

钢液过热度控制对连铸工艺和铸坯质量的影响

鲁路 鲁开焱

(西安建筑科技大学冶金工程学院,西安 710055)

摘要 研究了25 t钢包炉和16 t中间包中GCr15、60Si2Mn、40Cr和20钢液的过热度控制。钢液过热度控制主要取决于钢包衬蓄热过程达到平衡状态时钢液降温速率-钢包和中间包钢液降温速率分别为 ≤ 1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 和 ≤ 0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$;钢液过热度为15~35 $^{\circ}\text{C}$ 时,200 mm \times 200 mm铸坯等轴晶率可达20%~30%,连铸拉漏率 $\leq 0.23\%$,铸坯质量良好。

关键词 钢液过热度 连铸工艺 铸坯质量

Influence of Controlling Molten Steel Superheat on Technology of Concasting and Quality of Billet

Lu Lu and Lu Kaiyi

(The School of Metallurgical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055)

Abstract The controlling molten steel superheat of GCr15, 60Si2Mn, 40Cr and 0.20C steel in 25 t ladle and 16 t tundish has been studied. The controlling of molten steel superheat was mainly depended on temperature decreasing speed of molten steel as the heat storage process of ladle line came to equilibrium state - temperature decreasing speed of molten steel in ladle ≤ 1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ and that in tundish ≤ 0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$; as superheat of molten steel was between 15 $^{\circ}\text{C}$ and 35 $^{\circ}\text{C}$, the equiaxial crystal ratio in 200 mm \times 200 mm billet was up to 20%~30%, the ratio of casting breaking out $\leq 0.23\%$, and it was available to get better quality of billet.

Material Index Superheat of Molten Steel, Concasting Process, Quality of Billet

研究工作在弧型连铸机上进行,由20 t电弧炉提供钢水,经25 t LF精炼后注入16 t中间包,铸坯断面为200 mm \times 200 mm,试验钢种GCr15、60Si2Mn、40Cr和20钢。

1 研究方法

用传热理论计算从出钢至中间包浇铸过程的钢液热损失。其中,包衬(钢包和中间包)蓄热损失最大。在一级近似的情况下,按热界面温度恒定的半无限大平板的非稳定传热计算^[1]。钢液在停留期 τ_e (蓄热时间)内单位衬壁表面导去的总热量 q_T :

$$q_T = \int_0^{\tau_e} \frac{K(T_i - T_0)}{\sqrt{\pi\alpha\tau}} d\tau = -2K(T_i - T_0) \sqrt{\frac{\tau_e}{\pi\alpha}} \quad (1)$$

包衬总蓄热量 Q_T :

$$Q_T = q_T A = -2K(T_i - T_0) \sqrt{\frac{\tau_e}{\pi\alpha}} A \quad (2)$$

式中: K -包衬导热系数; T_i -钢液与包衬的界面温度,可根据钢液平均温度 T_m ($T_i = T_m - 30$)求出; T_0 -钢包预热温度(包衬平均温度); τ_e -包衬蓄热时间; α -包衬的导温系数; A -包衬表面积(热界面)。

通过渣层的散热量 Q_z 按单层平壁传导传热计算:

$$Q_z = \frac{\lambda_s}{S_s} (T_m - T_s) F_s \tau \quad (3)$$

式中: λ_s -渣层导热系数; T_s -渣的表面温度; F_s -渣的表面积; S_s -渣层厚度; τ -散热时间。

加盖包的渣面上部传热,是把该体系看作包盖绝热板下热流由绝热板向外部空气散热的综合传热过程。渣面上热气流向绝热板的辐射和对流传热,在绝热板中按单层平壁稳态传热计算。

根据钢液的总热容可求出该过程的降温速率 Φ :

$$\Phi = \frac{Q_{\Sigma}}{C_p \cdot G \cdot \tau} \quad (4)$$

式中: Q_{Σ} -钢液的总热损失; C_p -钢液比热容; G -钢液质量。

过热度与拉漏的关系,用结晶器中坯壳熔化的概率条件表示^[2]:

$$\Delta T_{kp} V_0^{1/2} \geq 0.0167 A q_{kp} \quad (5)$$

式中: ΔT_{kp} -结晶器钢液过热度; V_0 -熔体流速; q_{kp} -结晶器各水平层液流平均热流密度; A -系数, $A \leq 1$ 。

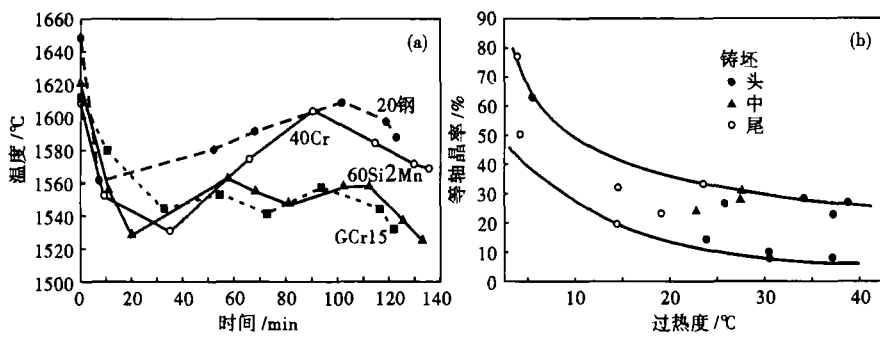


图1 (a) 钢包钢液温度变化; (b) 钢水过热度对 GCr15 钢铸坯等轴晶率的影响
Fig. 1 (a) variation of temperature of molten steel in ladle; (b) influence of superheat of molten steel on equiaxial crystal ration in billet of steel GCr15

$$\Delta T_{kp} = \frac{0.0167 A q_{kp}}{V_0^{1/2}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

