



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109252008 B

(45)授权公告日 2020.08.07

(21)申请号 201811176367.3	C21C 7/064(2006.01)
(22)申请日 2018.10.10	C21C 7/10(2006.01)
(65)同一申请的已公布的文献号	C22C 38/02(2006.01)
申请公布号 CN 109252008 A	C22C 38/04(2006.01)
(43)申请公布日 2019.01.22	C22C 38/06(2006.01)
(73)专利权人 新疆八一钢铁股份有限公司	C22C 38/42(2006.01)
地址 830022 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐	C22C 38/48(2006.01)
市头屯河区八一路1号	C22C 38/50(2006.01)
(72)发明人 吾塔 赵亮 冯跃平 李立民	(56)对比文件
张浩 卜志胜 张爱梅 雷洪	CN 108359900 A,2018.08.03
张建新 郭鹏 郭庆华 丁寅	CN 108559907 A,2018.09.21
(74)专利代理机构 乌鲁木齐新科联知识产权代	CN 101254527 A,2008.09.03
理有限公司 65107	US 2017349963 A1,2017.12.07
代理人 李振中 范秉健	CN 105018855 A,2015.11.04
(51)Int.Cl.	吾塔 等.“X52MS管线钢纯净度的控制”.《新疆钢铁》.2018,(第3期),第13-17页.
C21C 1/02(2006.01)	审查员 李志鹏
C21C 5/28(2006.01)	权利要求书2页 说明书6页

(54)发明名称

一种低碳低氮超低硫钢的生产方法

(57)摘要

本发明涉及一种低碳低氮超低硫钢的生产方法,包括铁水脱硫预处理→转炉吹炼→LF精炼→RH真空精炼→板坯连铸;该方法按照5个步骤进行实施:一是成分设计;二是铁水脱硫预处理,转炉冶炼出钢过程的脱氧合金化及控氮方法,三是LF精炼快速深脱硫方法及控氮方法;四是RH真空精炼脱氮、脱氢渣洗去夹杂;五是板坯中心偏析的控制。本发明大幅度缩短了LF精炼脱硫处理时间,在设定的强化元素低碳条件下,钢中的硫降低到了0.0010%的极低的水平,氮元素不大于0.0035%,板坯中心偏析最大为1.2级,完全满足低氮、超低硫低碳钢的连续批量生产条件。为轧制高品质抗硫化氢腐蚀钢提供了优质板坯。

1. 一种低碳低氮超低硫钢的生产方法,包括铁水脱硫预处理→转炉吹炼→LF精炼→RH真空精炼→板坯连铸;其特征在于:一是成分设计;二是铁水脱硫预处理,转炉冶炼出钢过程的脱氧合金化及控氮方法,三是LF精炼快速深脱硫方法及控氮方法;四是RH真空精炼脱氮、脱氢渣洗去夹杂;五是板坯中心偏析的控制;

1). 成分设计;成分组成以重量百分比: [C]:0.035~0.055%; [Si]:0.15~0.25%; [Mn]:1.10~1.20%; [P]:≤0.015%; [S]:≤0.0012%; [Cr]:0.15~0.23%; [Ni]:0.18~0.26%; [Cu]:0.15~0.23%; [Nb]:0.035~0.045%; [Al]:0.020~0.040%; [Ti]:0.010~0.018%; [Ca]:0.0015~0.0030%; [N]:≤0.0035%,其它为铁和不可避免的杂质;

2). 合金元素的加入方式;铜、镍元素的加入,镍板和铜板通过料斗和废钢一起加入转炉熔炼;铬、硅、锰元素的加入,通过转炉料仓在转炉出钢过程加入钢包钢水中;转炉出钢脱氧,采用的是金属铝脱氧,由于铝的密度小于钢液的密度,铝的加入时机是在转炉出钢1/3时加入;

3). 铁水脱硫预处理;高炉铁水扒渣,铁水罐投入脱硫剂进行脱硫预处理,脱硫剂为活性石灰和萤石,其中活性石灰占95%,萤石5%,脱硫剂加入量每吨铁水为5~5.5kg, KR法搅拌脱硫,脱硫后铁水罐顶渣中加入炉渣凝聚剂:主要成分为CaO+MgO之和≤5%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为15~20%, SiO<sub>2</sub>为60~70%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O之和6~10%, 软熔点温度≤1230℃,铁水预处理后的[S]含量小于0.002%;

