

优化连铸工艺改善 SWRH82A 钢 150 mm × 150 mm 铸坯中心碳偏析实践

毕胜¹, 宫哲², 王鑫¹, 何金泽¹, 陈修君¹

(东北特殊钢集团股份有限公司 1 总工办; 2 技术中心, 大连 116000)

摘要 为了减轻 SWRH82A 钢 150 mm × 150 mm 铸坯中心碳偏析, 进行了拉速(1.9~2.3 m/min)、二冷比水量(0.75~1.24 L/kg)、过热度(25~38 ℃)、结晶器电磁搅拌强度(300~350 A)和末端电磁搅拌强度(300~470 A)连铸工艺参数试验。结果证明, 合理控制拉速 1.9~2.0 m/min、钢水过热度 25 ℃左右、比水量为 1.01 L/kg、结晶器电磁搅拌强度为 350 A/3 Hz、末端电磁搅拌强度为 400 A/7 Hz 时, 铸坯中心碳偏析指数可以得到大幅改善, 由原来的 1.21 降为 1.05。

关键词 SWRH82A 钢 150 mm × 150 mm 小方坯 中心碳偏析

Optimizing Continuous Casting Process to Improve SWRH82A Steel 150 mm × 150 mm Billet Center Carbon Segregation

BI Sheng¹, GONG Zhe², WANG Xin¹, HE Jinze¹, CHEN Xiujun¹

(1 Chief Engineer Office; 2 Technical Center, Dongbei Special Steel Co Ltd, Dalian 116000)

Abstract In order to reduce the center carbon segregation of SWRH82A steel 150mm × 150 mm cast billet, the experiments with different continuous casting processes including casting speed (1.9~2.3 m/min), water ratio in secondary cooling zone (0.75~1.24 L/kg), degree of liquid superheat (25~28 ℃), mold electromagnetic stirring intensity (300~350 A) and end electromagnetic stirring intensity (300~470 A) have been carried out. The results prove that when the casting speed is 1.9~2.0 m/min, the liquid superheat is about 25 ℃, the water ratio is 1.01 L/kg, the mold electromagnetic stirring intensity is 350 A/3 Hz, and the end electromagnetic stirring intensity is 400 A/7 Hz, the billet center carbon segregation index can be large improved decreasing from original 1.21 to 1.05.

Material Index SWRH82A Steel, Billet 150 mm × 150 mm, Center Carbon Segregation

SWRH82A 钢主要用于生产预应力钢丝和钢绞线, 要求线材在拉丝和合股过程中不断丝。而在实际生产中, 较大的非塑性夹杂物、严重的铸坯中心碳偏析、异常组织是导致拉丝和合股断丝的主要原因^[1-3]。

通过优化拉速、二冷比水量、过热度、结晶器电磁搅拌和末端电磁搅拌参数, 以达到改善连铸坯中心碳偏析的目的。

1 生产现状

1.1 生产工艺流程及铸机概况

SWRH82A 钢生产工艺流程为: 110 t 转炉 → 110 t LF → 150 mm × 150 mm 连铸。连铸机主要技术参数见表 1。

1.2 主体工艺

SWRH82A 钢(化学成分见表 2)转炉出钢 C ≥ 0.07%, 避免钢水过氧化, 在转炉出钢时采用石灰和萤石造渣, 并采用硅锰进行初脱氧; LF 不再补加渣料(精炼渣成分及碱度见表 3), 精炼过程中采用碳

表 1 连铸机主要技术参数

Table 1 Main process parameters of continuous casting machine

项目	参数
铸机型式	全弧型, 连续矫直
铸机流数	6 机 6 流
铸机半径(R)/m	10
铸坯断面/(mm × mm)	150 × 150
电磁搅拌	M-EMS + F-EMS
二冷形式	气水 + 高压全水雾化冷却
拉速范围/(m · min ⁻¹)	1.5~2.7

表 2 SWRH82A 钢化学成分/%

Table 2 SWRH82A steel chemical component /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	O
0.80~0.85	0.15~0.30	0.30~0.60	≤0.025	≤0.020	≤0.20	≤0.004 0

