

280 mm × 380 mm 连铸坯结晶器电磁搅拌技术的应用

陈永^{1,2} 朱苗勇¹

(1 东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004; 2 攀枝花钢铁研究院材料研究所, 攀枝花 617000)

摘要 试验研究了电磁搅拌的电流(150 ~ 500 A)对重轨钢 U75V 等钢种(mm)280 × 380、280 × 325 连铸坯冶金质量的影响。结果表明,当电流由 250 A 提高至 500 A 时,重轨钢 U75V 铸坯中心区等轴晶率由 18.8% 增至 36.2%,夹杂总量由 8.53 mg/10kg 降至 4.68 mg/10kg,中心疏松、偏析、缩孔、中心裂纹和中间裂纹等缺陷 ≤ 1.0 级别的比例达 98%。中碳钢连铸电磁搅拌电流为 350 ~ 400 A,低碳钢连铸电磁搅拌电流为 250 A 时,铸坯内部缺陷 ≤ 1.0 级的比例分别为 93% 和 90%。

关键词 方坯 连铸 电磁搅拌 冶金质量

Application of Mold Electromagnetic Stirring Technology for 280 mm × 380 mm Concasting Bloom

Chen Yong^{1,2} and Zhu Miaoyong¹

(1 School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004;
2 Dept of Materials Research, Panzhihua Iron and Steel Research Institute, Panzhihua 617000)

Abstract The effect of current (150 ~ 500 A) of mold electromagnetic stirring (M-EMS) technology on metallurgy quality of 280 mm × 380 mm, 280 mm × 325 mm concasting bloom of heavy rail steel U75V etc grade has been tested and studied. Results showed that with the current increasing from 250 A to 500 A, the percentage of equiaxed zone increased from 18.8% to 36.2%, the total inclusion amount decreased from 8.53 mg/10kg to 4.68 mg/10kg and the percentage of ratting units ≤ 1.0 of defects centre porosity, segregation, shrinkage cavity, centre cracks and midway cracks was up to 98%. As concasting stirring current was 350 ~ 400 A for medium carbon steels and concasting stirring current was 250 A for low carbon steels, the percentage of ratting units ≤ 1.0 of casting bloom internal defects was respectively up to 93% and 90%.

Material Index Bloom, Concasting, M-EMS, Metallurgy Quality

2003 年攀钢建成投产的 6 机 6 流大方坯连铸机引进了结晶器电磁搅拌装备技术,在投产初期所有连铸钢种均采用奥钢联提供的电磁搅拌电流 $I = 250$ A,频率 $f = 2.4$ Hz,没有进行结晶器搅拌适用参数的优化,铸坯质量较差,因此进行了结晶器电磁搅拌电流对典型钢种铸坯内部质量影响的研究。

1 试验条件

攀钢 6 机 6 流大方坯连铸机(表 1)配备了结晶器电磁搅拌装备技术(表 2),电磁搅拌方式为顺时针旋转搅拌,通过变频变压调节,可改变搅拌强度。

采用高斯计测量沿结晶器高度方向的磁感应强度,从结晶器上边缘 25 mm 处开始,向下每隔 50 mm 测量一点,磁感应强度的变化如图 1 所示。

从图 1 可见,在距结晶器上边缘 250 mm 处,磁感应强度较低,在 675 mm 处中心,磁感应强度达到最大为 0.43 T,然后磁感应强度又逐渐降低。

2 电磁搅拌工艺对铸坯冶金质量的影响

2.1 铸坯凝固组织

表 1 连铸机主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of concaster

项目	参数
中间包容量/t	48
中间包过热度/℃	20 ~ 35
铸坯断面/(mm × mm)	280 × 380, 280 × 325
弧形半径/m	12
流数	6
流间距/m	1.6
拉坯速度/(m · min ⁻¹)	0.65 ~ 0.90
铸坯定尺长度/m	4.5 ~ 8.0
冶金长度/m	34
出坯温度/℃	700 ~ 800
矫直方式	连续矫直
二次冷却方式(水、雾)	气雾
电磁搅拌(M-EMS)	有
铸流保护	有
连铸机平均作业率/%	80
连铸机连浇炉数	15 ~ 20
平均浇铸时间/min	35 ~ 40
生产能力/(万 t · a ⁻¹)	120

