001wt%、钛的含量低于0.005wt%;

[0011] 通过控制锥阀来控制熔融还原炉中压力控制系统的变化系数,控制压力每3秒提高1kPa,控制出铁总时间为8-10min。

[0012] 通过控制熔融还原炉的总热负荷、每条喷枪炉渣中的热负荷以及涌泉高度,可降低熔融还原炉中铁水的磷的含量,使磷、硫的含量达到预定的数值,来保证初铁的质量以及

达到后续炉外预处理的要求。

[0013] 通过控制熔融还原炉中炉渣厚度来调整炉渣的氧化还原氛围,使得矿石中的锰、钒、钛等微量元素向熔融还原炉的炉渣中迁移,进而使初铁中的锰、钒、钛的含量达到预设的要求。

[0014] 通过控制熔融还原炉中的压力以及熔融还原炉的出铁时间,来减少熔融还原炉的出铁过程中熔融还原炉内铁水温度变化,避免熔融还原炉内铁水中的铅等沉降元素从熔融还原炉底部上浮进入初铁中。

[0015] 涌泉是指在熔融还原炉上部,吹入热风与自身煤气进行一氧化碳和氢气的氧化燃烧放热反应,铁水熔池中反应产生的一氧化碳、煤中挥发分裂解产生的氢气和喷吹物料载体的氮气形成混合煤气,强烈逸出的上升煤气又使高温液态渣铁形成了混合涌泉。

[0016] 优选的,所述初铁,按质量百分比计,包括碳3.6-4.0%、磷0.010-0.015%、硫0.09-0.12%、硅含量低于0.01%、锰含量不高于0.001%、五害元素0.0001-0.001%,五害元素是指铅、锡、砷、锑、铋。

[0017] 优选的,所述初铁的铁水的温度为1320-1380℃。

[0018] 优选的,所述从初铁制备YT4等级纯铁的过程包括:炉外预处理、氧气转炉冶炼或连续加料电炉冶炼、LF精炼炉精炼、VOD真空炉脱碳脱氧。

[0019] 优选的,所述炉外预处理包括:使用复合脱硫剂对初铁进行脱硫、调碳,使脱硫、调碳后的铁水的硫含量低于0.0010wt%,并对脱硫、调碳后的铁水进行扒渣处理,直至铁水中剩余渣量小于总渣量的5wt%。

[0020] 优选的,所述复合脱硫剂包括:镁粉15-20份、氧化钙30-50份、焦粒5-10份、氟化钙5-10份、铁粒5-10份;

[0021] 所述焦粒是由HIsmelt工艺过程中产生的粉尘颗粒物经二次处理后得到的;所述铁粒是由HIsmelt熔融还原炉的炉渣中分离得到的,优选的,铁粒为空心粒状单质铁,具有质轻,比表面积大的特点。

[0022] 优选的,所述复合脱硫剂的各成分的添加步骤包括:

[0023] 1) 按照焦粒、镁粉、氧化钙的顺序依次喷吹,控制总喷吹时间为5-10min,控制氮气的喷吹流量为50-160m<sup>3</sup>/min,控制喷吹过程中的压力为80-350kPa,喷枪在铁水包的位置位于距离铁水包包底500-800mm处;

[0024] 2) 在铁水温度不低于1300℃时添加铁粒;

[0025] 3) 在炉渣的温度不低于1300℃时添加氟化钙。

[0026] 复合脱硫剂各成分依次的添加顺序为:焦粒、镁粉、氧化钙、铁粒、炉渣。

[0027] 优选的,所述氧气转炉冶炼包括:

[0028] 将经炉外预处理后的铁水转入氧气转炉中全铁水冶炼,在全铁水中加入预处理渣料造渣;

[0029] 在进行溅渣护炉前加入调渣剂对炉渣改质,控制炉渣中氧化铁的含量低于20wt%、炉渣碱度为2.8-3.2;在溅渣护炉中使用旋流氧枪;

[0030] 控制氧气转炉终点的碳含量低于0.03%、硅含量低于0.005%、锰含量不高于0.001%、磷含量低于0.005%、硫含量低于0.0010%,控制出钢温度在1590-1620℃;

[0031] 所述预处理渣料包括:氧化钙30-40份,二氧化硅15-20份,氧化镁8-12份,焦粒10-

20份；

[0032] 所述调渣剂包括：焦炭30-50份，氧化镁10-20份，氧化钙20-30份；

[0033] 所述焦炭是由HIsmelt工艺过程中产生的粉尘颗粒物经二次处理后得到的；

[0034] 在转炉氧气吹炼前一次性加入所述预处理渣料和所述调渣剂，加入的总量为25-35kg/t。

[0035] 优选的，所述连续加料电炉冶炼包括：

[0036] 将经炉外预处理后的铁水转入电炉中冶炼，在电炉中加入预处理渣料造渣，预处理渣料的加入量为25-35kg/t，控制炉渣中氧化铁含量低于28wt%，炉渣碱度为2.2-2.8，加入造渣剂100kg/次，总加入量为400-600kg，每次间隔4-6min，控制渣层厚度在0.8-1.5m；