应当指出,在有电磁搅拌的铸坯结晶时, q_{kp} 远大于 1000 kW/m^2 (约在 1880 kW/m^2 以上)。所以,中间包钢液过热度 $\Delta T \leq 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时坯壳不会出现熔化断裂。据工厂三个季度的统计结果表明,总拉漏率 0.91% ,由于过热

度导致的拉漏率为 0.23% 。

2 结果与分析

2.1 过程热损失与过热度控制

根据工厂的生产数据计算得出,包衬蓄热损失约占总热损失的 93% ,其它热损失仅 7% 。

钢包至 LF 加热前的钢液平均温降速率 $3.36 \text{ } ^\circ\text{C/min}$ (计算值 $3.56 \text{ } ^\circ\text{C/min}$),经 $\text{LF} \geq 50 \text{ min}$ 加热后蓄热达到准平衡态,钢液的温降速率 $\leq 1 \text{ } ^\circ\text{C/min}$,钢包中钢液温度变化如图 1(a)。

钢包中钢液温度控制达到上述水平时,则中间包内钢液温度即可控制在较窄的范围。中间包内 40Cr、GCr15、60Si2Mn 和 20 钢的温度波动分别为 $(1515 \pm 10) \text{ } ^\circ\text{C}$ 、 $(1470 \pm 10) \text{ } ^\circ\text{C}$ 、 $(1488 \pm 10) \text{ } ^\circ\text{C}$ 和 $(1536 \pm 10) \text{ } ^\circ\text{C}$,中间包内的平均温降速率 $\leq 0.5 \text{ } ^\circ\text{C/min}$ 。此时,钢液过热度就可稳定控制在 $15 \sim 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

研究表明,包衬蓄热使 T_0 必须达到某一值时,在本阶段(时间 τ)方可获得小的温降速率。蓄热损失 $Q \propto \tau^{1/2}$,但是, T_0 增高使 Q 减小的速率更快,一般包衬蓄热在 $\tau \geq 50 \text{ min}$ 后基本处于稳定。另外,提高包衬的预热温度是减小蓄热损失的重要方面,因为 $Q \propto (T_i - T_0)$ 。

2.2 拉漏与过热度的关系

拉漏与过热度的关系,由坯壳熔化的概率条件式(5)确定。考察结晶器中部高度上的情况,当 $A = 1$ 时,取 $q_{kp} = 1000 \text{ kW/m}^2$, $V_0 = 0.7 \text{ m/s}$,一般在旋转电磁场中铸坯结晶时,只有当 $V_0 > 0.8 \text{ m/s}$ 的场合,铸坯才受到冲刷。坯壳熔化的临界过热度 ΔT_{kp} :

2.3 过热度对铸坯等轴晶率和低倍质量的影响

图 1(b) 表明,当过热度 $\Delta T = 20 \sim 30 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时, GCr15 钢等轴晶率为 $20\% \sim 30\%$ 。表 1 中所取铸坯 1 段试样过热度较高,2、3 段次之,均处于合理过热度范围,低倍质量评级亦均符合标准。

表 1 钢水过热度对铸坯低倍组织的影响

Table 1 Influence of superheat of molten steel on macro-structure of billet

钢号	段数	低倍检验结果/级						过热度/ $^\circ\text{C}$
		一般疏松	中心疏松	偏析	缩孔	边裂	角裂	
GCr15	1	1.0	2.0	-2.0	1.0	-	0.5	30
	2	0.5	2.0	-2.0	0	-	-	16
	3	0.5	2.5	-1.5	2.0	-	-	-
60Si2MnA	1	1.0	2.0	-1.5	1.0	-	0.5	32
	2	1.0	2.5	-1.5	0	-	2.0	17
	3	1.0	2.0	-2.0	0	-	2.0	-
40Cr	1	1.5	0.5	-2.5	0	-	-	36
	2	1.0	1.5	-1.0	0	-	-	30
	3	1.0	0.5	-0.5	0	-	-	17
20	1	1.0	1.0	-1.0	0.5	-	-	33
	2	0.5	1.0	-1.0	0	-	-	26
	3	0.5	0.5	-0.5	0.5	-	-	18

3 结论

钢液过程温度的正确控制,使包衬蓄热过程处于准平衡态时,钢液温降速率在钢包中 $\leq 1 \text{ } ^\circ\text{C/min}$,在中间包中 $\leq 0.5 \text{ } ^\circ\text{C/min}$ 是过热度稳定 $\leq 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的关键。

陕西省教育厅专项科研项目·轴承钢大方坯连铸工艺优化(05JK248)

参考文献

- 魏季和. 冶金工程数学(上册). 北京:冶金工业出版社,1987
- 鲁开焜. 连续铸钢的热过程. 北京:冶金工业出版社,1987

鲁路(1972-),男,工程师,1994年西安建筑科技大学毕业,从事钢铁冶金研究及教学工作。

收稿日期:2008-03-13