

提高亚包晶钢板坯拉速对结晶器传热的影响

赵紫锋¹ 张炯明¹ 王新华¹ 梅峰² 阮小明²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 2 宝山钢铁股份有限公司技术中心, 上海 201900)

摘要 通过对提高亚包晶钢 AQ 钢种 230 mm × 1 200 mm 板坯拉速试验过程中结晶器冷却水参数、铜板测温等数据进行适时记录, 并与数学模型及 ANSYS 商业软件相结合, 研究了提高拉速对结晶器平均热流、局部热流、铜板温度场以及坯壳厚度的影响。结果表明, 拉速由 1.3 m/min 提高到 1.5 m/min 时, 平均热流增加 0.1 MW/m² 左右, 宽边弯月面区域局部热流增加 0.13 MW/m², 但均在合理范围内, 这与采用高碱度高结晶温度的试验保护渣有关; 结晶器窄/宽面平均热流比超过 0.9, 应适当减少结晶器锥度; 宽面坯壳厚度平均减薄 4 mm 左右, 应严格控制结晶器传热强度, 以保证连铸工艺稳定和铸坯质量。

关键词 AQ 钢板坯 拉速 结晶器 传热

Influence of Increasing Casting Speed of Hypoperitectic Steel Slab on Heat Transfer of Mold

Zhao Zifeng¹, Zhang Jiongming¹, Wang Xinhua¹, Mei Feng² and Ruan Xiaoming²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Technical Center, Baoshan Iron and Steel Co Ltd, Shanghai 201900)

Abstract According to real-time data recording of cold water parameters for mold and temperature of copper plate measured by thermo-couple during test of increasing cast speed of hypoperitectic AQ steel grade 230 mm × 1 200 mm slab, and combined with math model and ANSYS commercial software, the influence of increasing casting speed on mold average heat flux, local heat flux, temperature field of copper plate and thickness of strand shell has been studied. Results showed that with increasing casting speed from 1.3 m/min to 1.5 m/min, the average heat flux increased by about 0.1 MW/m², the local heat flux in broadside meniscus region increased by more than 0.13 MW/m² which were all in reasonable range due to using test mold powder with high basicity and high crystallizing temperature; the average ratio of heat flux of mold narrow/broad-side was 0.9 so the taper of copper plate should be reduced properly; and the average thickness of broadside strand shell reduced by about 4 mm, therefore the intensity of heat transfer of mold must be controlled strictly to ensure casting process stability and slab quality.

Material Index Steel AQ Slab, Casting Speed, Mold, Heat Transfer

C 含量处于 0.07% ~ 0.095% 范围内的 AQ 钢属于亚包晶钢, 该钢种板坯表面纵裂纹的产生与结晶器传热强度以及传热不均匀性有关, 传热强度及传热的不均匀性过大, 产生表面纵裂纹的趋势增加^[1,2]。本文以钢厂连铸 AQ 钢板坯为背景, 采用高碱度、高结晶温度、低粘度试验保护渣进行提高拉速生产试验, 通过适时记录结晶器热电偶测温值以及结晶器冷却水温度、流量等数据, 结合数学模型等方法, 研究提高拉速对结晶器传热产生的影响。

1 试验条件和研究方法

提高 AQ 钢板坯拉速试验在 1 机 2 流连铸机一流上进行。浇铸钢种为 AQ 钢, 成分如表 1 中所示, 属于亚包晶钢, 浇铸断面为 230 mm × 1 200 mm。试验共进行 3 炉, 开始浇铸时, 拉速为 1.3 m/min, 逐步提高到 1.4 m/min、1.5 m/min。试验采用高结晶温度、低粘度保护渣(表 2)。

表 1 AQ 钢主要化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel AQ / %

C	Si	Mn	P	S	Al	N	O
0.07 ~ 0.095	< 0.034	0.35 ~ 0.45	< 0.02	< 0.02	0.03 ~ 0.05	< 0.004	< 0.004

表 2 保护渣成分及性能

Table 2 Ingredient and properties of mold powder

成分/%				CaO/ SiO ₂	熔点/ °C	粘度/ (Pa · s)	结晶温 度/°C
Al ₂ O ₃	Na ₂ O	F ⁻	Li ₂ O	1.397	1 023	0.054	1 194

