

连铸参数和末端电磁搅拌对82B钢小方坯中心碳偏析的影响

王 韬¹ 陈伟庆¹ 王宏斌² 王建忠² 张志强²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 宣化钢铁公司技术中心,宣化 075100)

摘 要 试验研究了结晶器电磁搅拌(240 A/4 Hz)时末端电磁搅拌(160 A/4 Hz~280 A/8 Hz),中间包钢水温度(1 500~1 542 ℃),拉速(1.7~1.9 m/min)和二冷区比水量(0.7~1.1 L/kg)对82B钢(∕%:0.81C、0.76Mn、0.25Si、0.2Cr)150 mm×150 mm方坯中心碳偏析的影响。结果表明,在未采用末端电磁搅拌时,降低过热度和拉速、提高比水量有利于减少小方坯中心碳偏析。采用最佳的末端电磁搅拌参数160 A/6 Hz时,82B钢小方坯中心碳偏析指数最低,为1.02。

关键词 82B钢 小方坯 末端电磁搅拌 连铸工艺参数 中心碳偏析

Effect of Concasting Parameter and F-EMS on Center Carbon Segregation of 82B Steel Billet

Wang Tao¹, Chen Weiqing¹, Wang Hongbing², Wang Jianzhong² and Zhang Zhiqiang²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Technical Center, Xuanhua Iron and Steel Co Ltd, Xuanhua 075100)

Abstract The effect of final electromagnetic stirring (F-EMS) (160 A/4 Hz~280 A/8 Hz), temperature of liquid in tundish (1 500~1 542 ℃), casting speed (1.7~1.9 m/min) and secondary cooling water ratio (0.7~1.1 L/kg) on center carbon segregation of 150 mm×150 mm billet of 82B steel (∕%:0.81C, 0.76Mn, 0.25Si, 0.2Cr) with mold electromagnetic stirring (M-EMS) 240 A/4 Hz has been tested and studied. Results show that in condition without using F-EMS, with decreasing overheat extent of liquid in tundish and casting speed, and increasing secondary cooling water ratio, the center carbon segregation index of billet decreases; and in condition with using F-EMS with optimized parameter 160 A/6 Hz the carbon segregation of billet of 82B steel is minimum, that is 1.02.

Material Index 82B Steel, Billet, Final Electromagnetic Stirring, Concasting Parameters, Center Carbon Segregation

82B高碳钢线材主要用于制作高强度低松弛预应力钢丝和钢绞线,为了保证线材质量,要求钢的成分稳定、钢质纯净、铸坯偏析小、线材索氏体含量高^[1]。生产82B盘条时,由于中心偏析较高,用户在拉拔过程中容易出现断裂的情况。为此,针对150 mm×150 mm小方坯,通过现场试验研究了过热度、拉速、二冷比水量和末端电磁搅拌(F-EMS)参数对高碳钢小方坯中心碳偏析的影响,确定了最佳的连铸工艺参数,提高了82B小方坯内部质量。

1 试验方法

生产82B钢的工艺流程为:铁水预处理-110 t转炉炼钢-LF精炼-150 mm×150 mm小方坯连铸。试验所取82B铸坯的化学成分如表1所示。在结晶器电磁搅拌(240 A/4 Hz)保持不变的情况下,改变连铸工艺参数(过热度、拉速、二冷比水量)和末端电磁搅拌强度,进行一系列的试验。取25 mm厚的150 mm×150 mm小方坯横截面进行冷酸浸,采用Φ5 mm合金钻头在铸坯凝固中心和几何中心取样,得到5块铸坯中心碳含量,根据中心碳偏析值 =

表1 试验82B钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of test 82B steel / %

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.81	0.25	0.76	0.012	0.009	0.2

心平均碳含量/成品碳含量,求得铸坯的中心碳偏析值。通过对铸坯横截面进行热酸浸观察测量,得到铸坯等轴晶比例。

2 无末端电磁搅拌时连铸工艺参数对中心碳偏析的影响

由表2可知,当拉速为1.7 m/min时,浇铸温度由1 542 ℃降低至1 527 ℃时,中心碳偏析由1.16降低至1.08,等轴晶比例由13.74%增加至15.43%。这是因为在柱状晶结晶前沿形成成分过冷区,产生大量新的晶核并长大为等轴晶,当过热度较低时,晶核能保存下来并增殖长大,等轴晶的长大又能进一步抑制了柱状晶的发展^[2-3],中心碳偏析减轻,如过热度较高时,游离的晶粒会重新熔化。