由图 2 可见,电磁搅拌电流增加,铸坯中心区等轴晶率增大。钢液温度降至液相线和固相线之间时,就会出现一些小等轴晶核,并随着钢液的进一步

表 2 方坯连铸结晶器电磁搅拌器基本参数

Table 2 Basic parameters of mold M-EMS stirrer for bloom casting

项目	参数
视在功率/kW	400
额定电流/A	565
额定电压/V	380
频率/Hz	2.4
中心磁感应强度/T	约 0.45

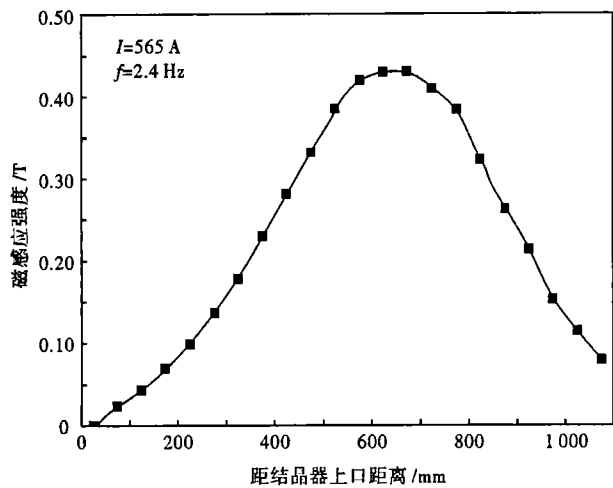


图 1 沿结晶器高度方向磁感应强度的分布

Fig.1 Distribution of magnetic induction intensity along height direction of mold

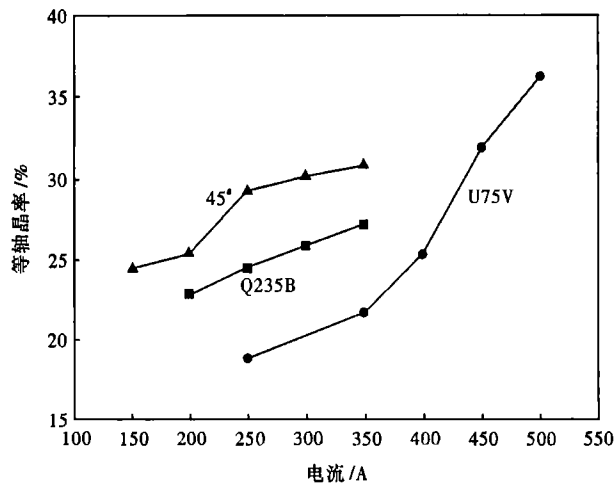


图 2 电磁搅拌电流对铸坯等轴晶率的影响

Fig.2 Effect of current of M-EMS on percentage of equiaxed zone of bloom

冷却而生长,并由于搅拌产生的流动充满铸坯液相穴,最终在铸坯内部以等轴晶凝固^[1,2]。等轴晶区扩大,晶粒结构更细,铸坯中心疏松、缩孔将更小,中心偏析将更轻,重轨钢铸坯的典型低倍组织见图 3。

2.2 铸坯中心疏松

电磁搅拌电流增加,铸坯中心疏松减轻,当重轨钢搅拌电流由 250 A 增至 500 A,铸坯中心疏松明显

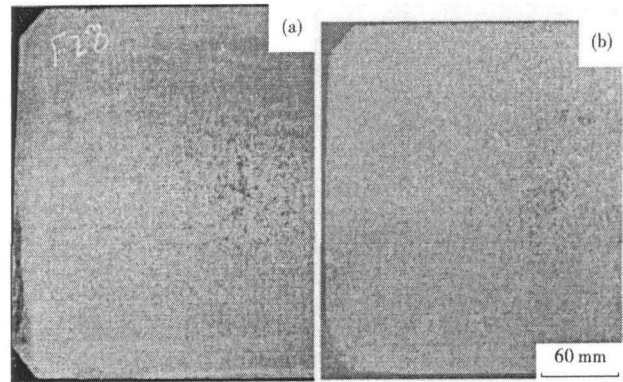


图 3 电磁搅拌电流对重轨钢 U75V 连铸坯低倍组织的影响:(a) $I=250\text{ A}$, $\Delta T=35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_c=0.75\text{ m/min}$; (b) $I=500\text{ A}$, $\Delta T=31\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_c=0.75\text{ m/min}$