[0037] 所述预处理渣料包括：氧化钙30-40份，二氧化硅15-20份，氧化镁8-12份，焦炭10-20份；所述造渣剂是碳元素含量高于75wt%的碳球；

[0038] 冶炼前期通过吹氧脱碳提温；冶炼中期控制炉内温度在1540-1580℃；冶炼后期控制碳含量低于0.03%、硅含量低于0.005%、锰含量不高于0.001%、磷含量低于0.005%、硫含量低于0.0010%后，通过石墨电极加热控制出钢温度在1590-1620℃；

[0039] 冶炼前期是指在连续加料电炉冶炼总冶炼时间的1/3以前的时间段；冶炼中期是指在连续加料电炉冶炼总冶炼时间的1/3至2/3之间的时间段；冶炼后期是指在连续加料电炉冶炼总冶炼时间的2/3以后的时间段。

[0040] 在冶炼中期过程中，可通过石墨电极送电加热，温度高时则不加热。

[0041] 所述连续加料电炉设有炉壁氧枪，通过炉壁氧枪向电炉内的铁水吹氧脱碳，控制铁水含碳量及含磷和硫量；连续加料电炉采用偏心底出钢，出钢过程中有效地避免了钢水中夹带炉渣。

[0042] 优选的，所述LF精炼炉精炼包括：

[0043] 在氧气转炉冶炼或连续加料电炉冶炼后的铁水中加入精处理渣料进行造渣提纯；在LF精炼炉精炼的总时间的1/3的时间点添加复合添加剂进行改性，LF终点氧含量控制在380-500ppm，终点温度控制在1685-1710℃；

[0044] 所述精处理渣料包括：氧化钙75-85份，氟化钙10-15份；所述精处理渣料的加入量为6-8kg/t；

[0045] 所述复合添加剂包括：氟化钙30-40份，氧化钙30-40份，三氧化二铝10-20份，发泡剂5-10份。

[0046] 优选的，所述VOD真空炉脱碳脱氧包括：

[0047] 将LF精炼炉精炼的铁水加入铁水包，到达VOD真空炉后，进行真空脱碳操作，依次打开三级真空系统，底吹氩气搅拌流量80-120L/min，同时在上部插入氧枪吹氧流量2000-3000m<sup>3</sup>/h，控制真空度在100Pa以内8-9min，停氧提枪，控制真空度在67Pa以内10-12min，VOD破空后测温、定氧，喂入铝线、钙包芯线进行脱氧、脱硫处理，底吹氩气流量10-30L/min，控制钢水翻滚直径低于300mm，软吹15-16min，控制终点温度在1602-1620℃，将钢包送至连铸工序。

[0048] 在炉外预处理中，复合脱硫剂通过设置在铁水包上的喷枪喷入铁水包中，喷枪在铁水包的位置位于距包底500mm~800mm处。复合脱硫剂预处理系统设有喷吹管线，所用喷吹复合脱硫剂位于储存罐中，下方通过阀门连接中间罐和输送管线，使用氮气作为输送载

气,管线连接专用喷枪,将专用喷枪插入铁水包距包底500mm-800mm位置进行喷吹脱硫处理。喷枪插入铁水包距包底500mm-800mm位置进行喷吹,是由于通过HIsmelt熔融还原法生产的初铁的铁水具有低温、高硫的特点,普通处理工艺不能保证脱硫剂与铁水进行反应,经过多次试验及流体分析,考虑铁水包规格及专用喷枪使用效果,设置在500mm-800mm位置,可以保证底部熔池具有较好的搅拌效果,从而保证脱硫效率和包内铁水的均匀性。同时,由于HIsmelt熔融还原法生产的初铁铁水脱硫时具有冲击强度非常高的特点,枪位太低则气流会冲刷底部耐材,大大降低铁水包的使用寿命,枪位太高则无法保证铁水包底部搅拌效果和脱硫效果,经过分析验证,该枪位是最合理的工业化处理位置。

[0049] 采用喷枪向铁水包中喷入复合脱硫剂,脱硫处理后铁水中的硫含量低于0.0010wt%;铁水脱硫处理后使用表面滤除法进行扒渣,并保证铁水包中剩余渣量小于总渣量的5wt%,使铁水达到高纯生铁的纯净度要求,避免后续处理过程中残余元素的反渗。

[0050] 复合脱硫剂的作用:由于HIsmelt熔融还原法生产的初铁铁水的温度偏低,且硫含量为高炉铁水的3倍以上,传统高炉铁水纯铁冶炼工艺无法处理且过程中温降较大,本发明使用的复合脱硫剂中的焦粒能够为初铁铁水补充部分热量并为后续处理提供渗碳条件,氟化钙能够改善炉外预处理的炉渣在低温条件下的流动性,铁粒能够增加复合脱硫剂在铁水包中的搅拌效果,提高低温搅拌性能。从HIsmelt熔融还原炉炉渣中分离得到的空心粒状单质铁,试验证明其具作为复合脱硫剂的成分,有提高搅拌性能同时避免温度大幅度降低的效果。

[0051] 使用调渣剂的作用是:由于HIsmelt熔融还原法生产的初铁铁水氧化性高于高炉铁水,以及终点碳含量较低,且转炉冶炼过程缺少前期阶段(硅锰氧化期),其冶炼过程对炉衬的侵蚀会高于传统高炉铁水,在溅渣护炉过程中炉渣不易粘附于炉衬表面,影响炉衬寿命,利用传统冶炼方式不能实现连续化生产。故为了加强炉衬的保护,在溅渣护炉前会加入调渣剂对炉渣进行改质,调渣剂主要是为调整炉渣成分、炉渣碱度及物态,改善炉渣的流动性和粘附性;同时使用溅渣护炉枪,提高护炉效果,采用旋流氧枪替代普通直通氧枪,炉渣在旋流气体作用下被吹到炉衬表面,炉渣在旋流气体作用下以离心运动方式附着于炉衬表面,从而起到增强保护的炉衬作用。