4). 转炉冶炼出钢过程的脱氧合金化及控制钢水增氮方法;转炉吹炼时,严禁补吹,防止二次吹氧时熔池冲击坑钢水裸露增氮,其控制参数为供氧压力0.8~0.90MPa,流量25000~27000m<sup>3</sup>/h,强度为3.0~3.5Nm<sup>3</sup>/t·min,吹氧时间17~18min,其中前10分钟,流量25000m<sup>3</sup>/h,供氧强度3.10 Nm<sup>3</sup>/t·min,后期为加强熔池搅拌,氧气流量提高到了27000 m<sup>3</sup>/h,供氧强度提高到了3.3 Nm<sup>3</sup>/t·min;转炉底吹氩搅拌供气强度全程为0.06~0.025Nm<sup>3</sup>/t.min;转炉出钢温度为1645~1665℃,此时[C]含量为0.025~0.040%, [P]含量不大于0.008%, [S]含量不大于0.006%, [N]含量不大于0.0030%;转炉出钢,对钢水进行半脱氧,吨钢加入0.25kg钢芯铝,在LF增加渣量,用硅粉对钢包渣预脱氧,加入量为0.3 kg/t吨钢;然后加入钢包渣改质剂,加入量3.0kg/t吨钢,改质剂主要成分及含量:CaO为25~30%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为45~50%, SiO<sub>2</sub>不大于8%, Al含量为30~35%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量为0.4~0.8%,其中金属铝以铝粒形态加入到改质剂,禁止使用电解铝过程产生的铝粉;转炉出钢结束,4炉钢水中氮含量分别为0.0037%、0.0039%、0.0033%、0.0042%,转炉出钢过程增氮不大于0.0012%;

5). LF精炼造渣、深脱硫、控氮、去夹杂及RH脱氢脱氮;LF精炼造渣、深脱硫、控氮、去夹杂,首先送电提温,依次加入1.0~1.2kg/t吨钢的活性石灰、钢芯铝0.8~1.2kg/t, LF精炼渣发泡剂为白云石、石灰石、SiC的混合物,白云石的主要成分为CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, MgO含量为15~18%、CaO含量22~26%,吨钢加入量0.2kg,粒度为3~5mm;石灰石的主要成分为CaCO<sub>3</sub>, CaO含量为51~54%,加入量为吨钢0.5kg/吨钢,粒度为3~5mm的SiC加入量0.5kg/吨钢,发泡高度可以得到48~55mm;在钢水温度达到1585~1595℃时,蘸炉渣观察流动性良好、有密集的微气孔,停止送电提温;若炉渣反干,流动性差,加入萤石不大于3kg/t,钢包底吹氩强搅拌脱硫,搅拌时间12~15min;

6) 连铸板坯偏析控制;成分设计控制偏析:[C]:0.035~0.055%; [Si]:0.15~0.25%; [Mn]:1.10~1.20%; [P]:≤0.015%; [S]:≤0.0012%;连铸过程控制板坯偏析的方法:精确

LF精炼和RH真空精炼结束温度,LF精炼结束钢水温度范围是1640~1645℃,RH处理结束温度范围是1568~1572℃;板坯连铸过程钢水的保温方法;中间包采用无碳高碱度覆盖剂,主要组份为铺展性好的钝化石灰粉80%,钝化石灰粉主要成分CaO $\geq$ 85%、SiO<sub>2</sub> $\leq$ 5%、S $\leq$ 0.05%,钝化石灰粉的粒度小于0.5mm,轻烧白云石占5~8%,SiO<sub>2</sub>占5~10%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> $\leq$ 5.0%;

连铸采用大包长水口采用密封圈+氩封保护,中间包浸入式水口+氩封保护浇铸;

连铸中间包钢水过热度控制,连铸钢水的过热度计算方法为:

$$T_{\text{过}} = T_{\text{中}} - T_{\text{液}} \quad (1)$$

其中,  $T_{\text{过}}$ , 中间包钢水过热度;  $T_{\text{中}}$ , 中间包钢水温度;  $T_{\text{液}}$ , 钢的液相线温度

