

试验研究

大断面连铸圆坯白亮带的金属原位分析

崔雪英¹, 田磊¹, 张向海², 刘玉爱²

(1 山东省大规格合金结构钢棒材工程技术研究中心, 山东 滨州 256200; 2 山东广富集团有限公司, 山东 滨州 256200)

摘要: 未经末端电磁搅拌(F-EMS)的连铸圆坯上未出现白亮带, 应用电磁搅拌(电流强度249.67 A、频率6.6 Hz)的连铸坯产生了白亮带, 用金属原位分析仪研究了白亮带区域的元素分布。结果表明, 白亮带区存在C、Si、Mn、S、P元素的负偏析。分析认为, 电磁搅拌形成的钢液对流将富溶质元素的钢液带走后形成了C元素的偏析负区, 该区域在随后的冷却中形成了尺寸较大的铁素体晶粒, 酸浸时相对其他区域更耐腐蚀而显示为白色。

关键词: 连铸坯; 白亮带; 金属原位分析; 电磁搅拌

中图分类号: TG115.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2013)06-0034-02

1 前言

近年来, $\Phi 380 \sim \Phi 1\,000$ mm连铸圆坯生产线相继建成投产, 对于大断面连铸圆坯的研究主要集中在设备和工艺稳定性上^[1]。电磁搅拌(F-EMS)是改善连铸坯质量的重要手段, 应用电磁搅拌可以有效减轻中心偏析, 但会伴有带状偏析的产生。经搅拌以后的铸坯与搅拌位置对应处有可能出现一“白亮带”。研究指出, 白亮带主要是以碳元素为主的负偏析带, 由于钢坯经加热后白亮带仍不能消除, 用户认为它可能对性能不利。

李建超^[2]等在研究大断面连铸坯时, 采用距表面每隔2 mm处钻取直读光谱样测得元素分布的散点图的研究方法, 这是目前常用的连铸坯成分分布分析法。而金属原位分析仪可更方便地得到元素的连续分布^[3]。本研究用金属原位分析方法分析连铸坯的成分分布, 并进一步解释白亮带的形成机理。

2 试验方法

直径500 mm的45钢连铸圆坯由山东广富集团有限公司生产, 连铸工艺参数如下: 全弧形R15 m四机四流连铸机, 中间包容量126 t, 结晶器类型为800 mm铜管, F-EMS安装位置为弧的3/4处, 搅拌参数249.67 A/6.6 Hz, 拉速0.35 m/min。作为对比, 还选取了一组未经电磁搅拌直接凝固的连铸坯。酸浸后观察连铸圆坯断面的低倍组织, 对存在白亮带的连铸坯测量其位置及宽度, 酸浸试剂为1:1的工业盐酸。金属原位分析仪型号为OPA-100, 在白亮带处及附近取试样进行金属原位分析。其原理是采用无预燃连续激发的方式对样品表面进行扫描,

工作曲线和结果由OPA-100自带软件处理, 通过二维等高图和剖面图显示样品表面成分的变化。

3 试验结果

未经电磁搅拌的连铸坯低倍组织中未发现白亮带。经所选工艺电磁搅拌的连铸坯横截面酸浸后出现明显的白色亮环, 纵截面存在两条平行的白亮线, 即白亮带, 白亮带距表面170 mm, 宽度10 mm左右, 如图1所示(a中的A区是原位分析试样取样区)。较大倍数的低倍组织如图2所示, 图2中A区为靠近铸坯表面的区域, 可见柱状晶的一次枝晶较长, 二次枝晶明显; B区是白亮带区, 枝晶中的树枝状被打碎或发生弯曲; C区包含由多个短粗交叉树枝晶组成的等轴晶团。

