

·试验研究·

大圆坯连铸结晶器内电磁场分布特性的实验研究

郭上型 王建军 周 俐 李卫国 施晓芳 孙 维 汪开忠
(安徽工业大学冶金和资源学院, 马鞍山 243002) (马鞍山钢铁股份有限公司, 马鞍山 243000)

摘 要 在马钢工业生产条件下,用高斯计空载测量 $\Phi 380$ mm 圆坯连铸结晶器内在电流参数 400 ~ 510 A、2.0 ~ 2.5 Hz 的范围内磁感应强度的分布特性。结果表明,结晶器中心垂直方向磁感应强度变化曲线呈波峰状,在离结晶器上口约 530 mm 的电磁搅拌器中心处有最大值;在结晶器水平截面上磁感应强度沿截面中心至边缘逐渐增大。钢液弯月面处的磁感应强度是结晶器中心最大值的 10% 左右。马钢在现有生产条件下采用 400 A/2.5 Hz 的电流参数,相应电磁搅拌强度明显偏低。

关键词 圆坯 连铸 结晶器 电磁搅拌 磁感应强度

A Study on Distribution Characteristics of Electromagnetic Field in Concasting Mould for Round Bloom

Guo Shangxing, Wang Jianjun, Zhou Li, Li Weiguo and Shi Xiaofang
(School of Metallurgy and Resources, Anhui University of Technology, Maanshan 243002)
Sun Wei and Wang Kaizhong
(Maanshan Iron and Steel Co Ltd, Maanshan 243000)

Abstract In condition of commercial production at Maanshan Steel, with electric current parameter within limits 400 ~ 510 A and 2.0 ~ 2.5 Hz, the distribution characteristics of magnetic induction intensity in concasting mould with M-EMS for $\Phi 380$ mm round bloom has been measured by using Gauss-meter. The results showed that the curve of magnetic induction intensity along vertical direction of mould center had a peak shape and the maximum value was at M-EMS stirrer center and a distance 530 mm from top of mould; and it increased gradually from center to edge at mould horizontal section. The magnetic induction intensity at meniscus was about 10% of that maximum value at mould middle section. The analysis shows that in the present production conditions at Maanshan Steel the stirring intensity with using electric current parameter 400 A/2.5 Hz is not enough.

Material Index Round Bloom, Concasting, Mould, Electromagnetic Stirring, Magnetic Induction Intensity

马钢股份公司于 2002 年引进 1 台铸坯断面为 $\Phi 380$ mm/ $\Phi 450$ mm 的大圆坯连铸机,其铸坯主要用于生产车轮轮箍产品。该连铸机配有 M-EMS 装置,使用结果表明^[1,2]:电磁搅拌改善了铸坯组织,降低铸坯中心疏松和缩孔等缺陷的发生率,减少铸坯夹杂物含量,从而提高了车轮产品内在质量。本文在此基础上,使用高斯计,在线测量结晶器空载时的电磁感应强度变化情况,用以探明结晶器内不同位置,不同搅拌电流强度和频率时电磁场分布特点,为优化搅拌参数、改进搅拌工艺和进一步提高铸坯质量提供理论依据。

1 检测方法

马钢连铸机圆坯结晶器的技术参数见表 1。

M-EMS 装置为外置式,安装在结晶器上口之下 280mm 处,电磁搅拌电流强度 0 ~ 510A,搅拌

表 1 马钢连铸机圆坯结晶器的技术参数

Table 1 Technical parameters of concasting mould for round bloom at Maanshan Steel

结晶器断面 /mm	结晶器铜板 厚度/mm	结晶器锥度/ $\% \cdot m^{-1}$		结晶器长度 /mm
		0 ~ 300 mm	300 ~ 780 mm	
$\Phi 380$	26	2.20	1.30	780
$\Phi 450$	30	2.50	1.30	780

