



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107052294 A

(43)申请公布日 2017.08.18

(21)申请号 201710382573.9

(22)申请日 2017.05.26

(71)申请人 江苏省沙钢钢铁研究院有限公司
地址 215625 江苏省苏州市张家港市锦丰
镇永新路沙钢钢铁研究院

(72)发明人 徐松 邹长东 周青峰 苏笃星

(51) Int. Cl.

B22D 11/22(2006.01)

C22C 38/02(2006.01)

C22C 38/04(2006.01)

权利要求书1页 说明书7页

(54)发明名称

一种减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法

(57)摘要

本发明公开了一种减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法,包括一次冷却和二次冷却。在充分考虑结晶器进水温度、季节或环境温度变化影响的基础上,给出连铸时合理的一次冷却水量、二冷水量控制方程,在此基础上,调整合适的二冷各区水量分配比,其中1区35~40%、除1区和末区外的中间区52~60%、末区5~8%,从而更加稳定地控制弯曲矫直区域铸坯的角部温度,合理避开低碳含硼钢的第三脆性温度区间。本发明通过优化控制低碳含硼钢小方坯连铸冷却工艺,使铸坯的角部裂纹缺陷大幅减少,裂纹发生率由原来的6.67%降低至0.5%以内,能够稳定控制铸坯的表面质量,提高最终产品的质量。

1. 一种减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法,其特征在于:具体步骤包括:

(1) 钢水冶炼:铁水经转炉或电炉再到LF精炼获得C(wt%) \leq 0.3%、B(wt%):5~50ppm的钢水,钢水其余元素按所炼目标钢种的成品要求进行控制;

(2) 连铸过程:连铸过程中采用全保护浇注,控制低碳含硼钢小方坯在矫直位置角部温度大于970℃,控制措施为:

一次冷却满足:

$$Q_m = k_1 \frac{(C_{\text{上}} + C_{\text{下}})}{2} L \rho + 0.35(T_m - 30), \quad k_1 = 0.029 \sim 0.031,$$

其中: Q_m -一次冷却水量, m^3/h ; $C_{\text{上}}$ -结晶器上口周长,m; $C_{\text{下}}$ -结晶器下口周长,m; L -结晶器有效高度,m; ρ -钢水密度, kg/m^3 ; T_m -结晶器进水温度, $^{\circ}C$;

二次冷却满足:

$$Q_s = k_2 \rho V S + 0.8(T_s - 25), \quad k_2 = 0.90 \sim 0.96,$$

其中: Q_s -二次冷却水量, L/min ; V -连铸机拉速, m/min ; S -铸坯横断面面积, m^2 ; ρ -钢水密度, kg/m^3 ; T_s -环境温度, $^{\circ}C$ 。

2. 根据权利要求1所述的减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法,其特征在于:所述二次冷却水量的各区分配为1区35~40%、除1区和末区外的中间区52~60%、末区5~8%。

3. 根据权利要求1所述的减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法,其特征在于:所述全保护浇注过程中钢水的过热度为25~35℃,结晶器进水温度为28~32℃。

4. 根据权利要求1-3中任一权利要求所述的减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法,其特征在于:所述的低碳含硼钢小方坯断面为(130×130)~(160×160) mm^2 。

一种减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法

技术领域

[0001] 本发明属于方坯连铸技术领域。具体来说,本发明涉及一种减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法。

背景技术

[0002] 低碳加硼钢是典型的方坯连铸生产钢种之一,在国民生产中有着广泛的用途。其主要特点在于往钢中添加了5~50ppm的硼元素,硼是能显著提高钢淬透性的元素之一,由于硼易在奥氏体晶界偏聚,抑制先共析铁素体在奥氏体晶界的形核,促进贝氏体和马氏体的形成,从而可以较大程度地提高钢的强度。