钢的液相线温度计算公式, [C] %  $\leq$  0.50% 时:

$$T_{\text{液}} = 1538 - \{55[\text{C}] \% + 80[\text{C}]^2 \% + 13.0[\text{Si}] \% + 4.8[\text{Mn}] \% + 4.3[\text{Ni}] \% + 1.5[\text{Cr}] \% + 30[\text{P}] \% + 30[\text{S}] \% \} \quad (2)$$

液相线温度的确定:熔炼成品的目标值区设计的控制范围的中限,代入(2)式,算出液相线温度 $T_{\text{液}}$ ;  $T_{\text{中}}$ 采用测温枪直接测定中间包钢水温度;把 $T_{\text{中}}$ 和 $T_{\text{液}}$ 代入(1)式获得中间包钢水过热度,连铸中间包钢水过热度控制在10~22℃;

连铸板坯宽1500mm,板坯厚度250mm,设定板坯拉速为0.70~0.80m/min,

0.75m/min恒拉速连铸;连铸板坯凝固末端采用轻压下,压下量控制在5mm~7mm。

## 一种低碳低氮超低硫钢的生产方法

### 技术领域

[0001] 本发明是一种采用LF精炼和RH真空处理双重精炼工艺,生产一种低碳低氮超低硫钢的生产方法,属于钢铁冶金领域。

### 背景技术

[0002] 低氮、超低硫高纯钢,通常应用在抗硫化氢腐蚀的高等级管线钢等领域。由于钢材的C、N、S含量以及板坯的中心偏析对钢材的硫化氢腐蚀性能尤其重要。

[0003] 钢中的C含量可显著降低钢的韧性、塑性和焊接性能。在Nb、Ti复合强化的C、Mn钢中,由于Nb、Ti在钢中的析出粒子主要以尺寸较大的C与Nb、Ti、N的复合粒子存在,立方形的TiN粒子先析出,随后Nb的碳氮化析出物将包裹在TiN外面并以其为核析出,形成立方体形大颗粒夹杂,夹杂尺寸可以达到100 $\mu\text{m}$ 以上,可显著降低钢材的韧性。因此,在成分设计上,在满足钢材力学性能的前提下,尽可能降低钢中的C、N含量。

[0004] S在钢中是有害元素,在抗硫化氢腐蚀管线钢等高等级钢中,对钢中的硫含量有极高的要求,这是因为在石油天然气中硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )是腐蚀能力最强的介质,钢中的碳化物和MnS等夹杂物常在钢材带状珠光体边界析出,在应力作用下,氢易于在此处沉淀而引起微观区域氢脆,产生许多微细裂纹,这些微细裂纹进一步扩大并连接起来,形成为主裂纹。因此通常需要钢材中的硫含量极低。

[0005] 炼钢生产过程的脱硫主要有以下两种,第一种是铁水脱硫预处理、转炉冶炼、转炉出钢温度不小于1695 $^{\circ}\text{C}$ ,出钢过程加入大量的活性石灰,低熔点预熔渣渣洗,钢包低吹氩强搅拌,然后上连铸浇铸。这种模式生产的钢[S]含量最低可达到0.0050%。对于要求[N]  $\leq$  0.0035%,如果钢中的硫含量要求更低,这种生产工艺不能满足生产要求;第二种方式是铁水脱硫预处理、转炉冶炼、LF精炼+RH真空处理、连铸,这种模式生产的钢,硫含量最低可达到S $\leq$ 0.002%, [N]  $\leq$ 0.0055%,但对于[S] $\leq$ 0.001%、[N] $\leq$ 0.0035%的低氮、超低硫低碳钢的生产难以实现。主要原因是,首先由于LF需要深脱硫,造成LF精炼处理时间延长(大于1.5小时),使钢坯连铸中断,难以连续生产;其次由于钢水在LF工位长时间送电精炼,造成钢水氮含量增加;其三是由于深脱硫造成的LF长时间精炼,在钢包底吹氩搅拌作用下,钢包渣线部位耐火材料浸蚀、脱落,导致钢水中高熔点的氧化镁复合夹杂含量增加,钢中的全氧(TO)含量大于0.0025%。因此,批量生产低碳、低氮、超低硫钢是目前冶金领域的一个难题。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种低碳低氮超低硫钢的生产方法,实现在硫化氢高腐蚀极端环境下的便利使用。