采用平均热流法和局部热流法对结晶器热流密度进行评价, 并以现场实测数据为依据对生成的坯壳厚度进行计算:

(1) 根据试验过程中实时记录的结晶器冷却水流量、进出口水温等数据, 对结晶器各个面平均热流进行计算;

(2)按照局部热流及铜板温度场计算方法^[3],结合二连铸分厂结晶器的具体情况,采用VC++语言编制局部热流和铜板温度场计算程序。根据实测的结晶器铜板温度和冷却水参数,计算出结晶器局部热流及铜板温度场;

(3)以现场实测数据结合局部热流计算程序确定结晶器热流随结晶器高度的变化关系,并以此作为坯壳与结晶器间边界条件,采用ANSYS软件计算出不同拉速下坯壳厚度。

2 结果及讨论

2.1 提高拉速对结晶器平均热流的影响

当拉速为1.3 m/min时,宽、窄面平均热流量的均值分别为1.35 MW/m²、1.23 MW/m²,拉速为1.4 m/min时,分别提高到1.42 MW/m²和1.33

MW/m²,而当拉速提高到1.5 m/min时,分别增加到1.45 MW/m²和1.38 MW/m²。

AQ钢板坯连铸,结晶器热流密度超过1.7 MW/m²,铸坯产生表面纵裂纹的趋势增加^[4],本次试验平均热流值均在该临界值以下,说明提高拉速后,结晶器传热仍在合理的范围内。

2.2 提高拉速对结晶器纵向热流分布的影响

由图1(b,c)可以看出,拉速由1.3 m/min提高到1.5 m/min时,宽面局部热流在整个结晶器高度方向上有同步增加的趋势,弯月面处热流由1 721 kW/m²增加到1 853 kW/m²。窄面上部区域局部热流明显增加,如图1(c)所示,弯月面区域由1 630 kW/m²增加到1 970 kW/m²左右,结晶器出口处热流没有明显变化。

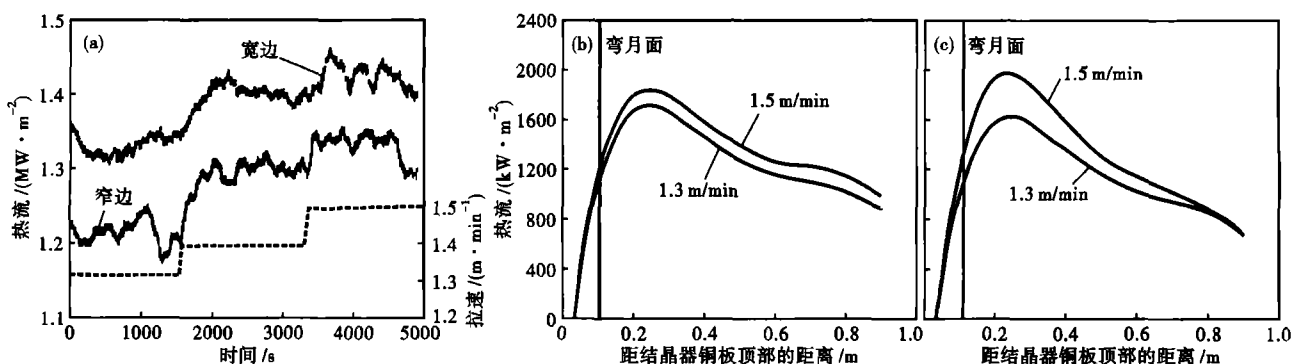


图1 浇铸过程中结晶器平均热流及拉速的变化(a);拉速对结晶器宽面(b)和窄面(c)热流的影响

Fig. 1 Change of average heat flux of mold and casting speed in casting (a); Influence of casting speed on heat flux of mold broadside (b) and narrow-side (c)

提高拉速引起结晶器弯月面区域热流增加,这是高速浇铸AQ钢板坯容易发生表面纵裂的主要原因。本次试验浇铸出的铸坯没有出现表面纵裂纹和角部纵裂纹等缺陷,且浇铸过程顺利进行,说明提高拉速后,弯月面区域传热强度仍在合理的范围内,这与本次试验采用高碱度高结晶性能保护渣有关。