[0003] 在低碳加硼钢的连铸过程中,其铸坯表面较易产生角部裂纹,包括角部星状裂纹、爪状裂纹、横裂纹等,从而导致轧材大量返废,影响产品质量。研究表明,在低碳加硼钢的凝固过程中,钢中的微合金元素B易与C、N元素生成碳氮化物,这种第二相粒子在粗大的奥氏体晶界析出,易引起晶界脆性,降低钢的热塑性,扩大钢的第三脆性温度区间,导致钢的裂纹敏感性增加。当铸坯受到外力特别是弯曲矫直应力的作用时,铸坯角部温度若处于钢种的第三脆性区间内,此时铸坯受到高于本身所能承受的应力作用即容易产生角部裂纹。

[0004] 目前,改善加硼钢铸坯表面质量的途径主要有两种,一种是通过加钛元素固氮(生成稳定的TiN)来抑制加硼钢凝固过程BN的析出,从而改善钢种的高温力学性能,减少铸坯角部裂纹的产生。另一种是提高连铸弯曲矫直区域铸坯角部温度,尽可能避开第三脆性区温度范围,从而控制铸坯角部裂纹的产生。其中第一种途径需要添加昂贵的合金元素钛,具有较高的成本。第二种途径研究者们主要从连铸相关工艺要素出发,提出优化结晶器保护渣参数、提高拉速、减少结晶器水量、降低二冷水量等措施,通过采取这些措施,提高矫直位置铸坯的角部温度以尽可能避开第三脆性温度区间。然而在实际生产过程中,现有技术往往存在如下问题:

[0005] (1) 连铸冷却工艺未能充分考虑结晶器进水温度、季节或环境温度变化对冷却效果的影响,导致低碳含硼钢生产时角部裂纹时有发生,有时角部裂纹缺陷控制得较好,而有时工艺虽然相同,但角部裂纹发生率又较高,难以稳定控制;

[0006] (2) 为了尽可能提高铸坯角部温度,现有技术往往过分地减小结晶器水量,这将导致出结晶器坯壳厚度减薄,出结晶器后,若二冷水量及各区水量分配不合理,坯壳强度将难以抵抗钢水静压力,增大漏钢的可能性,给生产带来严重的后果。

发明内容

[0007] 针对现有技术存在的问题,本发明的目的在于提供一种减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法。通过考虑结晶器进水温度、季节或环境温度变化的影响,给出合理的结晶器水量、二冷水量控制方程,在此基础上再通过调整合适的二冷各区水量分配比,从而更加稳定地控制弯曲矫直区域铸坯的角部温度,使其高于低碳硼钢的第三脆性区,降低低碳含硼钢角部裂纹的产生。

[0008] 为解决上述的技术问题,本发明采用如下技术方案:

[0009] 一种减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法,具体步骤包括:

[0010] (1) 钢水冶炼:铁水经转炉或电炉再到LF精炼获得C(wt%) \leq 0.3%、B(wt%):5~50ppm的钢水,钢水其余元素按所炼目标钢种的成品要求进行控制;

[0011] (2) 连铸过程:连铸过程中采用全保护浇注,控制低碳含硼钢小方坯在矫直位置角部温度大于970℃,控制措施为:

[0012] 一次冷却满足:

$$[0013] \quad Q_m = k_1 \frac{(C_{\text{上}} + C_{\text{下}})}{2} L \rho + 0.35(T_m - 30) \quad k_1 = 0.029 \sim 0.031,$$

[0014] 其中: Q_m -一次冷却水量, m^3/h ; $C_{\text{上}}$ -结晶器上口周长, m ; $C_{\text{下}}$ -结晶器下口周长, m ; L -结晶器有效高度, m ; ρ -钢水密度, kg/m^3 ; T_m -结晶器进水温度, $^{\circ}\text{C}$;

[0015] 二次冷却满足:

$$[0016] \quad Q_s = k_2 \rho V S + 0.8(T_s - 25), \quad k_2 = 0.90 \sim 0.96,$$

[0017] 其中: Q_s -二次冷却水量, L/min ; V -连铸机拉速, m/min ; S -铸坯横断面面积, m^2 ; ρ -钢水密度, kg/m^3 ; T_s -环境温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