[0007] 本发明的目的实现方法:一种低碳低氮超低硫钢的生产方法,包括铁水脱硫预处理 $\rightarrow$ 转炉吹炼 $\rightarrow$ LF精炼 $\rightarrow$ RH真空精炼 $\rightarrow$ 板坯连铸;该方法按照5个步骤进行实施:一是成分设计;二是铁水脱硫预处理,转炉冶炼出钢过程的脱氧合金化及控氮方法,三是LF精炼快速深脱硫方法及控氮方法;四是RH真空精炼脱氮、脱氢渣洗去夹杂;五是板坯中心偏析的控

制;

[0008] 1. 成分设计;

[0009] 成分组成以重量百分比: [C]:0.035~0.055%; [Si]:0.15~0.25%; [Mn]:1.10~1.20%; [P]: $\leq$ 0.015%; [S]: $\leq$ 0.0012%; [Cr]:0.15~0.23%; [Ni]:0.18~0.26%; [Cu]:0.15~0.23%; [Nb]:0.035~0.045%; [Al]:0.020~0.040%; [Ti]:0.010~0.018%; [Ca]:0.0015~0.0030%; [N]: $\leq$ 0.0035%, 其它为铁和不可避免的杂质;

[0010] 2. 合金元素的加入方式;

[0011] ①铜、镍元素的加入, 镍板和铜板通过料斗和废钢一起加入转炉熔炼;

[0012] ②铬、硅、锰元素的加入, 通过转炉料仓在转炉出钢过程加入钢包钢水中;

[0013] ③转炉出钢脱氧, 通常采用的是金属铝脱氧, 由于铝的密度小于钢液的密度, 铝的加入时机通常是在转炉出钢1/3时加入;

[0014] 3. 铁水脱硫预处理;

[0015] 步骤(1), 高炉铁水扒渣, 铁水罐投入脱硫剂进行脱硫预处理, 脱硫剂为活性石灰和萤石, 其中活性石灰占95%, 萤石5%, 脱硫剂加入量每吨铁水为5~5.5kg, KR法搅拌脱硫, 脱硫后铁水罐顶渣中加入炉渣凝聚剂: 主要成分为CaO+MgO之和 $\leq$ 5%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为15~20%, SiO<sub>2</sub>为60~70%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O之和6~10%, 软熔点温度 $\leq$ 1230℃, 铁水预处理后的[S]含量小于0.002%;

[0016] 4. 转炉冶炼出钢过程的脱氧合金化及控制钢水增氮方法;

[0017] ①转炉吹炼时, 严禁补吹, 防止二次吹氧时熔池冲击坑钢水裸露增氮, 其控制参数为供氧压力0.8~0.90MPa, 流量25000~27000m<sup>3</sup>/h, 强度为3.0~3.5Nm<sup>3</sup>/t·min, 吹氧时间17~18min, 其中前10分钟, 流量25000 m<sup>3</sup>/h, 供氧强度3.10 Nm<sup>3</sup>/t·min, 后期为加强熔池搅拌, 氧气流量提高到了27000 m<sup>3</sup>/h, 供氧强度提高到了3.3 Nm<sup>3</sup>/t·min; 转炉底吹氩搅拌供气强度全程为0.06~0.025Nm<sup>3</sup>/t.min; 转炉出钢温度为1645~1665℃, 此时[C]含量为0.025~0.040%, [P]含量不大于0.008%, [S]含量不大于0.006%, [N]含量不大于0.0030%;