粉和硅铁粉进行扩散脱氧, 白渣时间 ≥ 20 min, 软吹时间 ≥ 15 min; 连铸采用全程保护浇注、结晶器电磁搅拌和末端电磁搅拌, 连铸过程保证恒拉速。

1.3 中心碳偏析检验方法及现状

选取连铸过程执行参数满足工艺要求的连铸坯

表3 LF 精炼渣成分及碱度

Table 3 Ingredient and basicity of LF refining slag

渣成分 / %							碱度 (R)
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	MnO	F	
58.24	20.03	12.76	4.92	0.27	0.05	0.76	2.9

料,取料长度 ≥ 100 mm,采用带锯横向切取厚度约 25 mm 的低倍试片。横截面经车削加工后进行酸洗检查,再使用 Φ6 mm 钻头在 150 mm × 150 mm 低倍试片上钻 7 点(点位如图 1 所示)取样,采用碳硫仪检测碳含量并计算中心碳偏析指数。中心碳偏析指数的计算式如(1)式所示:

$$C_s = C_c / C_b \quad (1)$$

式中: C_s - 中心碳偏析指数; C_c - 图 1 中点 4 碳含量; C_b - 图 1 中除点 4 外其它 6 点碳含量之和的平均值。

采用上述方法检验,改善前中心碳偏析指数达 1.21,见表 4。

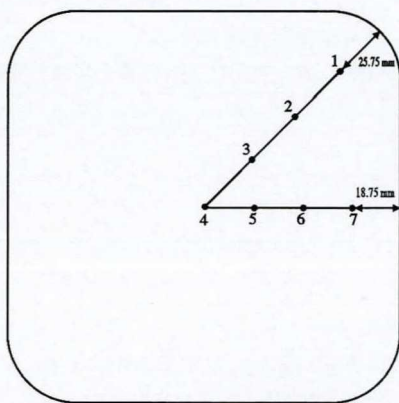


图1 SWRH82A 钢低倍钻样位置

Fig. 1 SWRH82A steel macrostructure drilling sampling location

表4 工艺改善前 SWRH82A 钢铸坯中心碳偏析检查结果
Table 4 Inspection result of billet center carbon segregation of SWRH82A steel before process improvement

点位碳含量 / %							中心碳偏析 指数
1	2	3	4	5	6	7	
0.83	0.84	0.83	1.00	0.82	0.84	0.81	1.21

2 中心碳偏析优化试验

SWRH82A 钢中碳质量分数高达 0.82%, 因其液相线与固相线间的温度区间大,凝固区间的温度变化较大,凝固过程的糊状区宽,在小方坯连铸过程中易产生严重的中心碳偏析,导致在后续轧制过程中形成网状渗碳体^[4],盘条在拉拔加工时易产生断裂。

根据小钢锭、溶质元素析出与富集和 V 形偏析理论及高碳钢的凝固特性,可通过优化拉速、二冷比水量、过热度、电磁搅拌强度等连铸工艺参数以达到改善中心碳偏析缺陷^[5]。

2.1 拉速的控制

在过热度、二冷比水量及电磁搅拌等参数不变的前提下,选择 1.9 ~ 2.3 m/min 不同拉速进行试验,对应的铸坯低倍中心碳偏析指数如图 2 所示。

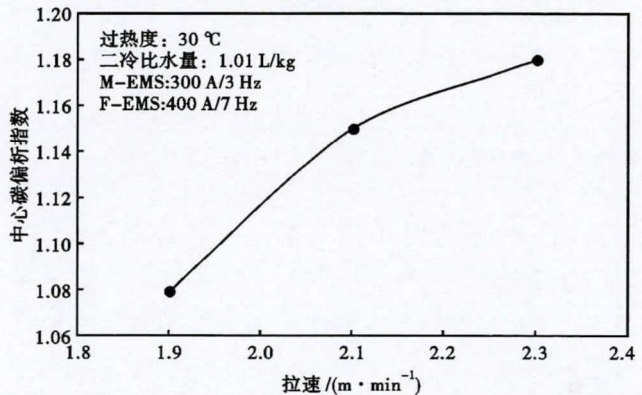


图2 拉速对 SWRH82A 钢 150 mm × 150 mm 铸坯中心碳偏析指数的影响

Fig. 2 Effect of casting speed on center carbon segregation index of 150 mm × 150 mm cast billet of SWRH82A steel