[0018] 进一步,所述的减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法中二次冷却水量的各区分配为1区35~40%、除1区和末区外的中间区52~60%、末区5~8%。

[0019] 进一步,所述的减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法中全保护浇注过程中钢水的过热度为25~35℃,结晶器进水温度为28~32℃。

[0020] 更进一步,所述的减少低碳含硼钢小方坯角部裂纹的方法中低碳含硼钢小方坯断面为(130×130)~(160×160) mm^2 。

[0021] 与现有技术相比较,本发明至少具有如下有益效果:

[0022] 1. 本发明提出的冷却方法包括了一次冷却和二次冷却,通过总结分别给出了一次和二次冷却水量的控制方程。其中,一次冷却考虑了结晶器进水温度的影响,二次冷却考虑了季节或环境温度变化对冷却效果的影响,具有一定的实际意义。

[0023] 2. 由于裂纹敏感性钢种一般采用弱冷工艺,本发明为保证出结晶器坯壳厚度,减少漏钢的发生概率,增加二次冷却中1区的水量,以增加坯壳强度,减少二冷末区水量,可增加辐射段的回温,进一步合理提高矫直段铸坯角部温度,使铸坯的角部裂纹缺陷得到了较好的控制,裂纹发生率由原来的6.67%降低至0.5%以内,能够稳定控制铸坯的表面质量,进而提高成品的最终质量。

具体实施方式

[0024] 下面结合实施例对本发明作详细说明。

[0025] 实施例1

[0026] 某低碳含硼钢SAE1006B,除铁元素外其他成分的重量百分比如表1所示:

[0027] 表1 SAE1006B钢主要化学成分(wt%)

[0028]

元素	C	Si	Mn	P	S	B
成分	0.05~0.08	0.04~0.10	0.22~0.32	\leq 0.020	\leq 0.015	0.0008~0.0014

[0029] 低碳含硼钢SAE1006B生产时,钢水成分按表1进行控制。连铸机生产断面为 $140 \times 140\text{mm}^2$,生产时中间包过热度为 $31 \sim 34^\circ\text{C}$,结晶器进水温度为 28°C ,一次冷却水量(结晶器水量) Q_m (m^3/h)与结晶器上口周长 $C_{\text{上}}$ (m)、下口周长 $C_{\text{下}}$ (m)、结晶器有效高度 L (m)、钢水密度 ρ (kg/m^3)及结晶器进水温度 T_m ($^\circ\text{C}$)满足如下关系:

$$[0030] \quad Q_m = k_1 \frac{(C_{\text{上}} + C_{\text{下}})}{2} L \rho + 0.35(T_m - 30) \quad k_1 = 0.029 \sim 0.031$$

[0031] 其中,结晶器上口周长 $C_{\text{上}}$ 为 0.612m ,结晶器下口周长 $C_{\text{下}}$ 为 0.572m ,结晶器有效高度 L 为 0.8m ,钢水密度 ρ 取 $7.6 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$, k_1 取值 0.03 。

[0032] 连铸生产时,外部环境温度为 20°C ,二次冷却水量 Q_s (L/min)与连铸机拉速 V (m/min)、铸坯横断面面积 S (m^2)、钢水密度 ρ (kg/m^3)及环境温度 T_s ($^\circ\text{C}$)满足如下关系:

$$[0033] \quad Q_s = k_2 \rho V S + 0.8(T_s - 25), \quad (k_2 = 0.90 \sim 0.96)$$

[0034] 其中,连铸机拉速 V 为 $2.7\text{m}/\text{min}$,铸坯横断面面积 S 为 0.0196m^2 ,钢水密度 ρ 取 $7.6 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$, k_2 取值 0.91 。