[0052] 氧气转炉冶炼的转炉炼钢系统设有高位料仓,使用预处理渣料进行造渣。在转炉氧气吹炼前一次性加入全部渣料,这与传统炼钢技术中分批次加入石灰等渣料不同,这是由于高炉铁水硅含量高,为了维持一定的炉渣碱度,需要加入较多的石灰等渣料,渣料加入量在45kg/t以上,为避免一次性加入影响温度及吹炼效果,所以分批次加入渣料;但通过HIsmelt熔融还原法生产的初铁的铁水中不含硅,可以实现少渣冶炼,预处理渣料的总加入量在25-35kg/t,预处理渣料的加入量较传统炼钢技术渣料的加入量可以减少30%-50%;控制终点温度在1590-1620℃保证了最佳的脱磷效率。

[0053] 传统铁水在转炉冶炼时采用石灰、白云石等造渣材料,通过氧枪吹氧氧化铁水中硅、锰等元素,形成具有一定碱度( $R=CaO/SiO_2$ )的冶金渣料。本发明针对HIsmelt熔融还原法生产的初铁的铁水不含硅、锰的特点,不使用传统材料和工艺进行造渣冶炼,采用本发明提供的预处理渣料进行造渣冶炼,更适合铁水无硅的冶炼条件,同时预处理渣料中含有的焦粒可以为冶炼提供部分热量,解决了HIsmelt熔融还原法生产的初铁的铁水低温、低碳、无硅氧化放热的热量不足等冶炼难题,更好的进行化渣冶炼操作。

[0054] 日本为减少原料消耗,开发低硅、少渣冶炼技术,铁水( $[Si]=0.5\pm 0.2\%$ )在进入转炉前进行脱硅处理,将硅含量控制在0.2%-0.3%水平(现有技术所能达到的最低水平),从而实现少加石灰、少渣冶炼的炼钢目的,将炼钢渣料消耗控制在35kg/t左右(国内传统炼钢技术炉渣消耗控制在45kg/t-75kg/t以上)。本发明所采用的无硅铁水炼钢技术,结合本发明提供的预处理渣料,将渣料消耗控制在25-35kg/t,低于国外先进炼钢技术渣料消耗水平。

[0055] LF精炼炉精炼中,使用复合添加剂主要为调整炉渣情况,同时吸附铁水中有害元素,对铁水进行渣洗,降低铁水中残留元素含量。复合添加剂各成分的使用范围主要是根据冶炼不同级别牌号纯铁对钢水中残留元素要求不同,根据钢种要求确定残留元素的渣洗程度。

[0056] 采用VOD真空炉进行脱碳脱氧,是因为VOD真空炉设有专门氧枪,可以实现在真空环境下继续吹氧深脱碳,钢液终点碳含量可以达到0.0010% (10ppm),钢液纯净度提高。

[0057] 本发明的有益效果:

[0058] 本发明通过使用HIsmelt熔融还原法生产的成本较低的初铁,经炉外预处理、氧气转炉冶炼或连续加料电炉冶炼、LF精炼炉精炼、VOD真空炉脱碳脱氧制备成纯铁,得到的产品中铁含量可以达到99.95%以上,满足YT4等级工业纯铁及高纯铁的成分条件,可以实现YT4等级工业纯铁的规模化生产,产品纯度高、生产成本低,质量满足YT4等级工业纯铁和高纯铁的要求,生产过程控制稳定、产品质量优异,可实现高端纯铁的工业化稳定生产。

## 附图说明

[0059] 此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解,构成本申请的一部分,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

[0060] 图1为本申请实施例涉及的从初铁制备YT4等级纯铁过程的流程图。

## 具体实施方式

[0061] 为能清楚说明本方案的技术特点,下面通过具体实施方式,对本发明进行详细阐述。

[0062] 目前,现有的纯铁生产方法都是针对高炉铁水而言的,高炉铁水中磷、硅、锰及微量元素含量较高,用于冶炼纯铁过程控制复杂、质量波动大、生产成本低。

[0063] 而通过铁浴熔融还原法,尤其是HIsmelt熔融还原法采用不同于传统高炉的生产工艺冶炼金属,相较于高炉铁水,HIsmelt熔融还原法生产的初铁具有温度低、硫含量高、硅含量低、钛含量低、锰含量低、磷含量低、五害元素低等特点。

[0064] 使用HIsmelt熔融还原法的核心SRV炉工艺控制过程包括:

[0065] 控制熔融还原炉中富氧热风枪的氧含量,以空气氧含量为基数,每提高5吨喷矿量、富氧含量提高0.2-0.5%,控制热风出口压力在80-200kPa,控制五害元素铅、锡、砷、锑、铋的总含量低于0.001wt%;

[0066] 控制熔融还原炉的总热负荷在35-65MW、控制每条喷枪在炉渣中的热负荷0.5-1.5MW、控制涌泉高度在1-5m,通过控制上述参数使得制备的初铁中磷的含量低于0.015wt%、硫的含量为0.09-0.12wt%;