从图 2 可知,中心碳偏析指数随着拉速的提高而加大,主要是因为随着拉速提高,铸坯在结晶器和二冷区冷却时间变短,铸坯液芯延长,造成柱状晶区扩大,增大了柱状晶搭桥的几率,造成中心偏析程度加重。结合铸机作业效率,最终确定最优工艺拉速为 1.9 ~ 2.0 m/min。

2.2 二冷比水量的选择

原则上,二冷区采用强冷阻止了溶质元素的析出和扩散,有利于减轻中心偏析。但强冷有利于柱状晶生长,容易形成局部搭桥或穿晶结构,有利于中心疏松形成。因此,二冷强度的选择,要从生产效率和铸坯质量两方面综合考虑。

为了探究二冷比水量对中心碳偏析的影响,在过热度、拉速和电磁搅拌等参数不变的情况下,比水量分别采用 0.75、1.01、1.24 L/kg 开展对比试验。不同比水量中心碳偏析指数如图 3 所示。

由图 3 可知,当二冷比水量由 0.75 L/kg 增加到 1.01 L/kg 时,中心碳偏析指数从 1.13 降低到 1.08,主要因为增加冷却强度,会使二次枝晶间距减小^[6],形成细密的枝晶结构,阻碍枝晶间残余液相

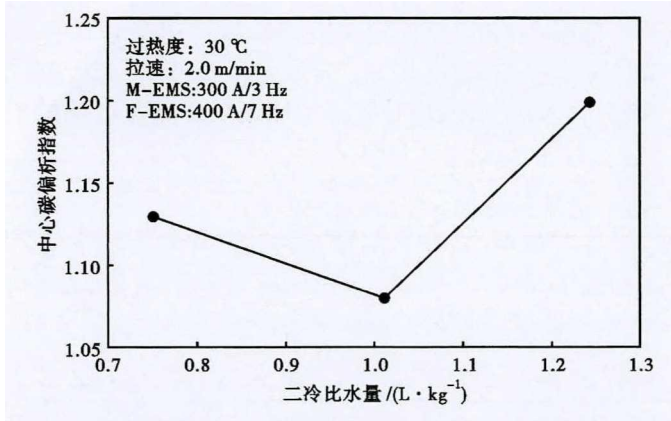


图 3 二冷比水量对 SWRH82A 钢铸坯中心碳偏析指数的影响

Fig.3 Effect of water ratio in secondary cooling on the center carbon segregation index of SWRH82A steel cast billet

的流动,从而降低中心碳偏析^[7]。但当二冷比水量进一步增加到 1.24 L/kg 时,中心碳偏析指数反而升至 1.20,主要因为等轴晶区二次枝晶间距减小所

引起中心碳偏析的下降已不能满足中心等轴晶区比例下降造成中心碳偏析的增大程度,因而中心碳偏析又升高。

因此,综合考量,二冷比水量选择 1.01 L/kg。

2.3 过热度的控制

中间包钢水过热度过低,会影响钢水中夹杂物上浮和中间包水口冻结;如果中间包钢水过热度过高,铸坯内部柱状晶区域会扩大,在中心产生柱状晶搭桥的概率相应增大,导致中心缩孔和疏松有恶化的趋势,还会使坯壳变薄,甚至导致漏钢。为保证连铸的顺行及铸坯质量,在制定工艺时需选用合适的过热度,另外浇注过程中过热度的稳定也尤其重要。

在拉速、二冷比水量和电磁搅拌等参数相同的情况下,不同过热度对应的低倍质量和中心碳偏析指数见表 5。

从表 5 中铸坯低倍质量和中心碳偏析指数可知,在生产顺行的前提下,低控过热度有利于铸坯内

表 5 SWRH82A 钢不同过热度与低倍质量及中心碳偏析指数对应关系

Table 5 Corresponding relationship among different superheat, macrostructure and center carbon segregation index of SWRH82A steel