[0018] ④转炉出钢, 对钢水进行半脱氧, 吨钢加入0.25kg钢芯铝, 在LF增加渣量, 用硅粉对钢包渣预脱氧, 加入量为0.3 kg/t吨钢; 然后加入钢包渣改质剂, 加入量3.0kg/t吨钢, 改质剂主要成分及含量: CaO为25~30%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为45~50%, SiO<sub>2</sub>不大于8%, Al含量为30~35%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量为0.4~0.8%, 其中金属铝以铝粒形态加入到改质剂, 禁止使用电解铝过程产生的铝粉; 转炉出钢结束, 4炉钢水中氮含量分别为0.0037%、0.0039%、0.0033%、0.0042%, 转炉出钢过程增氮不大于0.0012%;

[0019] 5. LF精炼造渣、深脱硫、控氮、去夹杂及RH脱氢脱氮;

[0020] LF精炼造渣、深脱硫、控氮、去夹杂, 首先送电提温, 依次加入1.0~1.2kg/t吨钢的活性石灰、钢芯铝0.8~1.2kg/t, LF精炼渣发泡剂为白云石、石灰石、SiC的混合物, 白云石的主要成分为CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, MgO含量为15~18%、CaO含量22~26%, 吨钢加入量0.2kg, 粒度为3~5mm; 石灰石的主要成分为CaCO<sub>3</sub>, CaO含量为51~54%, 加入量为吨钢0.5kg/吨钢, 粒度为3~5mm的SiC加入量0.5kg/吨钢, 发泡高度可以得到48~55mm; 在钢水温度达到1585~1595℃时, 蘸炉渣观察流动性良好、有密集的微气孔, 停止送电提温; 若炉渣反干, 流动性差, 加入萤石不大于3kg/t, 钢包底吹氩强搅拌脱硫, 搅拌时间12~15min;

[0021] 6 连铸板坯偏析控制

[0022] (1) 成分设计控制偏析: [C]:0.035~0.055%; [Si]:0.15~0.25%; [Mn]:1.10~1.20%; [P]:≤0.015%; [S]:≤0.0012%;

[0023] (2) 连铸过程控制板坯偏析的方法;

[0024] ①精确LF精炼和RH真空精炼结束温度,LF精炼结束钢水温度范围是1640~1645℃,

[0025] RH处理结束温度范围是1568~1572℃;

[0026] ②板坯连铸过程钢水的保温方法;中间包采用无碳高碱度覆盖剂,主要组份为铺展性好的钝化石灰粉80%,钝化石灰粉主要成分CaO≥85%、SiO<sub>2</sub>≤5%、S≤0.05%,钝化石灰粉的粒度小于0.5mm,轻烧白云石占5~8%,SiO<sub>2</sub>占5~10%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≤5.0;

[0027] ③连铸采用大包长水口采用密封圈+氩封保护,中间包浸入式水口+氩封保护浇铸;一是防止钢水与空气接触,发生氧化,造成钢水在连铸过程增氮,连铸时钢水[N]增量小于0.0005%;二是起到保温作用,防止钢水温度下降过快;

[0028] ④连铸中间包钢水过热度控制,连铸钢水的过热度计算方法为:

$$[0029] \quad T_{\text{过}} = T_{\text{中}} - T_{\text{液}} \quad (1)$$

[0030] 其中,  $T_{\text{过}}$ , 中间包钢水过热度;  $T_{\text{中}}$ , 中间包钢水温度;  $T_{\text{液}}$ , 钢的液相线温度

[0031] 钢的液相线温度计算公式, [C] % ≤ 0.50 % 时:

$$[0032] \quad T_{\text{液}} = 1538 - \{55[C] \% + 80[C]^2 \% + 13.0[Si] \% + 4.8[Mn] \% + 4.3[Ni] \% + 1.5[Cr] \% + 30[P] \% + 30[S] \% \} \quad (2)$$

[0033] 液相线温度的确定:熔炼成品的目标值区设计的控制范围的中限,代入(2)式,算出液相线温度 $T_{\text{液}}$ ;  $T_{\text{中}}$ 采用测温枪直接测定中间包钢水温度;把 $T_{\text{中}}$ 和 $T_{\text{液}}$ 代入(1)式获得中间包钢水过热度,连铸中间包钢水过热度控制在10~22℃;