[0035] 该连铸机二冷共有4各区,二冷水量的各区分配为1区 36% 、2区 42% 、3区 16% 、4区 6% ,故连铸冷却工艺参数如表2所示。

[0036] 表2连铸冷却工艺参数

[0037]

拉速, m/min	过热度, $^\circ\text{C}$	结晶器水 量, kg/m^3	二冷总水 量, L/min	1区水 量, L/min	2区水 量, L/min	3区水 量, L/min	4区水 量, L/min
2.7	31~34	107.2	366.0	131.8	153.7	58.6	21.9

[0038] 生产过程中采用FLIR红外热像仪对矫直位置铸坯角部温度进行测量,铸坯角部温度大于 982°C 。最终,经检验本连铸冷却工艺生产的低碳含硼钢SAE1006B小方坯角部未发现裂纹缺陷。

[0039] 对比实施例1

[0040] 某低碳含硼钢SAE1006B,除铁元素外其他成分的重量百分比如表1所示。低碳含硼钢SAE1006B生产时,钢水成分按表1进行控制。连铸机生产断面为 $140 \times 140\text{mm}^2$,生产时中间包过热度为 $31 \sim 34^\circ\text{C}$,结晶器进水温度为 28°C ,一次冷却水量(结晶器水量) Q_m (m^3/h)采用固定值 $110\text{m}^3/\text{h}$;连铸生产时,外部环境温度为 20°C ,铸机拉速为 $2.7\text{m}/\text{min}$,二次冷却水量 Q_s (L/min)仅与拉速满足关系 $Q_s = 1.23V$ 。该连铸机二冷共有4各区,二冷水量的各区分配为1区 35.1% 、2区 41.5% 、3区 13.3% 、4区 10.1% ,故连铸冷却工艺参数如表3所示。

[0041] 表3连铸冷却工艺参数

[0042]

拉速, m/min	过热度, $^\circ\text{C}$	结晶器水 量, kg/m^3	二冷总水 量, L/min	1区水 量, L/min	2区水 量, L/min	3区水 量, L/min	4区水 量, L/min
2.7	31~34	110.0	507.6	178.2	210.6	67.5	51.3

[0043] 生产过程中采用FLIR红外热像仪对矫直位置铸坯角部温度进行测量,铸坯角部温

度小于920℃。最终,经检验本连铸冷却工艺生产的低碳含硼钢SAE1006B小方坯角部发现有明显的裂纹缺陷。

[0044] 实施例2

[0045] 某低碳含硼钢SAE1022B,除铁元素外其他成分的重量百分比如表4所示,

[0046] 表4 SAE1022B钢主要化学成分(wt/%)

[0047]

元素	C	Si	Mn	P	S	B
成分	0.20~0.23	0.17~0.25	0.80~0.88	≤0.020	≤0.015	0.0010~0.0020

[0048] 低碳含硼钢SAE1022B生产时,钢水成分按表4进行控制。连铸机生产断面为140×140mm²生产时中间包过热度控制为26~29℃,结晶器进水温度为32℃,一次冷却水量(结晶器水量)Q_m(m³/h)与结晶器上口周长C_上(m)、下口周长C_下(m)、结晶器有效高度L(m)、钢水密度ρ(kg/m³)及结晶器进水温度T_m(℃)满足如下关系:

$$[0049] \quad Q_m = k_1 \frac{(C_{上} + C_{下})}{2} L \rho + 0.35(T_m - 30) \quad (k_1 = 0.029 \sim 0.031)$$

[0050] 其中,结晶器上口周长C_上为0.612m,结晶器下口周长C_下为0.572m,结晶器有效高度L为0.80m,钢水密度ρ取7.6×10³kg/m³,k₁值取0.03。

[0051] 连铸生产时,外部环境温度为30℃,二次冷却水量Q_s(L/min)与连铸机拉速V(m/min)、铸坯横断面面积S(m²)、钢水密度ρ(kg/m³)及环境温度T_s(℃)满足如下关系:

$$[0052] \quad Q_s = k_2 \rho V S + 0.8(T_s - 25), \quad (k_2 = 0.90 \sim 0.96)$$