过热度/ ℃	拉速/ (m · min ⁻¹)	二冷比水量/ (L · kg ⁻¹)	M-EMS		F-EMS		低倍/级		中心碳偏析指数
			A	Hz	A	Hz	中心疏松	缩孔	
25	1.9	1.01	300	3.0	400	7.0	1.0	无	1.08
38	1.9	1.01	300	3.0	400	7.0	1.0	0.5	1.13

部质量的提升。

2.4 结晶器电磁搅拌强度的选择

结晶器电磁搅拌的冶金机理主要表现在力的效应和热的效应两方面,凝固面前沿的剪切力切断柱状晶梢,游离的自由晶被带向中心,提高铸坯等轴晶率,从而降低中心碳偏析;部分自由晶的重熔和热区位置的提高降低了过热度,从而减少中心偏析^[8]。

在其它连铸工艺参数不变的情况下,将结晶器电磁搅拌电流由 300 A 提高到 350 A,中心点碳含量由 0.97% 降低到 0.89%,中心碳偏析指数由 1.19 降低到 1.08,见图 4。

提高结晶器电磁搅拌电流,虽然降低了中心碳偏析指数,但在低倍检验时,发现卷渣缺陷。因此,结晶器电磁搅拌电流选择 300 A 较为合理。

2.5 末端电磁搅拌强度的选择

为了选择合适的末端电磁搅拌强度参数,进行了对比试验。在其它连铸工艺参数一致的情况下,不同末搅强度对应的中心碳偏析指数如图 5 所示。

由图 5 可以看出,末端电磁搅拌电流由 300 A 增

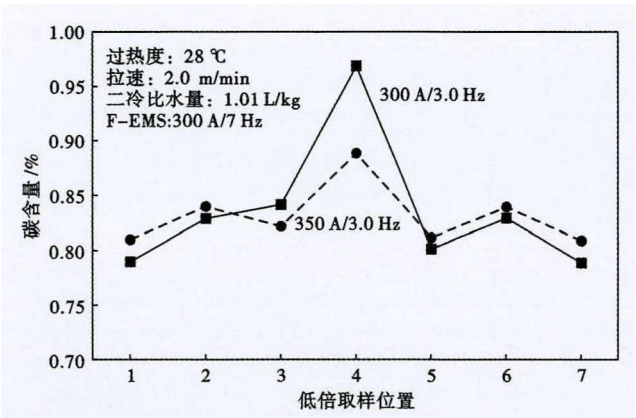


图 4 结晶器电磁搅拌强度对 SWRH82A 钢 150 mm × 150 mm 铸坯各位置碳含量的影响

Fig.4 Effect of mold electromagnetic stirring intensity on each position carbon content at 150 mm × 150 mm cast billet of SWRH82A steel

加到 400 A 时,中心碳偏析指数由 1.15 降低到 1.05;末端电磁搅拌电流由 400 A 增加到 470 A 时,中心碳偏析指数反而由 1.05 增加到 1.09,呈“V”形趋势。主要是因为当末端电磁搅拌电流较小时,磁

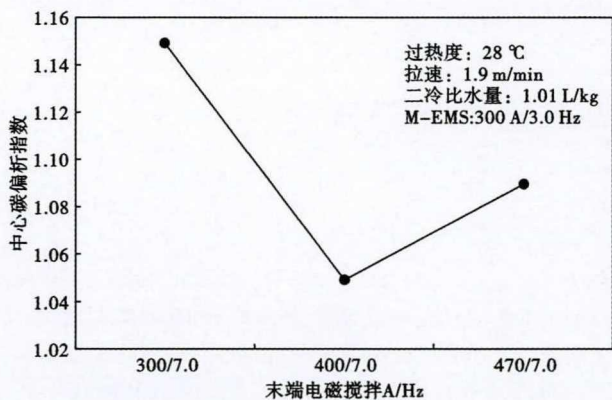


图5 末端电磁搅拌强度对 SWRH82A 钢 150 mm × 150 mm 铸坯中心碳偏析指数的影响

Fig. 5 Effect of end electromagnetic stirring intensity on center carbon segregation index of 150 mm × 150 mm cast billet of SWRH82A steel