Fig.3 Effect of current of M-EMS on macrostructure of bloom of heavy rail steel U75V: (a) $I=250\text{ A}$, $\Delta T=35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_c=0.75\text{ m/min}$; (b) $I=500\text{ A}$, $\Delta T=31\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_c=0.75\text{ m/min}$

减轻,疏松评级全部控制在 1.5 级以下,并且中心疏松 ≤ 1.0 级的比例由 33.33% 升至 87.50%。

2.3 铸坯中心偏析

电磁搅拌电流增加,铸坯中心偏析减轻,当重轨钢搅拌电流由 250 A 增至 500 A,铸坯中心偏析明显减轻,中心偏析评级全部控制在 1.5 级以下,并且中心偏析 ≤ 1.0 级的比例由 66.67% 升至 95.83%。

2.4 铸坯成分均匀性

由图 4 可见,电磁搅拌强度越大,重轨钢铸坯横断面碳成分分布越均匀,电磁搅拌电流由 250 A 增至 500 A,铸坯横断面碳偏析指数由 0.93 ~ 1.22 改善为 0.94 ~ 1.06。

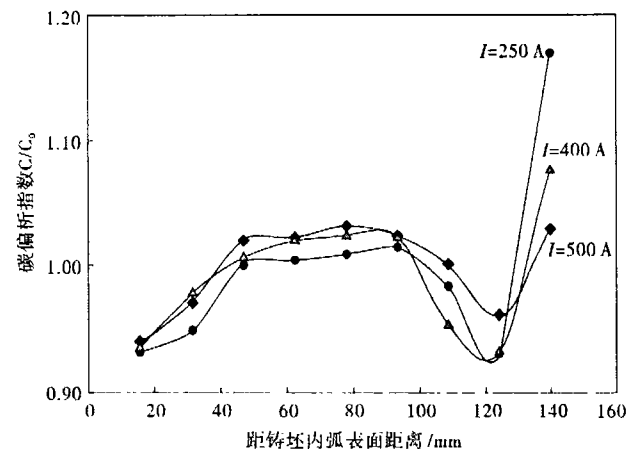


图 4 电磁搅拌电流对 U75V 铸坯碳偏析指数的影响

Fig.4 Effect of current of M-EMS on carbon segregation index of bloom of U75V

2.5 铸坯内部裂纹

与未采用电磁搅拌工艺比较,采用电磁搅拌工艺,低碳钢铸坯内部裂纹减轻,中间裂纹 ≤ 1.0 级的

比例由 66.67% 升至 95.46%, 角部内裂 ≤1.0 级的比例由 72.73% 升至 88.64%。

2.6 铸坯大型夹杂物

由表 3 可见,采用结晶器电磁搅拌工艺后,铸坯中大型夹杂总量均较低,因电磁搅拌产生的电磁力强化液相穴内钢液的运动,促进夹杂物上浮并被保

表 3 大型夹杂物总量及粒径分布

Table 3 Total amount of large size inclusion and size distribution

钢种	电流/ A	夹杂总量/ [mg·(10kg) ⁻¹]	夹杂物粒径(μm)分布/%			
			50~100	101~180	181~280	>280
U71Mn	250	8.28	33.90	26.69	22.88	8.90
	300	7.87	45.64	34.44	13.69	
	350	7.07	37.22	30.04	22.42	
	450	4.90	45.58	12.93	25.85	6.80
	500	3.87	38.69	29.93	18.25	
U75V	250	8.53	25.20	35.83	20.08	13.38
	300	7.30	24.69	37.04	23.46	3.70
	350	6.54	37.38	34.47	17.96	
	400	6.00	26.24	39.82	24.89	
	450	4.68	30.15	28.99	21.50	

护渣捕捉,或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^[3,4]。

3 连铸电磁搅拌工艺制度的应用效果

根据试验结果,确定了连铸典型钢种的电磁搅拌电流(表 4)。2004 年 1 月~2006 年 3 月典型钢

表 4 攀钢方坯连铸典型钢种的电磁搅拌工艺参数

Table 4 Process parameters of M-EMS for bloom concasting of typical steel grades at Panzhihua Steel

