

结晶器电磁搅拌对60钢铸坯质量的影响

陈伟^{1,2} 苏鹤洲² 蒋泰旭² 施哲¹

(1 昆明理工大学,昆明 650093;2 武钢集团昆明钢铁股份公司技术中心,昆明 650302)

摘要 对60钢(0.57%~0.62%C)采用结晶器电磁搅拌工艺前后的150 mm×150 mm铸坯质量进行了系统研究,并优化了电磁搅拌工艺。结果表明,采用较强结晶器电磁搅拌强度(250 A)、低过热度(≤250℃)浇铸工艺能显著改善铸坯质量,60钢铸坯中心等轴晶面积比率由平均27.65%增加到52.58%,中心碳偏析指数由1.07降至1.01,铸坯夹杂物含量和尺寸明显减少,钢水中的氧化物夹杂得到有效去除。

关键词 60钢 结晶器电磁搅拌 等轴晶区 中心碳偏析 夹杂物

Effect of Mold Electromagnetic Stirring on Quality of 0.60C Steel Casting Billets

Chen Wei^{1,2}, Su Hezhou², Jiang Taixu² and Shi Zhe¹

(1 Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;

2 Technology Center, Kunming Iron and Steel Co Ltd, Wusteel Group, Kunming 650302)

Abstract The quality of 150 mm×150 mm casting billet of 0.60C steel (0.57%~0.62%C) with and without M-EMS (mold electromagnetic stirring) has been systematically studied, and the M-EMS process was optimized. Results showed that with stronger M-EMS current intensity (250 A) and lower superheating extant of liquid steel (≤250℃) for casting process, the quality of billet was obviously improved, i. e. the average ratio of equiaxed zone at billet centre of 0.60C steel increased to 52.58% from 27.65%, the central carbon segregation index decreased from 1.07 to 1.01, the content and size of inclusions in billet decreased markedly as the oxide inclusions in liquid steel were efficiently removed.

Material Index 0.60C Steel, M-EMS, Equiaxed Zone, Central Carbon Segregation, Inclusions

连铸生产中,电磁搅拌对改善铸坯的凝固结构、中心疏松、表面质量、成分偏析以及降低夹杂物含量都起到显著的作用^[1,2]。目前,电磁搅拌技术在连铸生产中的应用成果已经得到普遍认可。

1 试验条件

昆钢炼钢厂5机5流连铸机(表1)铸坯规格为150 mm×150 mm×12 000 mm。所用搅拌器为单向连续式结晶器电磁搅拌(M-EMS)[图1(a),(b)],采用独立的闭循环净化水进行冷却,每台搅拌器都可以独立于其他搅拌器,以不同的方式进行。搅拌器安装位置为距结晶器下口约60 mm处。试验钢种为60高碳硬线钢。

2 试验结果及讨论

2.1 铸坯低倍组织影响

从表2和图2可见,采用电磁搅拌后铸坯的内部质量有了明显改善,低倍缺陷的级别和比例有了一定程度降低。结晶器电磁搅拌对钢水质量的影响见图1(c)。结晶器电磁搅拌能改善铸坯质量的主要作用有:(1)扩大铸坯凝固组织等轴晶区域;

表1 60钢连铸主要工艺技术参数

Table 1 Main process and technology parameters for 0.60C steel casting

| 项目 | 技术参数 |
|-----------------------------|--------------------|
| 铸机型 | 全弧形方坯连铸机 |
| 铸机流数 | 5流 |
| 铸机半径/mm | 9 000 |
| 流间距/mm | 1 200 |
| 结晶器 | 铜管长900 mm,连续锥度0.8% |
| 铸坯规格/mm | 150×150,220×220 |
| 钢包 | 长水口保护浇铸 |
| 中间包 | 定径水口+塞棒+浸入式水口 |
| 结晶器电磁搅拌频率/Hz | 3 |
| 结晶器电磁搅拌电流强度/A | 150~250 |
| 拉速/(m·min ⁻¹) | 1.7~2.0 |
| 钢水过热度/℃ | 15~25 |
| 二冷比水量/(L·kg ⁻¹) | 0.7~0.9 |
| 浇铸方式 | 全程保护浇铸 |
| 铸机冶金长度/m | 16.4 |
| 浇铸时间/min | 30~35 |

(2)促进钢液温度分布均匀;(3)通过结晶器钢水旋转冲刷弯月面初生坯壳,排除了浮渣对初生坯壳的干扰,改善了铸坯表面质量和皮下致密性;(4)通过结晶器钢水旋转运动产生离心力作用,夹杂物向中心集聚,有利于消除连铸机内弧夹杂物集聚带^[3],提高铸坯洁净度。