[0067] 控制熔融还原炉内炉渣的厚度在1.5-2.5m,使得制备的初铁中锰的含量低于0.001wt%、钒的含量低于0.001wt%、钛的含量低于0.005wt%;

[0068] 通过控制锥阀来控制熔融还原炉中压力控制系统的变化系数,控制压力每3秒提高1kPa,控制出铁总时间为8-10min。

[0069] 高炉铁水与本申请通过使用HIsmelt熔融还原法生产的初铁中各元素含量及温度的对比见表1。

[0070] 表1.高炉铁水与本申请通过使用HIsmelt熔融还原法生产的初铁中各元素含量及铁水温度

	典型值	高炉铁水	HIsmelt 铁水
[0071]	碳	4.5%±0.2%	3.8%±0.2%
	硅	0.5 ± 0.2%	<0.01%
	锰	0.4 ± 0.2%	<0.01%
[0072]	磷	0.12 ± 0.02%	0.02 ± 0.01%
	硫	0.04 ± 0.02%	0.12 ± 0.03%
	五害元素	0.001%-0.01%	0.0001%-0.001%
	铁水温度	1450±30	1350±30

[0073] 从表1中可以看出,高炉铁水与本申请通过使用HIsmelt熔融还原法生产的初铁的各元素的含量差别明显。

[0074] 传统高炉铁水中含有一定的硅、锰、磷等元素,转炉冶炼过程分为三个阶段:吹炼前期(硅锰氧化期)、吹炼中期(碳氧化期)、吹炼末期(碳氧化末期),在吹炼前期需要完成硅、锰的氧化,并加入一定的石灰等渣料造一定碱度和成分的冶炼渣,且高炉铁水冶炼的纯铁中残余锰等元素偏高,限制了其冶炼成高质量纯铁,所以使用传统纯铁冶炼工艺制备出的纯铁冶炼等级较低。而通过HIsmelt熔融还原法生产的初铁铁水不含硅、锰等元素,如果向初铁铁水中配加硅锰合金造成成本升高和热量损失,不添加合金则无法通过传统高炉铁水转炉渣料(石灰、白云石等)来完成造渣和冶炼,因此传统高炉铁水生产纯铁的工艺方法不适用于HIsmelt熔融还原法生产的初铁铁水。

[0075] 参考图1,本发明采用一种不同于传统高炉铁水生产纯铁的工艺方法来完成使用HIsmelt熔融还原法生产的初铁铁水来冶炼YT4等级工业纯铁及超纯铁。

[0076] 实施例1

[0077] 生产的初铁中碳含量为3.6%、磷含量为0.010%、硫含量为0.12%、硅含量为0.0040%、锰含量为0.001%。

[0078] 初铁(铁水温度1320℃)经炉外预处理、氧气转炉冶炼、LF精炼炉精炼、VOD真空炉脱碳脱氧制备成YT4等级工业纯铁,具体步骤如下:

[0079] (1) 炉外预处理

[0080] 使用复合脱硫剂对初铁进行脱硫、调碳,使脱硫、调碳后的铁水的硫含量为0.0010wt%,并对脱硫、调碳后的铁水进行扒渣处理,直至铁水中剩余渣量小于总渣量的5wt%;

[0081] 复合脱硫剂包括:镁粉15份、氧化钙30份、焦粒5份、氟化钙5份、铁粒5份;复合脱硫剂各成分的添加条件包括:

[0082] 1) 按照焦粒、镁粉、氧化钙的顺序依次喷吹,控制总喷吹时间为5-10min,控制氮气的喷吹流量为50-160m<sup>3</sup>/min,控制喷吹过程中的压力为80-350kPa,喷枪在铁水包的位置位于距离铁水包包底500-800mm处;

[0083] 2) 在铁水温度不低于1300℃时添加铁粒;

[0084] 3) 在炉渣的温度不低于1300℃时添加氟化钙。

[0085] (2) 氧气转炉冶炼

[0086] 将经炉外预处理后的铁水转入氧气转炉中全铁水冶炼,在全铁水中加入预处理渣料造渣;

[0087] 在进行溅渣护炉前加入调渣剂对炉渣改质,控制炉渣中氧化铁的含量低于20wt%、炉渣碱度为2.8-3.2;

[0088] 转炉终点控制:碳含量为0.027wt%,硅含量为0.0032wt%,锰含量为0.001wt%,磷含量为0.0023wt%,硫含量为0.0006wt%,出钢温度1605℃。

[0089] 预处理渣料包括:氧化钙30份,二氧化硅15份,氧化镁8份,焦粒10份;

[0090] 调渣剂包括:焦粒30份,氧化镁10份,氧化钙20份;

[0091] 在转炉氧气吹炼前一次性加入预处理渣料和调渣剂,加入的总量为25kg/t。

[0092] (3) LF精炼炉精炼

[0093] 在氧气转炉冶炼后的铁水中加入精处理渣料进行造渣提纯,精处理渣料加入量为6.5kg/t;在LF精炼炉精炼的总时间的1/3的时间点添加复合添加剂进行改性;控制LF终点氧含量440ppm,终点温度在1695℃。

[0094] 精处理渣料包括:氧化钙75份,氟化钙10份;

[0095] 复合添加剂包括:氟化钙30份,氧化钙30份,三氧化二铝10份,发泡剂5份;