[0034] ⑤连铸板坯宽1500mm,板坯厚度250mm,设定板坯拉速为0.70~0.80m/min,

[0035] 0.75m/min恒拉速连铸;连铸板坯凝固末端采用轻压下,压下量控制在5mm~7mm。

[0036] 本方法其一是加入硅粉、改质剂、脱氧剂、活性石灰、石灰石、白云石等造渣料使LF精炼渣量增大,吨钢渣量可以达到12~15kg;二是渣中加入的SiC脱氧生成CO<sub>2</sub>,再加上白云石中的MgCO<sub>3</sub>分解产生CO<sub>2</sub>,石灰石中的CaCO<sub>3</sub>分解生成的CO<sub>2</sub>使LF精炼钢包渣渣层厚度从130~150mm增加到约260~350mm。本发明的核心是的粒度控制和加入量,当粒度小于2mm时,CaCO<sub>3</sub>和MgCO<sub>3</sub>快速分解,虽然发泡效果好,但炉渣的发泡持续时间最长不超过3.5分钟;但如果发泡剂的粒度大于6mm钢水温降大,虽然发泡剂分解速度慢,炉渣发泡持续时间长。但钢水温降大,不利于LF精炼快速脱硫。

[0037] 理想的发泡剂的粒度为2~5mm,从送电提温开始分三次加入,每次间隔时间在5~6min,加入总量的1/3,由于加入的发泡剂粒度较大,分解时间长,精炼渣持续发泡时间在5.0~8mm,形成了良好的泡沫渣,很好地起到了埋弧精炼的效果。LF精炼升温速度快,达到4℃/min,缩短了LF提温时间,送电提温时间不大于18分钟,由于埋弧精炼有效防止了LF通电精炼时的钢水裸露,控制了钢水增氮,LF精炼处理结束喂硅钙包芯线降低了钢水喂线过程翻腾增氮,喂硅钙包芯线的使用量为吨钢350m,后钢包软吹氩气搅拌时间为10~15min,为夹杂物的上浮去除创造了条件,LF精炼处理时间控制在45~55min,由于本方法的LF精炼深脱硫时间大幅度缩短,为连铸稳定生产提供了保障。

[0038] LF精炼处理过程钢水的最大增氮量0.0010%，LF精炼处理结束4炉钢水中氮含量分别为0.0045%、0.0046%、0.0043%、0.0048%。LF精炼结束，硫含量为0.00081~0.00125%；

[0039] 本方法生产低氮、超低硫低碳钢的LF精炼终渣成分组成及含量为：CaO：

[0040] 55.0~60.5；SiO<sub>2</sub>：5~10.5；Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>：26.5~31.5；MgO：3.5~5.0；CaF<sub>2</sub>：≤3%；FeO ≤0.50；MnO：≤0.25。

[0041] RH真空精炼处理，利用RH真空状态RH的降管钢流的混冲，使渣乳化和钢液混合，进一步起到对钢水渣洗脱硫和去夹杂的作用。在RH真空度小于200Pa时，RH（真空度小于200Pa）RH抽气时间20 min后，定氢仪检测钢水中的氢含量不大于0.00011%；RH（真空度小于200Pa）处理时间大于25 min，定氢仪检测钢水中的氢含量不大于0.00007%；RH脱氮率可以达到40~45%。RH精炼处理结束炼钢水中氮含量为0.0027~0.0032，有效除去钢中的氮，同时RH真空处理进一步渣洗去夹杂。

[0042] 生产实例验证：

[0043] 采用本方法生产4炉，生产250mm×1500 mm×10500 mm板坯18块，468吨，熔炼成品[S]≤0.0010%、[N]≤0.0033%、[C]≤0.049~0.052%、[T0]≤0.0015%；板坯偏析抽检显示1#~4#分别为1.2级、1.1级、1.0级、1.1级，判定标准为曼内斯曼标准。

[0044] 经生产验证，本发明大幅度缩短了LF精炼脱硫处理时间，在设定的强化元素低碳条件下，钢中的硫降低到了0.0010%的极低的水平，氮元素不大于0.0035%，板坯中心偏析最大为1.2级，完全满足低氮、超低硫低碳钢的连续批量生产条件。为轧制高品质抗硫化氢腐蚀钢提供了优质板坯。