[0053] 其中,连铸机拉速V为2.5m/min,铸坯横断面面积S为0.0196m²,钢水密度ρ取7.6×10³kg/m³,k₂值取0.95。

[0054] 该连铸机二冷共有4各区,二冷水量的各区分配为1区35%、2区40%、3区18%、4区7%,故连铸冷却工艺参数如表5所示。

[0055] 表5连铸冷却工艺参数

[0056]

拉速, m/min	过热度,℃	结晶器水 量,kg/m ³	二冷总水 量,L/min	1区水 量,L/min	2区水 量,L/min	3区水 量,L/min	4区水 量,L/min
2.5	26~29	108.7	357.7	125.2	143.1	64.4	25.0

[0057] 生产过程中采用FLIR红外热像仪对矫直位置铸坯角部温度进行测量,铸坯角部温度控制大于975℃。最终,经检验本连铸冷却工艺生产的低碳含硼钢SAE1022B小方坯角部未发现裂纹缺陷。

[0058] 对比实施例2

[0059] 某低碳含硼钢SAE1022B,除铁元素外其他成分的重量百分比如表4所示。低碳含硼钢SAE1022B生产时,钢水成分按表4进行控制。连铸机生产断面为140×140mm²,生产时中间包过热度为26~29℃,结晶器进水温度为32℃,一次冷却水量(结晶器水量)Q_m(m³/h)采用固定值110m³/h;连铸生产时,外部环境温度为20℃,铸机拉速为2.5m/min,二次冷却水量Q_s(L/min)仅与拉速满足关系Q_s=1.23V。该连铸机二冷共有4各区,二冷水量的各区分配为1区35.1%、2区41.5%、3区13.3%、4区10.1%,故连铸冷却工艺参数如表6所示。

[0060] 表6连铸冷却工艺参数

[0061]

拉速, m/min	过热度,℃	结晶器水 量,kg/m ³	二冷总水 量,L/min	1区水 量,L/min	2区水 量,L/min	3区水 量,L/min	4区水 量,L/min
2.5	26~29	110.0	470	165.0	195.0	62.5	47.5

[0062] 生产过程中采用FLIR红外热像仪对矫直位置铸坯角部温度进行测量,铸坯角部温度小于910℃。最终,经检验本连铸冷却工艺生产的低碳含硼钢SAE1022B小方坯角部发现有明显的裂纹缺陷。

[0063] 实施例3

[0064] 某低碳含硼钢SAE1012B,除铁元素外其他成分的重量百分比如表7所示:

[0065] 表7 SAE1012B钢主要化学成分(wt/%)

[0066]

元素	C	Si	Mn	P	S	B
成分	0.11~0.14	0.23~0.30	0.54~0.60	≤0.020	≤0.015	0.0008~0.0020

[0067] 低碳含硼钢SAE1012B生产时,钢水成分按表7进行控制。连铸机生产断面为150×150mm²,生产时中间包过热度为32~35℃,结晶器进水温度为30℃,一次冷却水量(结晶器水量) Q_m (m³/h)与结晶器上口周长 $C_{上}$ (m)、下口周长 $C_{下}$ (m)、结晶器有效高度 L (m)、钢水密度 ρ (kg/m³)及结晶器进水温度 T_m (℃)满足如下关系:

$$[0068] \quad Q_m = k_1 \frac{(C_{上} + C_{下})}{2} L \rho + 0.35(T_m - 30), k_1 = 0.029 \sim 0.031$$

[0069] 其中,结晶器上口周长 $C_{上}$ 为0.656m,结晶器下口周长 $C_{下}$ 为0.612m,结晶器有效高度 L 为0.8m,钢水密度 ρ 取 7.6×10^3 kg/m³, k_1 值取0.029。