[0096] (4) VOD真空炉脱碳脱氧

[0097] 钢水包到达VOD真空炉后,进行真空深脱碳操作:依次打开三级真空系统,底吹氩气搅拌流量80L/min,同时在上部插入氧枪吹氧流量2000m<sup>3</sup>/h,控制真空度在100Pa以内8min;停氧提枪,控制真空度在67Pa以内11min;VOD破空后测温、定氧,然后喂入铝线、钙包芯线进行脱氧、脱硫处理,底吹氩气流量10L/min,控制钢水翻滚直径<300mm,软吹15min;控制终点温度1608℃,将钢包送至连铸工序。

[0098] 其中,本发明中使用的焦粒是由HIsmelt工艺过程中产生的粉尘颗粒物经二次处理后得到的,主要成分是碳,碳含量在70-80%;;铁粒是由HIsmelt熔融还原炉的炉渣中分离得到的空心粒状单质铁,具有质轻、比表面积大的特点,可见,焦粒和铁粒是对HIsmelt熔融还原法中产生的废料的合理利用,变废为宝,符合可持续发展的要求。

[0099] 实施例2

[0100] 生产的初铁中碳含量为3.8%、磷含量为0.012%、硫含量为0.105%、硅含量为0.0042%、锰含量为0.001%。

[0101] 初铁(铁水温度1360℃)经炉外预处理、氧气转炉冶炼、LF精炼炉精炼、VOD真空炉脱碳脱氧制备成YT4等级工业纯铁,具体步骤如下:

[0102] (1) 炉外预处理

[0103] 使用复合脱硫剂对初铁进行脱硫、调碳,使脱硫、调碳后的铁水的硫含量为0.0008wt%,并对脱硫、调碳后的铁水进行扒渣处理,直至铁水中剩余渣量小于总渣量的5wt%;

[0104] 复合脱硫剂包括:镁粉18份、氧化钙40份、焦粒8份、氟化钙8份、铁粒8份;复合脱硫剂各成分的添加条件包括:

[0105] 1) 按照焦粒、镁粉、氧化钙的顺序依次喷吹,控制总喷吹时间为5-10min,控制氮气的喷吹流量为50-160m<sup>3</sup>/min,控制喷吹过程中的压力为80-350kPa,喷枪在铁水包的位置位于距离铁水包包底500-800mm处;

[0106] 2) 在铁水温度不低于1300℃时添加铁粒;

[0107] 3) 在炉渣的温度不低于1300℃时添加氟化钙。

[0108] (2) 氧气转炉冶炼

[0109] 将经炉外预处理后的铁水转入氧气转炉中全铁水冶炼,在全铁水中加入预处理渣料造渣;

[0110] 在进行溅渣护炉前加入调渣剂对炉渣改质,控制炉渣中氧化铁的含量低于20%、炉渣碱度为2.8-3.2;

[0111] 转炉终点控制:碳含量为0.025%,硅含量为0.0028%,锰含量为0.001%,磷含量为0.0028%,硫含量为0.0005%,出钢温度1590℃。

[0112] 预处理渣料包括:氧化钙35份,二氧化硅18份,氧化镁10份,焦粒15份;

[0113] 调渣剂包括:焦粒40份,氧化镁15份,氧化钙25份;

[0114] 在转炉氧气吹炼前一次性加入预处理渣料和调渣剂,加入的总量为30kg/t。

[0115] (3) LF精炼炉精炼

[0116] 在氧气转炉冶炼后的铁水中加入精处理渣料进行造渣提纯,精处理渣料加入量为6kg/t;在LF精炼炉精炼的总时间的1/3的时间点添加复合添加剂进行改性;控制LF终点氧含量500ppm,终点温度在1710℃;

[0117] 精处理渣料包括:氧化钙80份,氟化钙13份;

[0118] 复合添加剂包括:氟化钙35份,氧化钙35份,三氧化二铝15份,发泡剂8份。

[0119] (4) VOD真空炉脱碳、脱氧

[0120] 钢水包到达VOD真空炉后,进行真空深脱碳操作:依次打开三级真空系统,底吹氩气搅拌流量100L/min,同时在上部插入氧枪吹氧流量2500m<sup>3</sup>/h,控制真空度在100Pa以内9min;停氧提枪,控制真空度在67Pa以内12min;VOD破空后测温、定氧,后喂入铝线、钙包芯线进行脱氧、脱硫处理,底吹氩气流量20L/min,控制钢水翻滚直径<300mm,软吹15min;控制终点温度1620℃,将钢包送至连铸工序。

[0121] 实施例3

[0122] 生产的初铁中碳含量为4.0%、磷含量为0.015%、硫含量为0.09%、硅含量为0.0045%、锰含量为0.001%。

[0123] 初铁(铁水温度1380℃)经炉外预处理、氧气转炉冶炼、LF精炼炉精炼、VOD真空炉脱碳脱氧制备成YT4等级工业纯铁,具体步骤如下:

[0124] (1) 炉外预处理

[0125] 使用复合脱硫剂对初铁进行脱硫、调碳,使脱硫、调碳后的铁水的硫含量为

0.0007wt%，并对脱硫、调碳后的铁水进行扒渣处理，直至铁水中剩余渣量小于总渣量的5wt%；

[0126] 复合脱硫剂包括：镁粉20份、氧化钙50份、焦粒10份、氟化钙10份、铁粒10份；复合脱硫剂各成分的添加条件包括：

[0127] 1) 按照焦粒、镁粉、氧化钙的顺序依次喷吹，控制总喷吹时间为5-10min，控制氮气的喷吹流量为50-160m<sup>3</sup>/min，控制喷吹过程中的压力为80-350kPa，喷枪在铁水包的位置位于距离铁水包包底500-800mm处；

