Φ270 mm 圆坯末端电磁搅拌工艺的研究

韩春鹏，张怀军，钱静秋

（内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心，内蒙古 包头 014010）

摘 要：试验分析了不同凝固末端电磁搅拌（F－EMS）参数对Φ270 mm断面铸坯中心等轴晶比率和碳偏析指数等的影响。结果表明，连铸中碳钢时，末端电磁搅拌参数采用300 A/10 Hz，可使铸坯中心等轴晶率达到35%以上，铸坯中心碳偏析指数小于1.05。

关键词：末端电磁搅拌，碳偏析指数，等轴晶率

中图分类号：TF777 **文献标识码**：B **文章编号**：1009－5438(2018)01－0028－03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.01.010

Research on the Electromagnetic Stirring Process at the End of Φ270 mm Round Billet

HAN Chun－peng, ZHANG Huai－jun, QIAN Jing－qiu

(*Technical Center of Inner Mongolia Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: The effect of different parameters of final electromagnetic stirring (F－EMS) on equiaxial crystal ratio and carbon segregation index in the center of Φ270 mm section slab is tested and analyzed. The result shows that during the continuous casting of medium carbon steel, the final electromagnetic stirring parameter is 300 A/10 Hz, so that the center equiaxial crystal ratio of the billet is more than 35%, and the central carbon segregation index of the billet is less than 1.05.

Key words: F－EMS; carbon segregation index; equiaxial crystal ratio

随着连铸高品质钢种的增加，对铸坯的内部质量特别是对铸坯的凝固组织细化及均质化要求不断提高，单一的结晶器电磁搅拌已经不能满足要求[1－2]。而结晶器＋凝固末端组合式电磁搅拌，在利用结晶器电磁搅拌降低钢液的过热度，缩短凝固时间，增加等轴晶率，减少中心偏析的同时，末端电磁搅拌能够进一步细化等轴晶、改善铸坯中心偏析、中心缩孔和疏松[3－6]。

1 连铸机的主要技术参数

包钢2#圆坯铸机为5机5流弧形连铸机，弧形半径为12 m，流间距为1 650 mm，铸坯断面为Φ180 mm、Φ210 mm、Φ230 mm、Φ270 mm、Φ300 mm、Φ350 mm，主要品种有碳素结构钢、低合金结构钢等，2006年增加结晶器电磁搅拌，2013年又增加末端电磁搅拌，表1是末端电磁搅拌装置的技术参数。

* **收稿日期**：2017－07－17

作者简介：韩春鹏（1982－），男，内蒙古和林格尔县人，硕士，高级工程师，现从事炼钢工艺研究工作。

中国知网 https://www.cnki.net

表 1　末端电磁搅拌的主要技术参数

项目	参数
磁场形态	旋转磁场
冷却方式	线圈采用独立循环纯净水进行冷却
电流/A	500
频率/Hz	3 ~ 12
单台冷却水流量/($m^3 \cdot h^{-1}$)	24
外形尺寸/(mm × mm × mm)	Φ920 × Φ555 × Φ880
中心磁感应强度/T	≥0.06
有效搅拌长度/mm	520

2　试验方案及方法

为了研究凝固末端电磁搅拌参数对铸坯质量的影响，分析不同电磁搅拌工艺参数对碳偏析、中心等轴晶率、铸坯质量等的影响，制定试验方案，试验钢种为中碳钢，在末端搅拌频率 10 Hz 的条件下，考察不同末端电流下的搅拌效果，具体见表 2，表 3 为试验钢的化学成分情况。

表 2　试验方案

铸坯断面	钢种	末端电搅频率/Hz	末端电搅电流/A
Φ270 mm	中碳钢	10	200
		10	250
		10	300

表 3　试验钢的化学成分(质量分数)　%

炉号	C	Si	Mn	P	S	Al
第一炉	0.33	0.25	1.31	0.013	0.011	0.026
第二炉	0.32	0.25	1.29	0.012	0.010	0.025

根据试验方案进行现场试验，取样检验铸坯试样的低倍组织、碳偏析。取铸坯横断面试样，做硫印及热酸检验，检验铸坯的中心疏松、缩孔、裂纹等缺陷等级及测量铸坯的枝晶结构。

3　试验结果分析

3.1　生产工艺参数

试验采用结晶器 + 末端电磁搅拌的方式，具体生产工艺参数见表 4。

表 4　试验的工艺参数

试验炉	流号	末端电磁搅拌参数		拉速/($m \cdot min^{-1}$)	过热度/℃
		频率/ Hz	电流/A		
第一炉	2	10	200	1.25	22
	3	10	250	1.25	22
	4	10	300	1.25	22
第二炉	2	10	200	1.25	26
	3	10	250	1.25	26
	4	10	300	1.25	26

3.2　热酸结果分析

每种方案取硫印样，经过热酸分析不同搅拌参数下末端电磁搅拌对铸坯内部质量的影响，见表 5，图 1 为末端电磁搅拌不同电流时铸坯的热酸结果。由表可知，随着末端电磁搅拌电流的增加中心等轴晶区的面积增大，当电流为 200 A 时中心等轴晶区长度平均为 106 mm，当电流为 300 A 时中心等轴晶区长度平均为 116 mm，因此中心等轴晶长度增加 9.43 %。一般铸坯细小等轴晶区长度为 6 ~ 7 mm，不随末端电磁搅拌参数的变化而变化，所以相对柱状晶区面积减小。