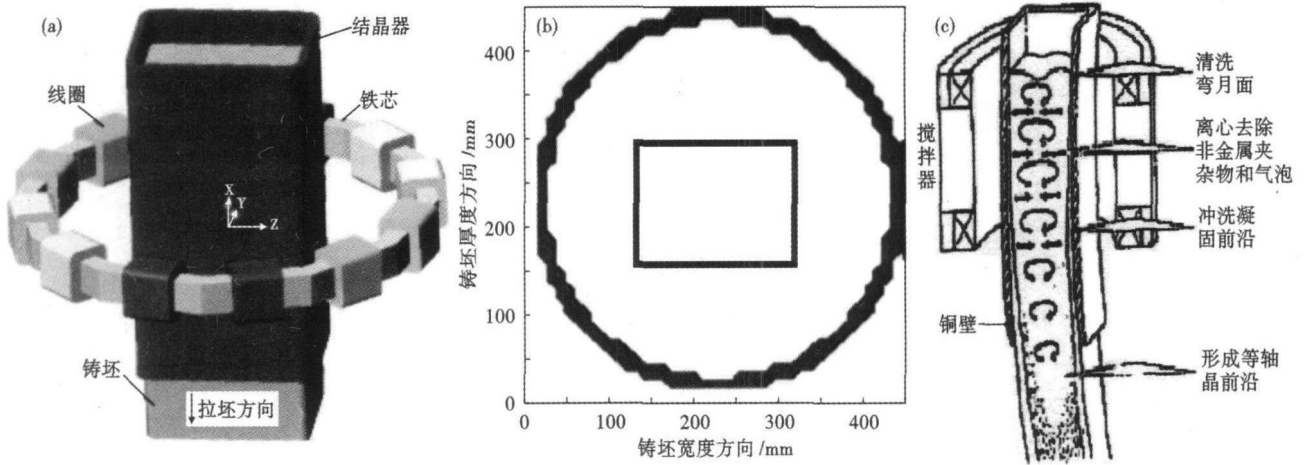


图1 (a)电磁搅拌模型示意图;(b)搅拌器与结晶器位置;(c)结晶器电磁搅拌对钢水质量的影响

Fig. 1 (a) Sketch of M-EMS model; (b) Location of stirrer and mold; (c) Schematic drawing of effect of M-EMS on quality of liquid steel

表2 未采用和采用结晶器电磁搅拌的60钢铸坯低倍组织检验结果

Table 2 Examination results for macro-structure of 0.60C steel billet casting without and with M-EMS

| 结晶器电磁搅拌 | 批数 | 级别/级 | 铸坯低倍缺陷比例/% | | | | | | |
|---------|----|------|------------|------|------|------|------|------|--------|
| | | | 中心偏析 | 中心疏松 | 缩孔 | 角部裂纹 | 中心裂纹 | 皮下气泡 | 非金属夹杂物 |
| 未采用 | 36 | 0.5 | 45.5 | 44.5 | 62.5 | 6.5 | 45.5 | 32.5 | 45.5 |
| | | 1.0 | 26.5 | 8.5 | 8.5 | | 37.5 | | 7.5 |
| | | 1.5 | | | | | 6.5 | | |
| 采用 | 42 | 0.5 | 32.5 | 36.5 | 35.5 | | 28.5 | 8.5 | 25.5 |
| | | 1.0 | | | 2.5 | | 5.5 | | |
| | | 1.5 | | | | | | | |

27.65%增加到52.58%。

从表3也可以看出,在电磁搅拌频率不变时,随着搅拌强度增强,铸坯中心等轴晶率增加。

从试样柱状晶测量数据得出,经同样电磁搅拌工艺的一批铸坯,钢水过热度较高($\geq 40^\circ\text{C}$)试样柱状晶区宽度达40mm以上,而钢水过热度较低($\leq 25^\circ\text{C}$)试样柱状晶区的宽度只有20mm左右。由此可见,钢水过热度对铸坯等轴晶面积大小起着重要作用,过热度低有利于铸坯中心等轴晶区域扩大。

2.3 铸坯中心碳偏析影响

采用结晶器电磁搅拌有效地降低了铸坯中心元素的富集和偏析,60钢铸坯中心碳偏析指数得到明显改善,中心碳偏析指数由1.07下降到1.01(表4)。

从图3中可以看出,适当增加电磁搅拌强度有利于改善碳偏析指数;电磁搅拌强度由150A增加至250A时,铸坯碳偏析指数得到明显改善;电磁搅拌强度由250A增加至300A时,铸坯碳偏析指数变化不明显。试验过程中发现,结晶器电磁搅拌强度较大(300A)时,在接近铸坯表面有负偏析带出现,且随着搅拌强度进一步加大,负偏析区越明显。