[0128] 2) 在铁水温度不低于1300℃时添加铁粒；

[0129] 3) 在炉渣的温度不低于1300℃时添加氟化钙。

[0130] (2) 氧气转炉冶炼

[0131] 将经炉外预处理后的铁水转入氧气转炉中全铁水冶炼，在全铁水中加入预处理渣料造渣；

[0132] 在进行溅渣护炉前加入调渣剂对炉渣改质，控制炉渣中氧化铁的含量低于20%、炉渣碱度为2.8-3.2；

[0133] 转炉终点控制：碳含量为0.029%，硅含量为0.0033%，锰含量为0.001%，磷含量为0.0035%，硫含量为0.0004%，出钢温度1620℃。

[0134] 预处理渣料包括：氧化钙40份，二氧化硅20份，氧化镁12份，焦粒20份；

[0135] 调渣剂包括：焦粒50份，氧化镁20份，氧化钙30份；

[0136] 在转炉氧气吹炼前一次性加入预处理渣料和调渣剂，加入的总量为35kg/t。

[0137] (3) LF精炼炉精炼

[0138] 在氧气转炉冶炼后的铁水中加入精处理渣料进行造渣提纯，精处理渣料加入量为8kg/t；在LF精炼炉精炼的总时间的1/3的时间点添加复合添加剂进行改性；控制LF终点氧含量380ppm，终点温度在1685℃；

[0139] 精处理渣料包括：氧化钙85份，氟化钙15份；

[0140] 复合添加剂包括：氟化钙40份，氧化钙40份，三氧化二铝20份，发泡剂10份。

[0141] (4) VOD真空炉脱碳、脱氧

[0142] 钢水包到达VOD真空炉后，进行真空深脱碳操作：依次打开三级真空系统，底吹氩气搅拌流量120L/min，同时在上部插入氧枪吹氧流量3000m<sup>3</sup>/h，控制真空度在100Pa以内8.5min；停氧提枪，控制真空度在67Pa以内10min；VOD破空后测温、定氧，后喂入铝线、钙包芯线进行脱氧、脱硫处理，底吹氩气流量30L/min，控制钢水翻滚直径<300mm，软吹16min；控制终点温度1602℃，将钢包送至连铸工序。

[0143] 实施例4

[0144] 生产的初铁中碳含量为3.6%、磷含量为0.008%、硫含量为0.12%、硅含量为0.0032%、锰含量为0.001%。

[0145] 初铁(铁水温度1325℃)经炉外预处理、连续加料电炉冶炼、LF精炼炉精炼、VOD真空炉脱碳脱氧制备成YT4等级工业纯铁，具体步骤如下：

[0146] (1) 炉外预处理

[0147] 使用复合脱硫剂对初铁进行脱硫、调碳，使脱硫、调碳后的铁水的硫含量为0.0010wt%，并对脱硫、调碳后的铁水进行扒渣处理，直至铁水中剩余渣量小于总渣量的

5wt%；

[0148] 复合脱硫剂包括：镁粉19份、氧化钙45份、焦粒7份、氟化钙9份、铁粒6份；复合脱硫剂各成分的添加条件包括：

[0149] 1) 按照焦粒、镁粉、氧化钙的顺序依次喷吹，控制总喷吹时间为5-10min，控制氮气的喷吹流量为50-160m<sup>3</sup>/min，控制喷吹过程中的压力为80-350kPa，喷枪在铁水包的位置位于距离铁水包包底500-800mm处；

[0150] 2) 在铁水温度不低于1300℃时添加铁粒；

[0151] 3) 在炉渣的温度不低于1300℃时添加氟化钙。

[0152] (2) 连续加料电炉冶炼

[0153] 将经炉外预处理后的铁水转入连续加料电炉冶炼，在电炉中加入预处理渣料造渣，预处理渣料的加入量为25kg/t，控制炉渣中氧化铁含量低于28wt%，炉渣碱度为2.2-2.8，加入造渣剂100kg/次，总加入量500kg，每次间隔5min，控制渣层厚度在0.8-1.5m；

[0154] 冶炼前期通过吹氧脱碳提温；冶炼中期控制炉内温度在1540-1580℃；冶炼后期控制碳含量低于0.03%、硅含量低于0.003%、锰含量不高于0.001%、磷含量低于0.004%、硫元素含量低于0.0010%后，通过石墨电极加热控制出钢温度在1620℃。

[0155] 预处理渣料包括：氧化钙33份，二氧化硅17份，氧化镁11份，焦粒13份。

[0156] (3) LF精炼炉精炼

[0157] 在连续加料电炉冶炼后的铁水中加入精处理渣料进行造渣提纯，精处理渣料加入量为7kg/t；在LF精炼炉精炼的总时间的1/3的时间点添加复合添加剂进行改性；控制LF终点氧含量430ppm，终点温度在1696℃；