表 5　不同末端电磁搅拌参数对铸坯等轴晶的影响

试验炉	流号	等轴晶区长度/mm	中心等轴晶率/%
第一炉	2	100/115	39.81
	3	116/110	41.85
	4	118/118	43.70
第二炉	2	95/113	38.52
	3	100/114	39.63
	4	118/110	40.37

中国知网　https://www.cnki.net

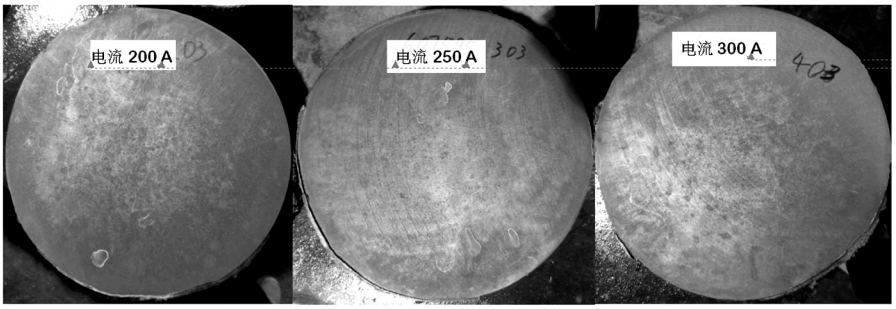
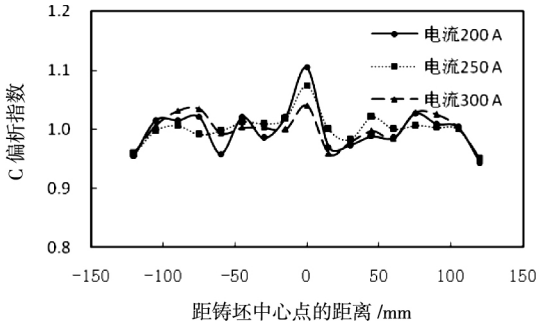


图 1 末端电磁搅拌不同电流时铸坯的热酸结果

3.3 碳偏析分析

取样分析不同末端电磁搅拌参数对铸坯横断面碳偏析指数的影响，从内弧到外弧依次钻样取点，分析碳含量变化情况，表 6 为中碳钢中心碳偏析结果，图 2 为末端电磁搅拌的频率为10 Hz，电流分别为200 A、250 A、300 A 时碳偏析指数情况。



2 不同末端电磁搅拌参数对碳偏析指数的影响

表 6 不同末端电磁搅拌参数对中心碳偏析的影响

试验炉	流号	末端电磁搅拌参数		中心碳偏析指数
		频率/ Hz	电流/A	
第一炉	2	10	200	1.08
	3	10	250	1.04
	4	10	300	1.03
第二炉	2	10	200	1.10
	3	10	250	1.07
	4	10	300	1.04

由图 2 和表 6 可知，采用不同末端电磁搅拌参数时，中心的碳偏析指数最高，同时在中心附近和铸坯边部存在一定的负偏析；当末端电磁搅拌频率为10 Hz，电流为 200 A 时，铸坯中心碳偏析指数较高，分别为 1.08 和 1.10，当电流为 250 A 铸坯中心碳偏析指数分别为 1.04 和 1.07，当电流为 300 A 铸坯中心碳偏析指数分别为 1.03 和 1.04，所以通过增加末端电磁搅拌电流强度可以降低中碳钢铸坯中心的碳偏析；同时随着末端电磁搅拌电流的增加，铸坯从内弧到外弧整体的碳偏析指数更加均匀。第一炉过热度为 22 ℃，铸坯的平均中心碳偏析指数为 1.05，第二炉过热度为 26 ℃，铸坯的平均中心碳偏析指数为 1.07，铸坯的中心碳偏析指数随着过热度的增加略有增高。

4 结论

(1) 通过进行不同电流末端电磁搅拌对Φ270 mm铸坯内部质量的分析，中碳钢最优的末端电磁搅拌参数是 300 A/10 Hz。

(2) 末端电磁搅拌可以增加铸坯中心的等轴晶比率，降低铸坯的中心碳偏析指数。在 300 A/10 Hz 参数下，可使 Φ270 mm 铸坯中心等轴晶率达到35%以上，铸坯中心碳偏析指数小于 1.05。

参 考 文 献

[1] 吴存有，周月明，候晓光. 电磁搅拌技术的发展[J]. 世界钢铁，2010，(2)：36－41.

[2] 李春龙，姜茂发，王宝峰. 组合电磁搅拌对连铸大方坯内部质量的影响[J]. 东北大学学报，2003，24(7)：34－37.

[3] 王金辉. 末端电磁搅拌磁场的数值模拟及应用[D]. 沈阳：东北大学，2005.

[4] 冯军，陈伟庆，王晓峰，等. 凝固末端电磁搅拌对高碳钢内部质量的影响[J]. 钢铁，2006，41(11)：26－28.

[5] 岳铁军，张宝全. 首钢 3 号铸机凝固末端电磁搅拌技术应用研究[J]. 连铸，2011，(4)：8－13.

[6] 夏晓东，史华明，李爱武. 电磁搅拌技术在连铸的应用[J]. 宝钢技术，1999，(3)：9－13.

中国知网 https://www.cnki.net