频率为 2.0 ~ 2.5 Hz。采用 FH54 高斯计的霍尔探头测量结晶器内各测量点的磁感应强度大小。

考虑到圆坯结晶器结构特点及结晶器内磁场分布所具有的对称性,实验选择测试点位置如图 1 所示。由于目前测量有钢液时结晶器内的电磁场仍十分困难,故测试在空载下进行。

2 实验结果与讨论

2.1 结晶器中心垂直方向上的磁感应强度分布
采用目前马钢生产所使用的电磁搅拌电流强

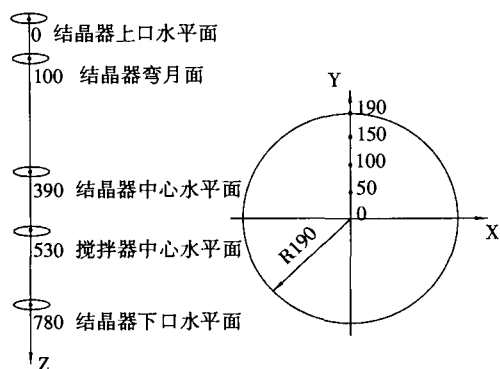


图 1 结晶器各横截面上沿径向测量点位置示意图
Fig.1 Schematic of measuring location at various horizontal section of mould

度和频率值(400 A/2.5 Hz),测得结晶器中心垂直方向上磁感应强度,绘制成沿结晶器中心垂直方向上磁感应强度 B 的分布曲线,如图 2 所示。

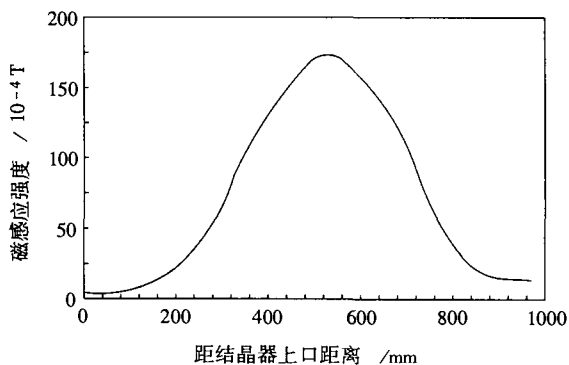


图 2 结晶器中心垂直方向上的磁感应强度分布(400 A/2.5 Hz)

Fig.2 Distribution of magnetic induction intensity along vertical centre line of mould, 400 A/2.5 Hz

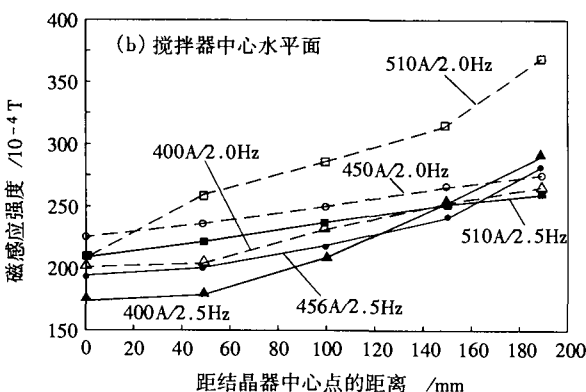
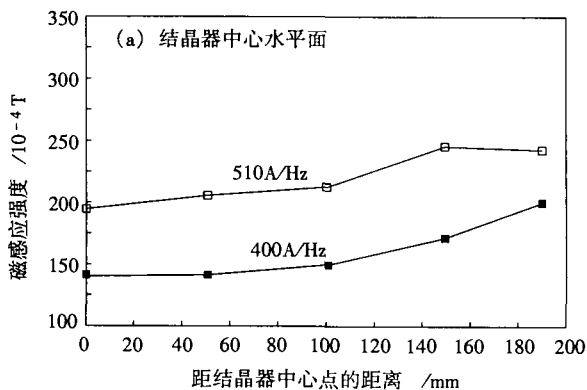


图 3 不同电流参数的结晶中心水平面(a)、搅拌器中心水平面(b)径向磁感应强度的分布

Fig.3 Distribution of radial magnetic induction intensity with various electric current parameters at middle horizontal section of mould (a) and (b) stirrer

从图 2 可见:结晶器中心垂直方向上的磁感应强度分布曲线呈波峰状,峰顶对应着磁感应强度的最大值,其最大值位置在电磁搅拌器中心处,即离结晶器上口约 530 mm 处。中心磁感应强度最大值为 170×10^{-4} T 左右。