[0070] 连铸生产时,外部环境温度为25℃,二次冷却水量 Q_s (L/min)与连铸机拉速 V (m/min)、铸坯横断面面积 S (m²)、钢水密度 ρ (kg/m³)及环境温度 T_s (℃)满足如下关系:

$$[0071] \quad Q_s = k_2 \rho V S + 0.8(T_s - 25), (k_2 = 0.90 \sim 0.96)$$

[0072] 其中,连铸机拉速 V 为2.6m/min,铸坯横断面面积 S 为0.0225m²,钢水密度 ρ 取 7.6×10^3 kg/m³, k_2 值取0.93。

[0073] 该连铸机二冷共有4各区,二冷水量的各区分配为1区36%、2区40%、3区17%、4区7%,故连铸冷却工艺参数如表8所示。

[0074] 表8连铸冷却工艺参数

[0075]

拉速, m/min	过热度,℃	结晶器水 量,kg/m ³	二冷总水 量,L/min	1区水 量,L/min	2区水 量,L/min	3区水 量,L/min	4区水 量,L/min
2.6	32~35	111.7	413.5	148.8	165.4	70.3	28.9

[0076] 生产过程中采用FLIR红外热像仪对矫直位置铸坯角部温度进行测量,铸坯角部温度大于978℃。最终,经检验本连铸冷却工艺生产的低碳含硼钢SAE1012B小方坯角部未发现裂纹缺陷。

[0077] 对比实施例3

[0078] 某低碳含硼钢SAE1012B,除铁元素外其他成分的重量百分比如表7所示。低碳含硼钢SAE1012B生产时,钢水成分按表7进行控制。连铸机生产断面为 $150 \times 150\text{mm}^2$,生产时中间包过热度为 $32 \sim 35^\circ\text{C}$,结晶器进水温度为 30°C ,一次冷却水量(结晶器水量) Q_m (m^3/h)采用固定值 $115\text{m}^3/\text{h}$;连铸生产时,外部环境温度为 25°C ,铸机拉速为 $2.6\text{m}/\text{min}$,二次冷却水量 Q_s (L/min)仅与拉速满足关系 $Q_s = 1.12V$ 。该连铸机二冷共有4各区,二冷水量的各区分配为1区 35.3% 、2区 42.8% 、3区 12.1% 、4区 9.8% ,故连铸冷却工艺参数如表9所示。

[0079] 表9连铸冷却工艺参数

[0080]

拉速, m/min	过热度, $^\circ\text{C}$	结晶器水 量, kg/m^3	二冷总水 量, L/min	1区水 量, L/min	2区水 量, L/min	3区水 量, L/min	4区水 量, L/min
2.6	$32 \sim 35$	115.0	449.8	158.6	192.4	54.6	44.2

[0081] 生产过程中采用FLIR红外热像仪对矫直位置铸坯角部温度进行测量,铸坯角部温度小于 915°C 。最终,经检验本连铸冷却工艺生产的低碳含硼钢SAE1012B小方坯角部发现有明显的裂纹缺陷。

[0082] 实施例4

[0083] 某低碳含硼钢SAE1017B,除铁元素外其他成分的重量百分比如表10所示:

[0084] 表10 SAE1017B钢主要化学成分 (wt/%)

[0085]

元素	C	Si	Mn	P	S	B
成分	$0.15 \sim 0.19$	$0.17 \sim 0.24$	$0.35 \sim 0.42$	≤ 0.020	≤ 0.015	$0.0008 \sim 0.0020$

[0086] 低碳含硼钢SAE1017B生产时,钢水成分按表10进行控制。连铸机生产断面为 $150 \times 150\text{mm}^2$,生产时中间包过热度为 $28 \sim 31^\circ\text{C}$,结晶器进水温度为 31°C ,一次冷却水量(结晶器水量) Q_m (m^3/h)与结晶器上口周长 C_E (m)、下口周长 C_F (m)、结晶器有效高度 L (m)、钢水密度 ρ (kg/m^3)及结晶器进水温度 T_m ($^\circ\text{C}$)满足如下关系:

$$[0087] \quad Q_m = k_1 \frac{(C_E + C_F)}{2} L \rho + 0.35(T_m - 30), k_1 = 0.029 \sim 0.031$$