2.3 提高拉速对结晶器窄/宽面平均热流比的影响

由表3可见,窄面热流与宽面热流的比值随着拉速的提高而增大,拉速为1.3 m/min时,窄/宽平均热流比在0.85~0.90,拉速提高到1.5 m/min后,

平均热流比增加到0.88~0.95。

对于普通板坯,结晶器窄/宽面热流之比为0.8~0.9时,铸坯表面裂纹和凹陷最小^[5]。试验拉速提高到1.5 m/min时,窄宽面平均热流比值有时超过0.9,说明提高拉速后,结晶器窄边锥度偏大,致使窄边传热过快。为了防止角部纵裂及漏钢的产生,应适当减小窄边锥度值。

2.4 提高拉速对结晶器温度场的影响

根据现场采集的数据,计算出拉速为1.3 m/min和1.5 m/min时结晶器宽面铜板和窄面铜板温度场,并采用Origin软件画出等温线图(图2)。图2中(a)、(b)水缝深20 mm,(c)、(d)水缝深25 mm,由图2可见,铜板温度的最大值在热面的弯月面以下50 mm附近的区域,与局部热流最大值相对应。拉速由1.3 m/min增加到1.5 m/min时,宽面铜板温度的最大值由280℃增加到290℃,窄面铜板温度最大值由240℃增加到290℃。

表3 不同拉速下结晶器平均热流比

Table 3 The ratio of average heat flux of mold at different casting speed

拉速/(m·min ⁻¹)	热流比
1.3	0.87 ± 0.021
1.4	0.89 ± 0.028
1.5	0.91 ± 0.018

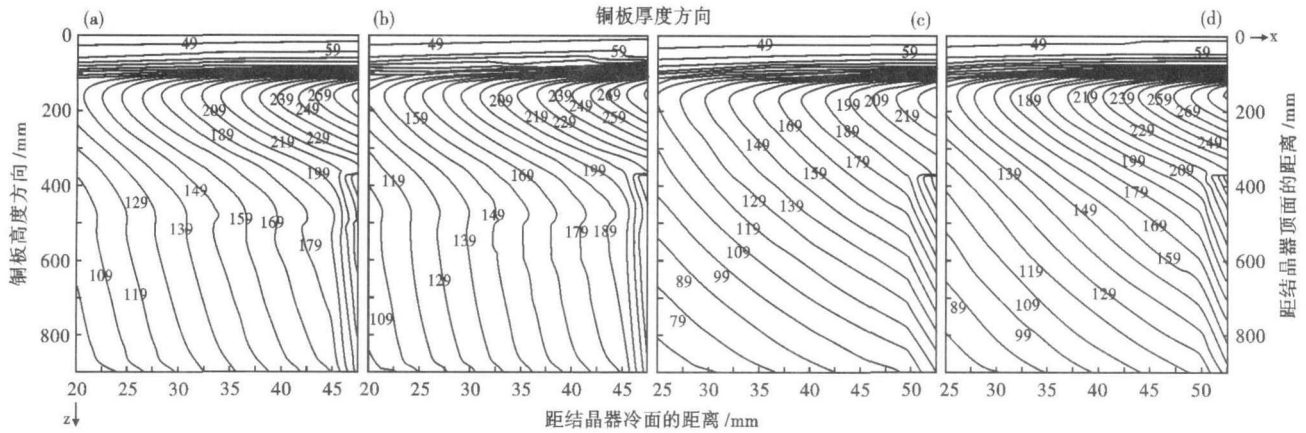


图 2 结晶器铜板温度场的等温线图: (a) 宽面, 1.3 m/min; (b) 宽面, 1.5 m/min; (c) 窄面, 1.3 m/min; (d) 窄面, 1.5 m/min

Fig. 2 Isothermal curves chart of temperature field of mold copper plate: (a) broad-side, 1.3 m/min, (b) broad-side, 1.5 m/min; (c) narrow-side, 1.3 m/min, (d) narrow-side, 1.5 m/min