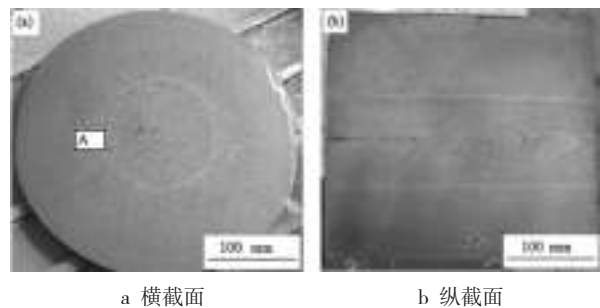


图1 连铸坯低倍形貌

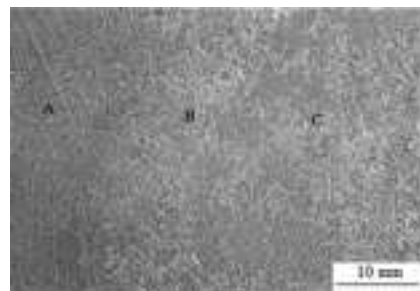


图2 连铸坯横截面的低倍组织

图3是存在白亮带的连铸坯横截面中主要元素分布的二维等高图, 红色区域代表元素含量高, 颜色渐变到蓝色表示含量逐渐降到最低。由图3a可

收稿日期: 2013-10-25

作者简介: 崔雪英, 女, 1989年生, 2010年毕业于山东大学金属材料专业。现为山东省大规格合金结构钢棒材工程研究中心工程师, 从事材料检验分析工作。

以看出,C元素整体上较均匀,仅白亮带处有一条蓝色负偏析带,此处C的最大负偏析度为0.221。图3f能更直观地反映白亮带区C元素含量的变化。C元素在 δ -Fe与钢液中的分配系数为0.13,钢中元素的偏析比随凝固率增加而增大,因此C元素的负偏析与电磁搅拌有关。Si、Mn元素的分布与C元素相似,Mn元素的负偏析度为0.13,而Si为0.307。在常

规凝固状态下,Si、Mn元素的元素偏析比略小于C元素,电磁搅拌后C、Si、Mn元素的偏析程度也近似。P、S元素的凝固偏析比大,是强偏析元素,偏析倾向明显高于C、Si、Mn元素,负偏析带变宽且纵向更连续,不同的是P、S元素在负偏析带两侧正偏析带也较严重,这与二者的凝固偏析比高有关,且S的凝固偏析比最高,因此S的正偏析也最严重(图3e)。