[0088] 其中,结晶器上口周长 C_E 为 0.656m ,结晶器下口周长 C_F 为 0.612m ,结晶器有效高度 L 为 0.8m ,钢水密度 ρ 取 $7.6 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$, k_1 值取 0.029 。

[0089] 连铸生产时,外部环境温度为 28°C ,二次冷却水量 Q_s (L/min)与连铸机拉速 V (m/min)、铸坯横断面面积 S (m^2)、钢水密度 ρ (kg/m^3)及环境温度 T_s ($^\circ\text{C}$)满足如下关系:

$$[0090] \quad Q_s = k_2 \rho V S + 0.8(T_s - 25), (k_2 = 0.90 \sim 0.96)$$

[0091] 其中,连铸机拉速 V 为 $2.5\text{m}/\text{min}$,铸坯横断面面积 S 为 0.0225m^2 ,钢水密度 ρ 取 $7.6 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$, k_2 值取 0.91 。

[0092] 该连铸机二冷共有4各区,二冷水量的各区分配为1区 35% 、2区 40% 、3区 18% 、4区 7% ,故连铸冷却工艺参数如表11所示。

[0093] 表11连铸冷却工艺参数

[0094]

拉速, m/min	过热度,℃	结晶器水 量,kg/m ³	二冷总水 量,L/min	1区水 量,L/min	2区水 量,L/min	3区水 量,L/min	4区水 量,L/min
2.5	28~31	115.0	391.4	137.0	156.6	70.4	27.4

[0095] 生产过程中采用FLIR红外热像仪对矫直位置铸坯角部温度进行测量,铸坯角部温度大于975℃。最终,经检验本连铸冷却工艺生产的低碳含硼钢SAE1017B小方坯角部未发现裂纹缺陷。

[0096] 对比实施例4

[0097] 某低碳含硼钢SAE1017B,除铁元素外其他成分的重量百分比如表10所示。低碳含硼钢SAE1017B生产时,钢水成分按表10进行控制。连铸机生产断面为150×150mm²,生产时中间包过热度为28~31℃,结晶器进水温度为31℃,一次冷却水量(结晶器水量)Q_m(m³/h)采用固定值115m³/h;连铸生产时,外部环境温度为28℃,铸机拉速为2.5m/min,二次冷却水量Q_s(L/min)仅与拉速满足关系Q_s=1.12V。该连铸机二冷共有4各区,二冷水量的各区分配为1区35.3%、2区42.8%、3区12.1%、4区9.8%,故连铸冷却工艺参数如表12所示。

[0098] 表12连铸冷却工艺参数

[0099]

拉速, m/min	过热度,℃	结晶器水 量,kg/m ³	二冷总水 量,L/min	1区水 量,L/min	2区水 量,L/min	3区水 量,L/min	4区水 量,L/min
2.5	28~31	115.0	432.5	152.5	185.0	52.5	42.5

[0100] 生产过程中采用FLIR红外热像仪对矫直位置铸坯角部温度进行测量,铸坯角部温度小于910℃。最终,经检验本连铸冷却工艺生产的低碳含硼钢SAE1017B小方坯角部发现有明显的裂纹缺陷。

[0101] 经过半年1800多炉次的生产实践,统计结果数据表明:采用该本发明方法后,低碳含硼钢小方坯角部裂纹发生率由原来的6.67%降低至0.5%以内,能够较为稳定控制铸坯表面质量。

[0102] 本发明的上述实施例仅仅是为说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其他不同形式的变化和变动。这里无法对所有的实施方式予以穷举。凡是属于本发明的技术方案所引申出的显而易见的变化或变动仍处于本发明的保护范围之列。