[0158] 精处理渣料包括：氧化钙78份，氟化钙12份；

[0159] 复合添加剂包括：氟化钙32份，氧化钙32份，三氧化二铝16份，发泡剂9份。

[0160] (4) VOD真空炉脱碳、脱氧

[0161] 钢水包到达VOD真空炉后，进行真空深脱碳操作：依次打开三级真空系统，底吹氩气搅拌流量80L/min，同时在上部插入氧枪吹氧流量2000m<sup>3</sup>/h，控制真空度在100Pa以内9min；停氧提枪，控制真空度在67Pa以内11min；VOD破空后测温、定氧，后喂入铝线、钙包芯线进行脱氧、脱硫处理，底吹氩气流量10L/min，控制钢水翻滚直径<300mm，软吹15min；控制终点温度1608℃，将钢包送至连铸工序。

[0162] 实施例5

[0163] 生产的初铁中碳含量为3.76%、磷含量为0.011%、硫含量为0.098%、硅含量为0.0036%、锰含量为0.001%。

[0164] 初铁(铁水温度1337℃)经炉外预处理、连续加料电炉冶炼、LF精炼炉精炼、VOD真空炉脱碳脱氧制备成YT4等级工业纯铁，具体步骤如下：

[0165] (1) 炉外预处理

[0166] 使用复合脱硫剂对初铁进行脱硫、调碳，使脱硫、调碳后的铁水的硫含量为0.0010wt%，并对脱硫、调碳后的铁水进行扒渣处理，直至铁水中剩余渣量小于总渣量的5wt%；

[0167] 复合脱硫剂包括：镁粉16份、氧化钙35份、焦粒6份、氟化钙7份、铁粒9份；复合脱硫剂各成分的添加条件包括：

[0168] 1) 按照焦粒、镁粉、氧化钙的顺序依次喷吹,控制总喷吹时间为5-10min,控制氮气的喷吹流量为50-160m<sup>3</sup>/min,控制喷吹过程中的压力为80-350kPa,喷枪在铁水包的位置位于距离铁水包包底500-800mm处;

[0169] 2) 在铁水温度不低于1300℃时添加铁粒;

[0170] 3) 在炉渣的温度不低于1300℃时添加氟化钙。

[0171] (2) 连续加料电炉冶炼

[0172] 将经炉外预处理后的铁水转入连续加料电炉冶炼,在电炉中加入预处理渣料造渣,预处理渣料的加入量为30kg/t,控制炉渣中氧化铁含量低于28wt%,炉渣碱度为2.2-2.8,加入造渣剂100kg/次,总加入量400kg,每次间隔6min,控制渣层厚度在0.8-1.5m;

[0173] 冶炼前期通过吹氧脱碳提温;冶炼中期控制炉内温度在1540-1580℃;冶炼后期控制碳含量低于0.03%、硅含量低于0.003%、锰含量不高于0.001%、磷含量低于0.005%、硫元素含量低于0.0010%后,通过石墨电极加热控制出钢温度在1620℃。

[0174] 预处理渣料包括:氧化钙38份,二氧化硅19份,氧化镁9份,焦粒18份。

[0175] (3) LF精炼炉精炼

[0176] 在连续加料电炉冶炼后的铁水中加入精处理渣料进行造渣提纯,精处理渣料加入量为7.5kg/t;在LF精炼炉精炼的总时间的1/3的时间点添加复合添加剂进行改性;控制LF终点氧含量420ppm,终点温度在1710℃;

[0177] 精处理渣料包括:氧化钙83份,氟化钙14份;

[0178] 复合添加剂包括:氟化钙38份,氧化钙37份,三氧化二铝18份,发泡剂7份。

[0179] (4) VOD真空炉脱碳、脱氧

[0180] 钢水包到达VOD真空炉后,进行真空深脱碳操作:依次打开三级真空系统,底吹氩气搅拌流量120L/min,同时在上部插入氧枪吹氧流量3000m<sup>3</sup>/h,控制真空度在100Pa以内8min;停氧提枪,控制真空度在67Pa以内11min;VOD破空后测温、定氧,后喂入铝线、钙包芯线进行脱氧、脱硫处理,底吹氩气流量10L/min,控制钢水翻滚直径<300mm,软吹15min;控制终点温度1615℃,将钢包送至连铸工序。

[0181] 实施例6

[0182] 生产的初铁中碳含量为4.0%、磷含量为0.015%、硫含量为0.09%、硅含量为0.0041%、锰含量为0.001%。

[0183] 初铁(铁水温度1360℃)经炉外预处理、连续加料电炉冶炼、LF精炼炉精炼、VOD真空炉脱碳脱氧制备成YT4等级工业纯铁,具体步骤如下:

[0184] (1) 炉外预处理

[0185] 使用复合脱硫剂对初铁进行脱硫、调碳,使脱硫、调碳后的铁水的硫含量为0.0007wt%,并对脱硫、调碳后的铁水进行扒渣处理,直至铁水中剩余渣量小于总渣量的5wt%;

[0186] 复合脱硫剂包括:镁粉17份、氧化钙30份、焦粒9份、氟化钙6份、铁粒7份;复合脱硫剂各成分的添加条件包括:

[0187] 1) 按照焦粒、镁粉、氧化钙的顺序依次喷吹,控制总喷吹时间为5-10min,控制氮气的喷吹流量为50-160m<sup>3</sup>/min,控制喷吹过程中的压力为80-350kPa,喷枪在铁水包的位置位于距离铁水包包底500-800mm处;