拉速的提高引起了结晶器铜板温度的增加, 但铜板温度的最大值不能高于铜的再结晶温度 (350 °C 左右), 否则铜板变形增加, 强度下降, 严重影响铜板使用寿命和铸坯质量。试验结果表明, 拉速提高到 1.5 m/min 时, 结晶器铜板温度仍在合理的范围内。

由图 2 还可以看出, 在热面距结晶器上沿大约 400 mm 的位置, 温度明显有所回升, 这是因为从该位置往下, 结晶器热面镀镍层厚度由 0.5 mm 突然增加至 3 mm, 由于镍的导热系数远小于铜的导热系数, 引起热阻突然增加, 造成镀镍层内部的温度升高。

2.5 提高拉速对结晶器内坯壳厚度的影响

由图 3 可以看出, 拉速由 1.3 m/min 提高到 1.5 m/min, 结晶器出口处, 铸坯宽面凝固坯壳厚度由 19.39 mm 减少到 15.36 mm, 减薄 4 mm 左右, 窄面的凝固坯壳厚度由 14.36 mm 减少到 13.34 mm, 减少 1 mm。

拉速的提高, 引起了出结晶器坯壳厚度减薄, 发生鼓肚和漏钢的趋势增加。因此, 提高拉速必须适当增加传热强度, 保证出结晶器一定的坯壳厚度, 但传热强度的增加又对防止纵裂纹不利; 高拉速下, 必须综合考虑各种因素, 控制结晶器传热强度在最佳范围内, 才能保证生产顺行和好的铸坯质量。

3 结论

板坯拉速由 1.3 m/min 提高至 1.5 m/min 时, (1) 热流增加, 但仍在合理范围内; (2) 平均热流比

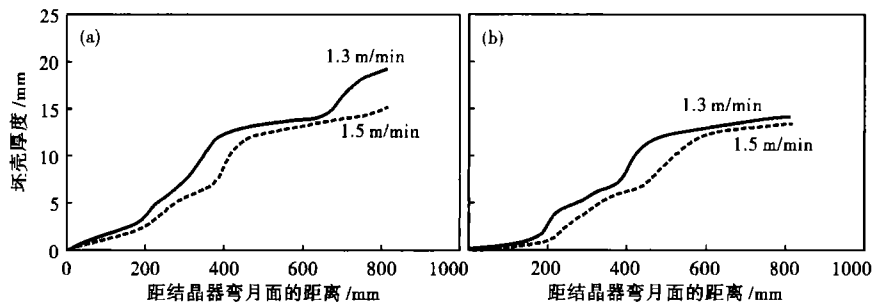


图 3 提高拉速对结晶器内坯壳厚度的影响: (a) 宽面; (b) 窄面

Fig. 3 Influence of increasing casting speed on thickness of strand shell in mold: (a) broad-side; (b) narrow-side

增加, 且超过了最佳范围, 应对结晶器锥度作相应调整; (3) 坯壳厚度减薄, 应有较高的结晶器传热强度; (4) 结晶器铜板温度增加, 但仍在合理范围内。

国家自然科学基金与宝钢联合资助项目 (50774109)

参考文献

- 1 Hiraki S, Nakajima K, Marakami T, et al. Influence of Mold Heat Fluxes on Longitudinal Surface Cracks during High Speed Continuous Casting of Steel Slab. *Steelmaking Conference Proceedings*, 1994; 397
- 2 Takashi Kanazawa, Sei Hiraki. Behavior of Lubrication and Heat Transfer in Mold at High Speed Continuous Casting. *Iron and Steel*, 1997, 83(11): 13
- 3 张炯明, 张立, 王新华, 等. 板坯连铸结晶器热流量分布的研究. *金属学报*, 2003, 39(12): 1285
- 4 Hiraki S. Influence of Mold Fluxes on Longitudinal Surface Cracks during High Speed Continuous Casting of Steel Slabs. *Steelmaking Conference Proceedings*, 1994; 397
- 5 张富强, 王军, 梁祥远. 中薄板坯高拉速连铸结晶器平均热流研究. *钢铁*, 2002, 37(12): 19

赵紫锋 (1972-), 男, 博士生, 板坯用保护渣和结晶器传热研究.

收稿日期: 2008-09-12