参考文献

- [1] 蔡小锋,包燕平,林 路,等. 82B 盘条断口典型形貌及产生原因分析[J]. 中国冶金, 2015, 25(8): 1-5.
- [2] 刘振成,侯基林. SWRH82B 高碳盘条脆断原因分析[J]. 钢铁, 2003, 38(4): 52.
- [3] 赵 铭. 高碳钢 82B 盘条生产工艺控制措施[C] // 2011 年全国线材学术研讨会论文集. 烟台: 中国金属学会, 2011: 111.
- [4] 赵贝贝. 宣钢 82B 小方坯中心碳偏析控制[J]. 山西冶金, 2018, 172(2): 78-80.
- [5] 蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010: 289-293.
- [6] 冯 军,陈伟庆,韩 静,等. 连铸参数对高碳钢小方坯二次枝晶

感应强度较小,铸坯液芯搅拌不起来,达不到电磁搅拌预期目的;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。试验结果表明,末端电磁搅拌电流选择 400 A 较为合适。

3 结论

SWRH82A 高碳钢 150 mm × 150 mm 铸坯当合理控制拉速 1.9 ~ 2.0 m/min、过热度 25 °C 左右、比水量为 1.01 L/kg、结晶器电磁搅拌强度为 300 A/3.0 Hz、末端电磁搅拌强度为 400 A/7.0 Hz 时,铸坯中心碳偏析指数可以得到大幅改善,由原来的 1.21 降低至 1.05。

- 间距的影响[J]. 钢铁, 2006, 41(9): 37-39.
- [7] 里摩吉斯 J,贝特尔曼 L. 二次冷却和结晶器电磁搅拌对高碳钢碳偏析及其凝固结构的影响. 白静译. 天津冶炼, 2002(4): 40.
- [8] 毛 斌,张桂芳,李爱武. 连续铸钢用电磁搅拌的理论和技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012: 138-142.

毕 胜(1986-),男,工程师,2009 年辽宁科技大学(本科)毕业,炼钢工艺研究。E-mail: bisheng@dtsteel.com

关于认准《特殊钢》网址、防范假冒网站的声明

《特殊钢》杂志由中信泰富特钢集团旗下大冶特殊钢有限公司主管和主办,由《特殊钢》编辑部负责运营,是全国特殊钢行业知名的综合性科技刊物(双月刊);《特殊钢》杂志于 1980 年创刊发行,国际标准刊号为 ISSN1003-8620,国内统一刊号为 CN42-1243/TF。

近期,编辑部发现网络上存在大量假冒《特殊钢》杂志的网页,为维护我刊良好声誉和广大作者、读者的利益,本社郑重声明如下:

(一) www.specialsteeljournal.com 为《特殊钢》杂志的唯一网址,备案号为鄂 ICP 备 2022000839 号,请广大作者、读者使用《特殊钢》网址进行投稿、订阅、论文免费下载等操作。

(二) 除维普、万方、知网为本社授权合作网站,具有数字化复制权、发行权、汇编权、翻译权、信息网络传播权、版式设计专有权,其余网站皆未经本社授权,无权从事相关内容的刊登、收费阅读,承揽稿件,承接广告等行为,请广大作者、读者提高警惕,注意甄别,谨防受骗,由此造成的一切损失和后果,本编辑部不承担任何经济 and 法律责任;同时也鼓励向本编辑部进行举报相关侵权线索。

(三) 未经授权网站请于 2022 年 3 月 31 日前自行将与《特殊钢》杂志相关的内容撤除,逾期仍存在涉嫌侵害著作权、名誉权的单位或个人,本编辑部保留进一步发函、举报、诉讼等法律手段进行维权,必要时上报公安机关依法追究刑事责任。

《特殊钢》编辑部