由表3可知,当中间包温度为1 527 ℃,拉速由

表 2 无 F-EMS 时中间包钢水温度对中心碳偏析指数的影响
 Table 2 Effect of temperature of liquid in tundish on index of center carbon segregation of billet, non F-EMS

中间包钢水温度/℃	中心碳偏析指数	等轴晶比例/%
1 542	1.16	13.74
1 527	1.08	15.43

注:拉速 1.7 m/min,二冷比水量 0.7~1.1 L/kg.

表 3 无 F-EMS 时拉速对中心碳偏析指数的影响

Table 3 Effect of casting speed on index of center carbon segregation of billet, non F-EMS

拉速/(m·min ⁻¹)	中心碳偏析指数
1.9	1.10
1.7	1.08

注:中间包钢水温度 1 527 ℃,二冷比水量 0.7~1.1 L/kg.

1.7 m/min 增加至 1.9 m/min 时,中心碳偏析由 1.08 增加到 1.10,说明拉速增加,中心碳偏析加重。这是因为随着拉速的提高,铸坯在结晶器内停留时间变短,钢液凝固速度降低,导致铸坯液芯延长,推迟了等轴晶的形核和长大,扩大了柱状晶区。

由图 1 可以看出,在不使用末端电磁搅拌时,随着比水量的增加,小方坯中心碳偏析减轻。对小断面铸坯来说,增加二冷强度将会减小二次枝晶间距^[4]。形成细密的枝晶结构,使枝晶间残余液相被枝晶网格阻隔不易流动,从而降低了中心碳偏析。

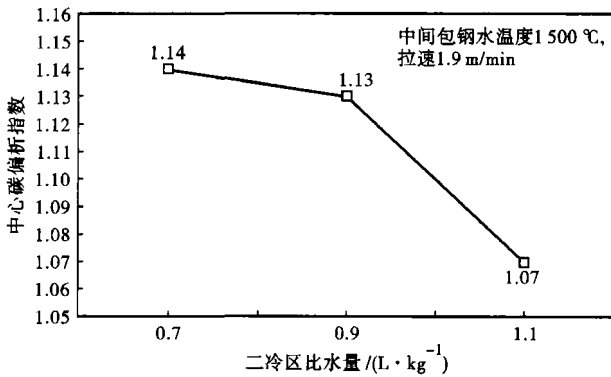


图 1 无 F-EMS 时二冷比水量对中心碳偏析指数的影响
 Fig. 1 Effect of secondary cooling water ratio on index of center carbon segregation of billet, non F-EMS

3 末端电磁搅拌对中心偏析的影响

3.1 末端电磁搅拌电流对中心偏析的影响

在中间包钢水温度 1 500 ℃、拉速 1.9 m/min 和二冷比水量 0.7 L/kg 保持不变的前提下,改变末端电磁搅拌电流大小,结果发现末端电磁搅拌电流大小对中心偏析的影响如图 2 所示。

由图 2 可以看出,随着末端电磁搅拌电流的增

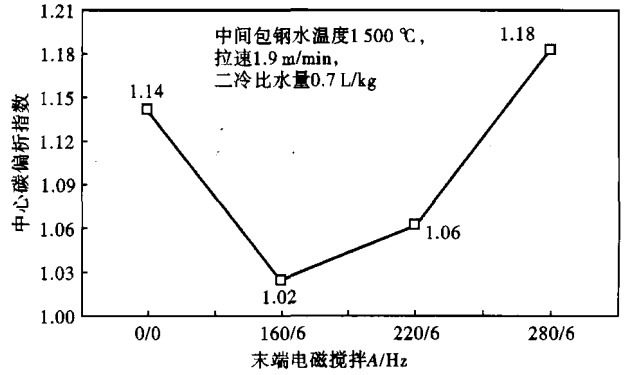


图 2 末端电磁搅拌电流对中心碳偏析指数的影响
 Fig. 2 Effect of current intensity of F-EMS on index of center carbon segregation of billet