2.4 铸坯夹杂物影响

2.2 铸坯等轴晶影响

采用结晶器电磁搅拌前后的铸坯取样分析可以看出(表3):采用电磁搅拌工艺前后,60钢铸坯激冷层厚度变化不大;采用电磁搅拌工艺后,60钢铸坯中部细小等轴晶区每边平均增加6.7mm,柱状晶区每边平均减少7.5mm,粗大等轴晶区每边平均增加4.6mm;铸坯中心等轴晶面积比率由平均

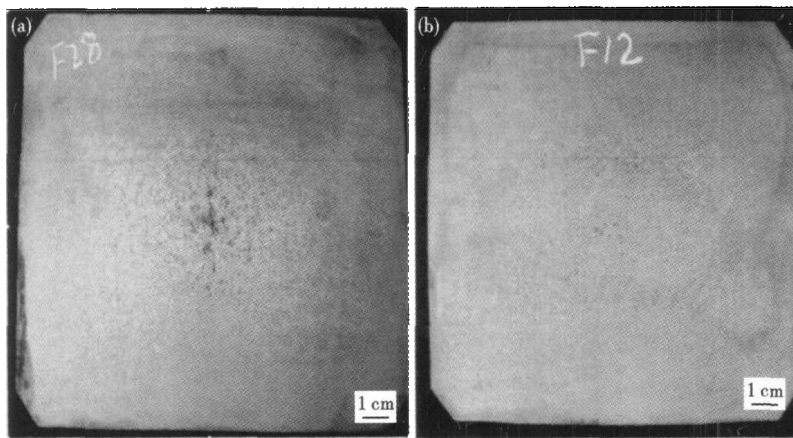


图2 无电磁搅拌(a)和有电磁搅拌(b)的60钢铸坯低倍组织对比

Fig. 2 Comparison of macro-structure of 0.60C steel casting billet without M-EMS (a) and with M-EMS (b)

表 3 采用结晶器电磁搅拌工艺前后 60 钢铸坯等轴晶对比
Table 3 Comparison of equiaxed zone of 0.60C steel billet casting without M-EMS and with M-EMS

| 结晶器电磁搅拌 | 搅拌强度/A | 样本数/块 | 中心等轴晶平均长度/mm | 激冷层平均厚度/mm | 中心等轴晶平均面积比率/% |
|---------|--------|-------|--------------|------------|---------------|
| 未采用 | / | 8 | 32.8 | 8 | 22.65 |
| 采用 | 200 | 9 | 57.5 | 7 | 43.56 |
| | 250 | 7 | 69.8 | 8 | 52.58 |

表 4 采用结晶器电磁搅拌工艺前后 60 钢铸坯中心碳偏析对比
Table 4 Comparison of Central carbon segregation of 0.60C steel billet casting without M-EMS and with M-EMS

| 试样号 | 未采用电磁搅拌 | | | 采用电磁搅拌 | | | |
|------|---------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|
| | 总体碳均值/% | 中心碳/% | 碳偏析指数 | 试样号 | 总体碳均值/% | 中心碳/% | 碳偏析指数 |
| 86-1 | 0.60 | 0.64 | 1.07 | 86-5 | 0.60 | 0.61 | 1.02 |
| 86-2 | 0.59 | 0.64 | 1.08 | 86-4 | 0.59 | 0.59 | 1.00 |
| 87-4 | 0.58 | 0.63 | 1.09 | 87-1 | 0.58 | 0.59 | 1.02 |
| 87-5 | 0.60 | 0.63 | 1.05 | 87-2 | 0.60 | 0.60 | 0.98 |
| 平均值 | | | 1.07 | | | | 1.01 |

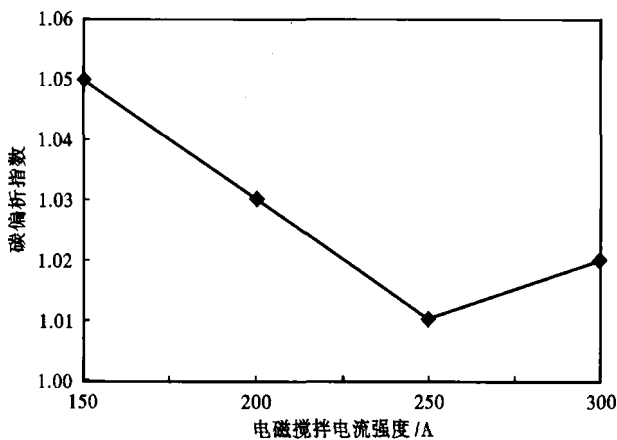


图 3 电磁搅拌电流强度对 60 钢铸坯中心碳偏析指数的影响

Fig. 3 Effect of M-EMS current intensity on central carbon segregation index of 0.60C steel billet