[0188] 2) 在铁水温度不低于1300℃时添加铁粒;

[0189] 3) 在炉渣的温度不低于1300℃时添加氟化钙。

[0190] (2) 连续加料电炉冶炼

[0191] 将经炉外预处理后的铁水转入连续加料电炉冶炼,在电炉中加入预处理渣料造渣,预处理渣料的加入量为35kg/t,控制炉渣中氧化铁含量低于28wt%,炉渣碱度为2.2-2.8,加入造渣剂100kg/次,总加入量600kg,每次间隔4min,控制渣层厚度在0.8-1.5m;

[0192] 冶炼前期通过吹氧脱碳提温;冶炼中期控制炉内温度在1540-1580℃;冶炼后期控制碳含量低于0.03%、硅含量低于0.005%、锰含量不高于0.001%、磷含量低于0.005%、硫元素含量低于0.0010%后,通过石墨电极加热控制出钢温度在1620℃。

[0193] 预处理渣料包括:氧化钙36份,二氧化硅16份,氧化镁10份,焦炭14份。

[0194] (3) LF精炼炉精炼

[0195] 在连续加料电炉冶炼后的铁水中加入精处理渣料进行造渣提纯,精处理渣料加入量为7kg/t;在LF精炼炉精炼的总时间的1/3的时间点添加复合添加剂进行改性;控制LF终点氧含量470ppm,终点温度在1690℃;

[0196] 精处理渣料包括:氧化钙79份,氟化钙11份;

[0197] 复合添加剂包括:氟化钙34份,氧化钙36份,三氧化二铝13份,发泡剂6份。

[0198] (4) VOD真空炉脱碳、脱氧

[0199] 钢水包到达VOD真空炉后,进行真空深脱碳操作:依次打开三级真空系统,底吹氩气搅拌流量100L/min,同时在上部插入氧枪吹氧流量2500m<sup>3</sup>/h,控制真空度在100Pa以内8min;停氧提枪,控制真空度在67Pa以内11min;VOD破空后测温、定氧,后喂入铝线、钙包芯线进行脱氧、脱硫处理,底吹氩气流量10L/min,控制钢水翻滚直径<300mm,软吹15min;控制终点温度1610℃,将钢包送至连铸工序。

[0200] 实施例1-6所得的工业纯铁的成分见表2。

[0201] 表2. 实施例1-6所得工业纯铁的成分。

成分/%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu	Ti
实施例 1	0.0025	0.0032	0.001	0.0023	0.0006	0.004	0.003	0.009	0.001	0.002
实施例 2	0.0018	0.0021	0.001	0.0028	0.0005	0.007	0.002	0.008	0.001	0.003
实施例 3	0.0009	0.0016	0.001	0.0035	0.0004	0.005	0.001	0.010	0.001	0.004
实施例 4	0.0021	0.0030	0.001	0.0040	0.0008	0.003	0.002	0.011	0.001	0.005
实施例 5	0.0010	0.0023	0.001	0.0023	0.006	0.002	0.002	0.008	0.001	0.002
实施例 6	0.0013	0.0021	0.001	0.0026	0.0007	0.003	0.003	0.010	0.001	0.003

[0204] 从表2中得出的数据可见,使用HIsme1t熔融还原法生产的初铁的铁水并使用本发明公开的制备纯铁的过程,可得到铁含量在99.95%以上的高纯铁,满足YT4等级工业纯铁及高纯铁的成分条件,可以实现YT4等级工业纯铁的规模化生产,产品纯度高、生产成本低,质量满足YT4等级工业纯铁和高纯铁的要求,生产过程控制稳定、产品质量优异,可实现高端纯铁的工业化稳定生产。

[0205] 上述具体实施方式不能作为对本发明保护范围的限制,对于本技术领域的技术人员来说,对本发明实施方式所做出的任何替代改进或变换均落在本发明的保护范围内。

[0206] 本发明未详述之处,均为本技术领域技术人员的公知技术。

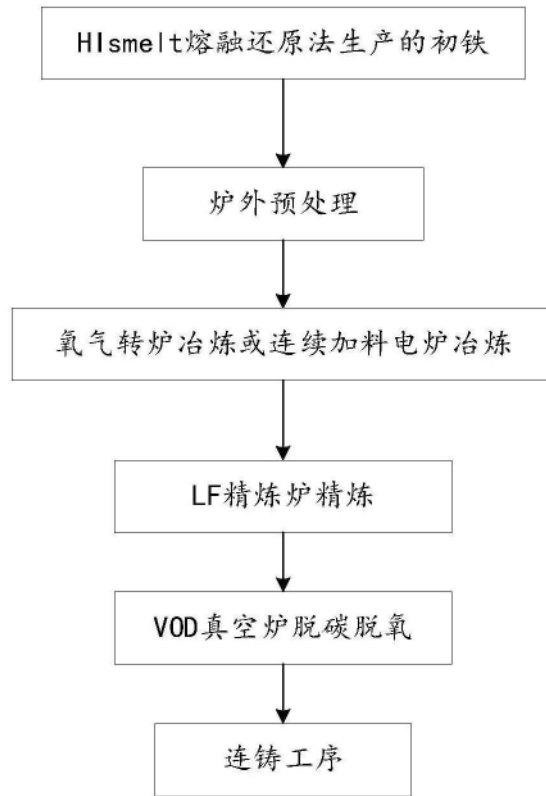


图1