## 具体实施方式

[0045] 一种低碳低氮超低硫钢的生产方法，包括铁水脱硫预处理→转炉吹炼→LF精炼→RH真空精炼→板坯连铸；其特征在于：一是成分设计；二是铁水脱硫预处理，转炉冶炼出钢过程的脱氧合金化及控氮方法，三是LF精炼快速深脱硫方法及控氮方法；四是RH真空精炼脱氮、脱氢渣洗去夹杂；五是板坯中心偏析的控制；

[0046] 1. 成分设计；

[0047] 成分组成以重量百分比：[C]：0.035~0.055%；[Si]：0.15~0.25%；[Mn]：1.10~1.20%；[P]：≤0.015%；[S]：≤0.0012%；[Cr]：0.15~0.23%；[Ni]：0.18~0.26%；[Cu]：0.15~0.23%；[Nb]：0.035~0.045%；[Al]：0.020~0.040%；[Ti]：0.010~0.018%；[Ca]：0.0015~0.0030%；[N]：≤0.0035%，其它为铁和不可避免的杂质；

[0048] 2. 合金元素的加入方式；

[0049] ⑤铜、镍元素的加入，镍板和铜板通过料斗和废钢一起加入转炉熔炼；

[0050] ⑥铬、硅、锰元素的加入，通过转炉料仓在转炉出钢过程加入钢包钢水中；

[0051] ⑦转炉出钢脱氧，通常采用的是金属铝脱氧，由于铝的密度小于钢液的密度，铝的加入时机通常是在转炉出钢1/3时加入；

[0052] 3. 铁水脱硫预处理；

[0053] 步骤(1)，高炉铁水扒渣，铁水罐投入脱硫剂进行脱硫预处理，脱硫剂为活性石灰和萤石，其中活性石灰占95%，萤石5%，脱硫剂加入量每吨铁水为5~5.5kg，KR法搅拌脱硫，脱硫后铁水罐顶渣中加入炉渣凝聚剂：主要成分为CaO+MgO之和≤5%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为15~20%，SiO<sub>2</sub>

为60~70%， $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 之和6~10%，软熔点温度 $\leq 1230^\circ\text{C}$ ，铁水预处理后的[S]含量小于0.002%；

[0054] 4. 转炉冶炼出钢过程的脱氧合金化及控制钢水增氮方法；

[0055] ①转炉吹炼时，严禁补吹，防止二次吹氧时熔池冲击坑钢水裸露增氮，其控制参数为供氧压力0.8~0.90MPa，流量25000~27000 $\text{m}^3/\text{h}$ ，强度为3.0~3.5 $\text{Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ ，吹氧时间17~18min，其中前10分钟，流量25000 $\text{m}^3/\text{h}$ ，供氧强度3.10 $\text{Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ ，后期为加强熔池搅拌，氧气流量提高到了27000 $\text{m}^3/\text{h}$ ，供氧强度提高到了3.3 $\text{Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ ；转炉底吹氩搅拌供气强度全程为0.06~0.025 $\text{Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ ；转炉出钢温度为1645~1665 $^\circ\text{C}$ ，此时[C]含量为0.025~0.040%，[P]含量不大于0.008%，[S]含量不大于0.006%，[N]含量不大于0.0030%；

[0056] ⑧转炉出钢，对钢水进行半脱氧，吨钢加入0.25kg钢芯铝，在LF增加渣量，用硅粉对钢包渣预脱氧，加入量为0.3 $\text{kg}/\text{t}$ 吨钢；然后加入钢包渣改质剂，加入量3.0kg/t吨钢，改质剂主要成分及含量： $\text{CaO}$ 为25~30%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 为45~50%， $\text{SiO}_2$ 不大于8%，Al含量为30~35%， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量为0.4~0.8%，其中金属铝以铝粒形态加入到改质剂，禁止使用电解铝过程产生的铝粉；转炉出钢结束，4炉钢水中氮含量分别为0.0037%、0.0039%、0.0033%、0.0042%，转炉出钢过程增氮不大于0.0012%；