表 5 采用电磁搅拌工艺前后 60 钢铸坯中夹杂物总量及粒径分布
Table 5 Total amount of inclusions and size distribution of 0.60C steel billet casting without M-EMS and with M-EMS

| 结晶器电磁搅拌 | 样本数/块 | 电流强度/A | 夹杂物总量/[mg·(10kg) ⁻¹] | 夹杂物粒径(μm)分布/% | | | |
|---------|-------|--------|----------------------------------|---------------|--------|---------|------|
| | | | | 0~50 | 51~100 | 101~150 | >150 |
| 未采用 | 12 | / | 14.56 | 35.62 | 33.69 | 24.01 | 6.68 |
| 采用 | 7 | 150 | 9.56 | 47.68 | 41.25 | 11.07 | |
| | 8 | 200 | 8.56 | 56.69 | 34.04 | 9.27 | |
| | 11 | 250 | 7.06 | 69.98 | 31.08 | | |
| | 9 | 300 | 7.01 | 69.04 | 30.96 | | |

由表 5 可见,采用结晶器电磁搅拌后,铸坯中夹杂物总量较低,夹杂物总量由 14.56 mg/10 kg 钢下降至 7.01 mg/10 kg;夹杂物粒径分布主要集中在 0~50 μm,大颗粒夹杂物(≥100 μm)基本得到了消

除。采用结晶器电磁搅拌工艺后,电磁搅拌产生的电磁力强化了液相穴内钢液的运动,清洗凝固前沿,促进夹杂物上浮并被保护渣捕捉,或者是随机地被凝固前沿捕获而呈弥散分布,从而消除或减少夹杂在铸坯内弧侧聚集^[4,5]。

为了更好地分析电磁搅拌对 60 钢铸坯中氧化物、硫化物夹杂总量的影响,采用电解萃取方法,分别测定氧化物、硫化物总量,同时将分离出来的夹杂物用电子探针分析成分。对数据进行了试验次数不等的方差分析,得出结晶器电磁搅拌对于氧化物的影响是显著的,对于硫化物的影响不显著。

3 结论

(1) 60 钢采用结晶器电磁搅拌工艺后,铸坯低倍缺陷级别和比例明显降低,改善了铸坯质量。

(2) 60 钢采用低过热度(≤25 ℃)、较强搅拌强度(250 A)时,中心等轴晶面积比率由平均 27.65% 增加到 52.58%。

(3) 采用 250 A 电磁搅拌后,60 钢铸坯中心碳偏析指数由 1.07 降至 1.01。

(4) 结晶器电磁搅拌能减少铸坯中夹杂物含量和尺寸;有效地去除钢水中的氧化物夹杂,适当增加电磁搅拌强度有利于钢水中氧化物夹杂去除。

(5) 结晶器电磁搅拌与连铸冶金机理结合,更有利于产生良好的冶金效果;较强搅拌强度、低过热度浇铸工艺能显著改善铸坯质量。

参考文献

- 杨晓枝. 电磁搅拌对连铸方坯质量的影响. 中国钢铁年会论文集. 北京:冶金工业出版社,2001
- 张宏丽. 电磁搅拌改善铸坯内部质量的试验研究. 东北大学学报, 2001(6):315
- Li Wei, Shen Houfa, Liu Baicheng. Modeling of Fluid Flow in Continuous Casting Mold with Electromagnetic Stirring. In: Proceedings of 4th Sino-Korea Conference on Advanced Manufacturing Technology, Chonju, South Korea, 2005:5
- Claws P C. Influence of Electromagnetic Stirring in Mold on Inclusion Distribution Measured by Ultrasonic Inspection. 1991 Steelmaking Conference Proceedings, 1991:246
- Matsuda H. New Technique for Decreasing Inclusions in Curved Type Slab Continuous Casters by Electromagnetic Stirring. 1990 Steelmaking Conference Proceedings, 1990:185

陈伟(1973-),男,博士研究生,高级工程师,1996 年哈尔滨工业大学毕业,炼钢工艺技术与新产品研发。

收稿日期:2009-03-16