钢种类别	钢种	断面/ (mm×mm)	电磁搅拌 电流/A
高碳钢	U71Mn、U75V 及其它牌号的 钢轨钢	280×325	500
		280×380	500
	70Y、80 [#] 、55Si2Mn、58SiMn、 60Si2Mn、ZQ2-4 等高碳钢	280×325 280×380	450 450
中碳钢	45Y、45 [#] 、37Mn5、34Mn2V、 40Mn2Si、45CrMnMo、35Mn2、 ML35、40Cr 等中碳钢	280×325	350
		280×380	400
低碳钢	Q 系列、H08A、HRB400(335)、 16Mn、20(c)、20(t)、20 [#] 等低 碳钢	280×325	250
		280×380	250

表 5 典型钢种铸坯的硫印低倍检验结果

Table 5 Examination results of bloom sulphur print and macrostructure of typical steel grades

钢种	断面/ (mm×mm)	内部缺陷评级/级						皮下夹杂
		中心偏析	中心疏松	中心缩孔	中心裂纹	中间裂纹	角部内裂	
U71Mn	280×380	0~0.5	0.5~1.0	0~1.0	0~1.0	0~1.5	0~1.5	0~0.5
	280×325	0~1.0	0.5~1.5	0~1.0	0~1.0	0~1.0	0~1.0	0~1.0
U75V	280×380	0~1.0	0.5~1.5	0~1.0	0~1.5	0~1.5	0~1.0	0~0.5
	280×325	0	0.5~1.0	0~1.0	0~0.5	0~0.5	0~0.5	0
70Y 等高碳钢	280×380	0~1.5	0.5~1.0	0~2.0	0~1.5	0~1.0	0~1.0	0~0.5
	280×325	0~0.5	0.5~1.0	0~1.0	0~1.0	0~0.5	0~0.5	0~0.5
45 [#] 等中碳钢	280×380	0~1.5	0.5~1.5	0~0.5	0~2.0	0~2.0	0~1.5	0~0.5
	280×325	0~1.5	0.5~1.0	0	0~0.5	0~0.5	0~0.5	0~0.5
Q235B 等低碳钢	280×380	0~1.0	0.5~2.0	0~2.0	0~3.0	0~2.0	0~2.0	0~1.0
	280×325	0~1.0	0.5~1.0	0~0.5	0~1.0	0~0.5	0~2.0	0~1.0

注:280 mm×380 mm 断面检验 U71Mn 铸坯 246 块、U75V 铸坯 1136 块,70Y 等高碳钢铸坯 46 块,45[#] 等中碳钢铸坯 194 块,Q235B 等低碳钢铸坯 380 块;280 mm×325 mm 断面检验 U71Mn 铸坯 308 块,U75V 铸坯 36 块,70Y 等高碳钢铸坯 25 块,45[#] 等中碳钢铸坯 48 块,Q235B 等低碳钢铸坯 102 块。

种铸坯的大方坯硫印、低倍组织检验结果见表 5。

U71Mn、U75V 重轨钢铸坯中心偏析、疏松、缩孔、裂纹和中间裂纹、角部内裂等的评判级别均 ≤1.0 级的比例为 98%,70Y 等高碳钢铸坯的评判级别均 ≤1.0 级的比例为 96%,45[#] 等中碳钢铸坯的评判级别均 ≤1.0 级的比例为 93%,Q235B 等低碳钢铸坯的评判级别均 ≤1.0 级的比例为 90%。

4 结论

通过改进结晶器电磁搅拌工艺制度,明显提高了重轨钢等重点品种的铸坯质量,重轨钢铸坯中心区等轴晶率由 18.80% 增至 36.24%,且铸坯低倍评判级别 ≤1.0 级的比例达到 98%,中低碳钢铸坯内部缺陷评判级别 ≤1.0 级的比例分别达到 93% 和 90%。

参考文献

- 陈雷. 电磁搅拌对钢锭(坯)中夹杂物的影响. 转炉与连铸, 1990(1):1
- 张宏丽,贾光霖,王恩刚,等. 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
- Glaws P C. The Influence of Electromagnetic Stirring in Mold on Inclusion Distribution Measured by Ultrasonic Inspection. Steelmaking Conference Proceedings. USA: A Publication of the Iron & Steel Society, 1991:247
- Matsuda H. A New Technique for Decreasing Inclusions in Curved Type Slab Continuous Casters by in-mold Electromagnetic Stirring. Steelmaking Conference Proceeding. USA: A Publication of the Iron & Steel Society, 1990:187

陈永(1969-),男,教授级高级工程师,博士生,1990 年东北大学毕业,连铸工艺和铸坯质量控制。

收稿日期:2007-07-23