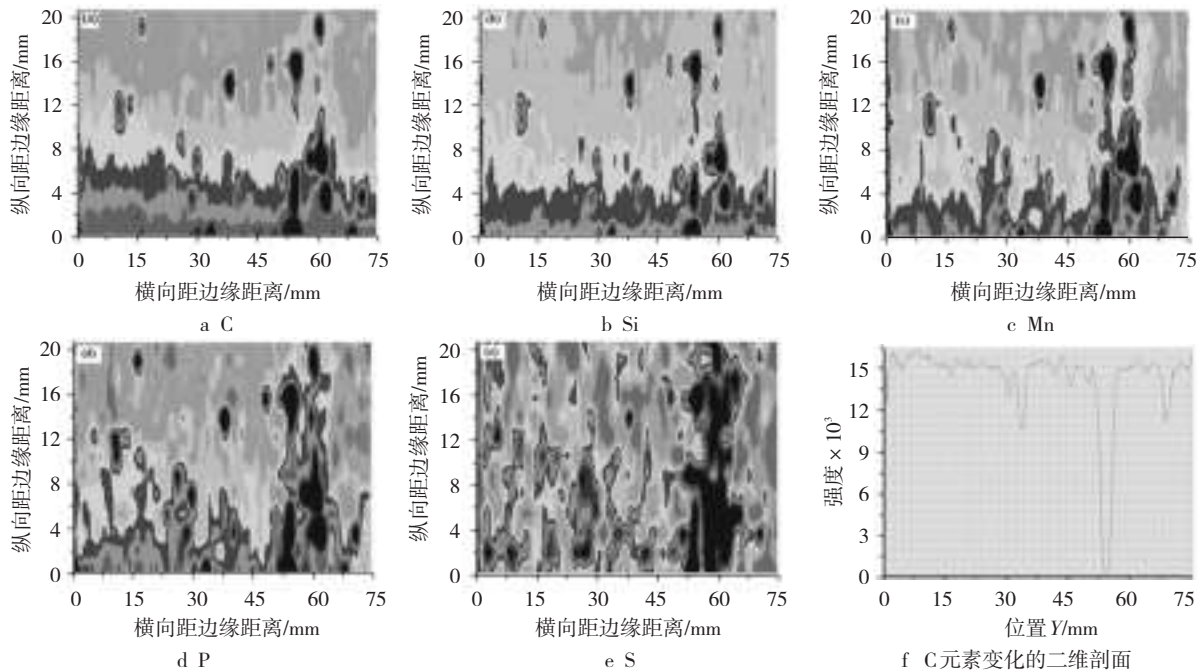


图3 连铸坯中各元素分布的二维等高图及C元素变化的二维剖面

4 结果分析

白亮带距离表面170 mm,有如下公式

$$\delta = k\sqrt{L/V}, \quad (1)$$

其中: δ 为连铸坯壳厚度; k 为凝固系数,取值为23.3 mm/min^{1/2};L为距凝固弯月面的距离;V为拉速。用公式(1)和连铸参数计算出白亮带产生处到弯月面的距离为18.63 m,而F-EMSD安装在弧的3/4处,距弯月面18 m,可见这两个距离近似相等。由此得出F-EMS是导致白亮带产生的主要原因。另外,在未经F-EMS的试样中未发现白亮带,这也证明F-EMS是白亮带产生的原因。白亮带的位置和宽度与电磁搅拌参数有关,定量关系是一个复杂的问题,尚待进一步研究。

根据日本高桥等提出的溶质冲刷机理^[4],EMS对钢液产生搅拌,使流动的钢水冲刷固液两相区,钢水冲刷此区域凝固枝晶间的富集溶质元素并导致溶质浓度降低。Kor和Albenny^[5]认为,由于开始搅拌时凝固速度慢,搅拌结束时凝固速度快,这种凝固速度的突变是白亮带产生的主要原因。文献^[6]认为钢液的强制流动是白亮带产生的主要原因,而非凝固速度的变化。本研究发现在搅拌区有

枝晶弯曲和断裂现象,证明了F-EMS促使钢液搅拌并打碎了原来的树枝晶和枝晶间搭桥。F-EMS通过钢液流动带走了枝晶间未凝固的富溶质元素并引起元素负偏析,C元素负偏析使珠光体含量减少,铁素体增多,即晶界减少,在低倍酸浸时该区域的耐酸蚀程度相对较强,即出现了白亮带。

5 结论

5.1 研究发现在搅拌区域有枝晶弯曲和断裂现象,证明了F-EMS促使钢液搅拌并打碎了原来的树枝晶和枝晶间搭桥。F-EMS引起强搅拌区的元素负偏析,C元素负偏析使珠光体含量减少,铁素体增多,即晶界减少,在低倍酸浸时该区域的耐酸蚀程度相对较强,即出现了白亮带。

5.2 金属原位分析仪能够高精度地反映连铸坯的元素分布,且分析速度快。

参考文献:

- [1] 李海波,刘松,李欣欣,等.超大断面圆坯连铸机控制系统的研发与应用[J].冶金自动化,2011,35(1):56-60.
- [2] 李建超,崔建忠,王宝峰,等.大方坯连铸凝固末端电磁搅拌的数值模拟和试验分析[J].金属热处理,2007,32(8):69-71.
- [3] 杨志军,王海舟.用原位分析方法研究连铸板坯的偏析和夹杂[J].钢铁,2003,38(3):61-63.

(下转第38页)

3 工艺改造及试验结果

依据数值模拟结果,对1个现场钢包进行优化改造,并对应用情况进行分析。

3.1 均混时间对比

目前包底喷吹位置为 $0.48R-0.69R-157^\circ$,改造后包底喷嘴位置为 $0.5R-0.67R-60^\circ$ 。氩气流量为20 L/min时,优化改造后钢包的均混时间由改造前的92 s减为85 s;当氩气流量为90 L/min时,均混时间由71 s降为59 s。因此,无论是小气量软吹还是大气量正常搅拌,改造后钢包的均混时间都要比现有钢包均混时间缩短约10 s。

3.2 软吹过程钢中夹杂物的变化

对原钢包和优化后钢包的软吹效果进行分析,一般软吹时间为10 min,分别在软吹4、7、10 min时取样进行分析,得到的夹杂物情况见表1。可以看出,钢包优化后钢中的夹杂物明显减少,50个视场内,软吹10 min后夹杂物总量减少1 819个。