[0057] 5. LF精炼造渣、深脱硫、控氮、去夹杂及RH脱氢脱氮；

[0058] LF精炼造渣、深脱硫、控氮、去夹杂，首先送电提温，依次加入1.0~1.2kg/t吨钢的活性石灰、钢芯铝0.8~1.2kg/t，LF精炼渣发泡剂为白云石、石灰石、SiC的混合物，白云石的主要成分为 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ，MgO含量为15~18%、CaO含量22~26%，吨钢加入量0.2kg，粒度为3~5mm；石灰石的主要成分为 $\text{CaCO}_3$ ，CaO含量为51~54%，加入量为吨钢0.5kg/吨钢，粒度为3~5mm的SiC加入量0.5kg/吨钢，发泡高度可以得到48~55mm；在钢水温度达到1585~1595 $^\circ\text{C}$ 时，蘸炉渣观察流动性良好、有密集的微小气孔，停止送电提温；若炉渣反干，流动性差，加入萤石不大于3kg/t，钢包底吹氩强搅拌脱硫，搅拌时间12~15min；

[0059] 6 连铸板坯偏析控制

[0060] (2) 成分设计控制偏析：[C]:0.035~0.055%；[Si]:0.15~0.25%；[Mn]:1.10~1.20%；[P]: $\leq 0.015\%$ ；[S]: $\leq 0.0012\%$ ；

[0061] (2) 连铸过程控制板坯偏析的方法；

[0062] ⑥精确LF精炼和RH真空精炼结束温度，LF精炼结束钢水温度范围是1640~1645 $^\circ\text{C}$ ，

[0063] RH处理结束温度范围是1568~1572 $^\circ\text{C}$ ；

[0064] ⑦板坯连铸过程钢水的保温方法；中间包采用无碳高碱度覆盖剂，主要组份为铺

[0065] 展性好的钝化石灰粉80%，钝化石灰粉主要成分 $\text{CaO}\geq 85\%$ 、 $\text{SiO}_2\leq 5\%$ 、 $\text{S}\leq 0.05\%$ ，钝化石灰粉的粒度小于0.5mm，轻烧白云石占5~8%， $\text{SiO}_2$ 占5~10%、 $\text{Al}_2\text{O}_3\leq 5.0$ ；

[0066] ⑧连铸采用大包长水口采用密封圈+氩封保护，中间包浸入式水口+氩封保护浇铸；

[0067] 一是防止钢水与空气接触，发生氧化，造成钢水在连铸过程增氮，连铸时钢水[N]增量小于0.0005%；二是起到保温作用，防止钢水温度下降过快；

[0068] ⑨连铸中间包钢水过热度控制，连铸钢水的过热度计算方法为：

[0069]  $T_{\text{过}} = T_{\text{中}} - T_{\text{液}}$  (1)



[0070] 其中,  $T_{\text{过}}$ , 中间包钢水过热度;  $T_{\text{中}}$ , 中间包钢水温度;  $T_{\text{液}}$ , 钢的液相线温度

[0071] 钢的液相线温度计算公式,  $[C] \% \leq 0.50\%$  时:

[0072]  $T_{\text{液}} = 1538 - \{55[C] \% + 80[C]^2 \% + 13.0[\text{Si}] \% + 4.8[\text{Mn}] \% + 4.3[\text{Ni}] \% + 1.5[\text{Cr}] \% + 30[\text{P}] \% + 30[\text{S}] \%$  (2)

[0073] 液相线温度的确定: 熔炼成品的目标值区设计的控制范围的中限, 代入(2)式, 算出液相线温度  $T_{\text{液}}$ ;  $T_{\text{中}}$  采用测温枪直接测定中间包钢水温度; 把  $T_{\text{中}}$  和  $T_{\text{液}}$  代入(1)式获得中间包钢水过热度, 连铸中间包钢水过热度控制在  $10 \sim 22^{\circ}\text{C}$ ;

[0074] ⑩连铸板坯宽1500mm, 板坯厚度250mm, 设定板坯拉速为  $0.70 \sim 0.80\text{m}/\text{min}$ ,

[0075]  $0.75\text{m}/\text{min}$  恒拉速连铸; 连铸板坯凝固末端采用轻压下, 压下量控制在  $5\text{mm} \sim 7\text{mm}$ 。