加,中心碳偏析值先减小后增加。在电流为 160 A 时,中心偏析值最小为 1.02;当采用 280 A 搅拌电流时,中心碳偏析值比不使用末端电磁搅拌还要严重。这是因为当末端电磁搅拌电流较小时,感应电磁力较小,铸坯液芯搅拌不起来,达不到电磁搅拌所预想的目的;相反,当搅拌电流过大时,搅拌过于剧烈,对凝固前沿固液两相区产生强烈冲刷,未凝固的枝晶间富含溶质的液体向中心区域流动,造成搅拌区域的负偏析和更严重的中心偏析。

3.2 末端电磁搅拌频率对中心偏析的影响

在中间包钢水温度 1 500 ℃、拉速 1.9 m/min 和二冷比水量 0.7 L/kg 保持不变的前提下,改变末端电磁搅拌频率,对中心碳偏析的影响如图 3 所示。

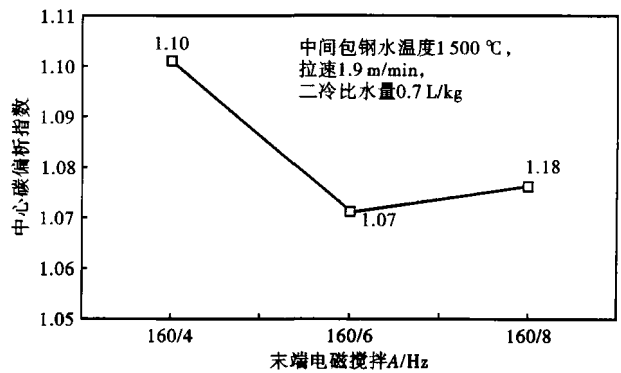


图 3 末端电磁搅拌频率对中心碳偏析指数的影响
 Fig. 3 Effect of frequency of F-EMS on index of center carbon segregation of billet

由图 3 可以看出,随着末端电磁搅拌频率的增加,中心偏析值先减小后增加,在频率为 6 Hz 时,中心偏析最小。从理论上讲^[5],频率与电磁力成正比,增加频率能加大电磁力。但根据集肤效应:任何金属对交变磁场都有屏蔽的作用,电磁力增加并不

等同于电磁搅拌强度增加。集肤层厚度为:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\sigma\omega\mu}} \quad (1)$$

式中: σ - 金属的电导率; ω - 电流的角频率; μ - 金属的导磁率。

从公式(1)可以看出,频率上升,集肤层厚度减小,对电磁场的屏蔽作用增加,使得铸坯内靠近中心位置的磁感应强度反而降低,不利于中心偏析的改善。

4 最佳工艺参数的确定

由图4可以看出,不论二冷比水量为0.7 L/kg还是1.1 L/kg,在末端电磁搅拌160 A/6 Hz时,偏析值均最小。但使用末端电磁搅拌后,1.1 L/kg比水量下中心碳偏析值改善效果不明显,最低的中心碳偏析值仍然在1.10以上;而0.7 L/kg比水量时,末端电磁搅拌为160 A/6 Hz能显著改善中心碳偏析,中心碳偏析值降低至1.02。这是因为在比水量1.1 L/kg条件下,冷却强度较大,铸坯液芯缩短,在末端电磁搅拌器安装位置液芯宽度小,搅拌效果不明显;而在0.7 L/kg比水量条件下,在末端电磁搅拌器安装位置铸坯液芯宽度符合电磁搅拌要求^[6]。

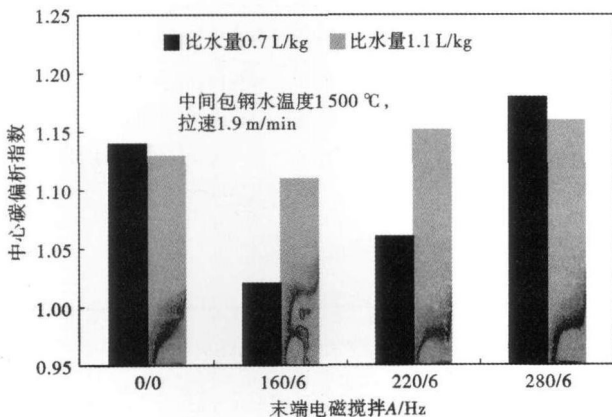


图4 二冷比水量和末端电磁搅拌参数对中心碳偏析指数的影响

Fig.4 Effect of secondary cooling water ratio and F-EMS parameters on index of center carbon segregation of billet