4 结论

4.1 不同的夹角布置,对均混时间有较大的影响,

表1 钢包优化前后钢中夹杂物变化(50个视场)

项目	时间/ min	夹杂物粒径分布/ μm						总数量
		<1	1~3	3~5	5~10	10~15	≥ 15	
优化前	4	1 279	2 180	351	158	14	9	3 991
	7	1 115	2 310	300	190	19	2	3 936
	10	1 281	2 203	306	117	12	7	3 926
优化后	4	871	1 520	259	141	18	5	2 814
	7	797	1 205	206	88	18	10	2 324
	10	992	848	165	89	9	4	2 107

采用 $0.5R-0.67R-60^\circ$ 的喷嘴布置形式可减少卷渣,缩小均混时间。

4.2 现场取样分析结果表明,随着软吹时间的延长,钢中夹杂物总数量逐渐降低,且钢包优化改造后夹杂物数量明显减少。

4.3 合理的透气砖位置对精炼效果影响很大。

参考文献:

- [1] 朱苗勇.现代冶金学(钢铁冶金卷)[M].北京:冶金工业出版社,2005:293-294.
- [2] 鲍文廷.包钢150 t LF炉最佳吹气位置及温度分布优化模拟研究[D].包头:内蒙古科技大学,2006.
- [3] J. H. Grevet, J. Szekely, N. El-Kaddah. An experimental and theoretical study of gas bubble driven circulation systems[J]. Heat and mass transfer, 1981:487-497.

Numerical Simulation and Application of LF Flow Filed

YANG Zhijie, SONG Yuqing, ZHANG Guangjie, ZHAO Xinhua, WANG Yuanchun

(Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271104, China)

Abstract: The flow field of 80 t refining ladle in a steel company was simulated by Fluent Software. The influences of different gas supply brick layout and argon flow on the ladle flow filed and mixing effect of the molten steel were analyzed. The results showed that for the bottom argon blowing ladle, the gas supply brick with $0.5R-0.67R-60^\circ$ layout can reduce the slag entrapment and decrease the mixing time. Application showed that the reformed ladle shorten the mixing time of the molten steel 10 s and the total amount of inclusions was reduced by 1 800 (in 50 fields of view) by soft blowing of 10 min, significantly improving the refining effect.

Key words: ladle flow filed; numerical simulation; gas supply brick layout; mixing time; inclusion

(上接第35页)

- [4] Asai S, Nishio N, Muchi I. Theoretical analysis and model experiments on electromagnetically driven flow in continuous casting [J]. Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan, 1982, 22 (2): 126-133.

- [5] Bridge M R, Rogers G D. Structural effects and band segregate formation during the electromagnetic stirring of strand-cast steel [J]. Metallurgical transactions B, 1984, 15(3): 581-589.
- [6] 纪振双,姚留枋,唐仲和.电磁搅拌作用下铸坯宏观偏析的研究[J].钢铁研究学报,1992,4(S):9-14.

Research on White Band of Large Section Continuous Casting Round Bloom by Original Position Analysis

CUI Xueying¹, TIAN Lei¹, ZHANG Xianghai², LIU Yuai²

(1 Shandong Large Section Alloy Structural Steel Bars Engineering Technology Research Center, Binzhou 256200, China;

2 Shandong Guangfu Group Co., Ltd., Binzhou 256200, China)

Abstract: The continuous casting round bloom shows no "white band" without final electromagnetic stirring (F-EMS) stirring. However, when the F-EMS is applied with current intensity 249.67 A and the frequency 6.6 Hz, the white band appears. Elements distribution is studied by the original position statistic distribution analysis (OPA). The results showed that the white band consists of a zone of negative segregation of elements carbon, silicon, manganese, phosphorus and sulfur. White band generation mechanism is as follows: F-EMS generates stirring of liquid steel and washes away the enriched solute elements liquid to result in the carbon negative segregation zone. In this zone ferrite grains of larger size formed with subsequent cooling, which is more resistant to corrosion than other zone in the acid leaching and displays in white.

Key words: continuous casting round bloom; white band; original position analysis for metal; F-EMS