由图5(a)可知,在0.7 L/kg比水量条件下配合使用160 A/6 Hz末端电磁搅拌,对中心碳偏析的改善最为明显。由图5(b)可看出,在拉速1.9

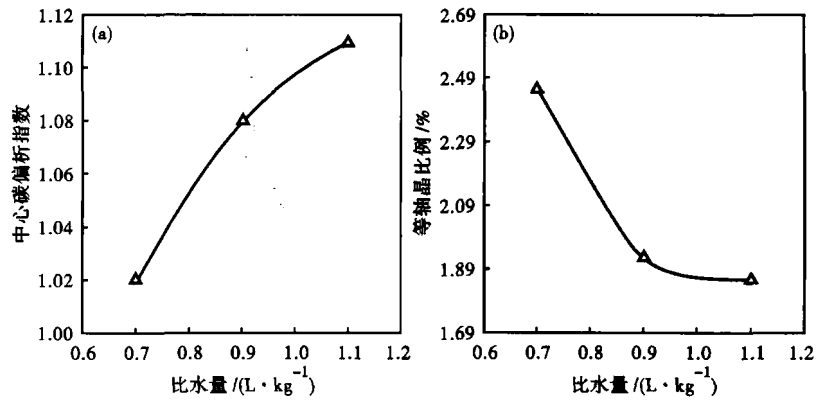


图5 末端电磁搅拌160 A/6 Hz,拉速1.9 m/min,中间包钢水温度1500℃时二冷比水量对中心碳偏析指数(a)和等轴晶比例(b)的影响

Fig.5 With F-EMS 160 A/6 Hz, casting speed 1.9 m/min and temperature of liquid in tundish 1500℃, effect of secondary cooling water ratio on index of center carbon segregation of billet (a) and equiaxed zone proportion in billet (b)

m/min、末端电磁搅拌160 A/6 Hz条件下,比水量为0.7 L/kg时等轴晶比例最高为23.68%,而比水量为1.1 L/kg时等轴晶比例最低为17.71%。这说明在不调整末端电磁搅拌器安装位置的前提下,当末端电磁搅拌为160 A/6 Hz、比水量较大时,由于凝固速度较快、搅拌器安装位置液芯宽度较小,末端电磁搅拌促进柱状晶向等轴晶转化的效果不显著,对中心碳偏析的改善不如0.7 L/kg时明显。

5 结论

- (1)过热度减小,中心碳偏析减轻;拉速提高,中心碳偏析加重。
- (2)二冷比水量增加,中心碳偏析减轻。采用二冷强冷能改善高碳钢小方坯的中心碳偏析。
- (3)末端电磁搅拌电流为160 A,频率为6 Hz时,中心碳偏析指数最小。

参考文献

- [1] 桂美文,易卫东,覃之光.武钢82B高碳钢线材生产技术及质量的进步[A].2005中国钢铁年会论文集[C].2005.
- [2] 盛意.连铸坯质量[M].北京:冶金工业出版社,2000:133-137.
- [3] 蔡开科.浇注与凝固[M].北京:冶金工业出版社,1987:50-56.
- [4] 冯军,陈伟庆,韩静,等.连铸参数对高碳钢小方坯二次枝晶间距的影响[J].钢铁,2006,41(9):37-39.
- [5] 韩至成.电磁冶金技术及装备[M].北京:冶金工业出版社,2008.
- [6] Dubke M, Tacke K H, Spitzer K H, et al. Flow Fields in Electromagnetic Stirring of Rectangular Strands With Linear Inductors Theory and Experiments With Cold Models[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 1988, 19(4): 581-593.

王 韬(1989-),男,硕士研究生,线材铸坯质量研究。

收稿日期:2012-08-22