文献[3]提出,为了获得好的冶金效果,对中、高碳钢连铸,中心磁感应强度应选择为 $(450 \sim 600) \times 10^{-4}$ T。本实测值与其相比有很大差距。因此,有必要优化马钢连铸的搅拌电参数。

电磁搅拌器安装位置对中心磁感应强度的分布有着重要的影响。随着搅拌器安装位置向结晶器上口端靠近,相应位置的磁感应强度随之变大。显然,结晶器弯月面中心磁感应强度也随其升高,这可能直接影响到弯月面的稳定性与卷渣程度。据此,电磁搅拌器安装位置的调整可作为一个重要手段,以解决中心磁感应强度的提高和弯月面的波动之间存在的矛盾。

2.2 结晶器各横截面上的磁感应强度分布

按图 1 测试点位置,测得结晶器中心水平面,电磁搅拌器中心水平面,弯月面以及结晶器下口水平面上沿径向磁感应强度的分布(图 3,4)。

2.2.1 结晶器中心水平面和电磁搅拌器中心水平面上径向磁感应强度分布

图 3 表明,结晶器中心水平面与搅拌器中心水平面上的磁感应强度曲线的变化趋势大致相同,它不受不同横截面和不同搅拌电参数的影响,均随着测试点由结晶器边缘向截面中心移动,相应的磁感应强度随之降低。此现象主要是在空载测试时,结晶器内空气对磁场衰减的影响所致。

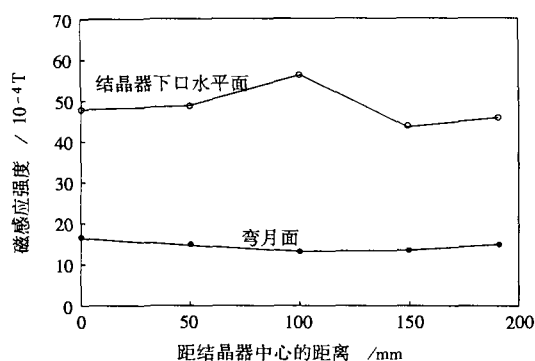


图4 结晶器弯月面和出口水平面上沿径向磁感应强度的分布(400 A/2.5 Hz)

Fig.4 Distribution of radial magnetic induction at meniscus and exit section of mould, 400 A/2.5 Hz

通常用电流透入深度的大小来衡量磁场衰减程度^[4],电流透入深度的计算式如下:

$$\Delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

式中: Δ -电流的透入深度/cm; ρ -金属的电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$; μ_r -金属的相对磁导率; f -电流频率/Hz。

由于钢液和空气的相对磁导率相差不大,而钢液电阻率比空气小,根据上式可知,钢液中电流透入深度比空气小,从而钢液对磁场的衰减程度比空气大,即实际生产时中心磁感应强度应小于空载测试值,这对铸坯的质量控制带来不利影响。

由图3可见,搅拌电流强度和频率对磁感应强度有着明显的影响,在相同电流频率下,随着电流强度的增大,磁感应强度增强。当电流强度相同时,随电流频率减小,磁感应强度增大,这是因为电流频率降低,结晶器铜壁对磁场的屏蔽作用减弱,磁场透过铜板的能力加强。本实验的结晶器壁的铜板厚度为26 mm,大于一般中小方坯的铜板厚度。因此,有必要采用较小的电流频率。

在本实验搅拌电参数范围内(400 ~ 510 A, 2 ~ 2.5 Hz)当电参数为400 A/2.5 Hz时,对应着最小中心磁感应强度,该值为 174×10^{-4} T左右;当电参数为510 A/2.0 Hz时,得到中心磁感应强度最大,该值为 210×10^{-4} T左右。由此可见,合理匹配电流强度和频率对于改善电磁搅拌冶金效果是非常必要的。显然本实验搅拌参数的优化匹配为510 A/2.0 Hz。

2.2.2 结晶器弯月面和结晶器下口平面上径向磁感应强度分布

在搅拌参数为400 A/2.5 Hz的条件下,测得结晶器弯月面和结晶器下口水平面上径向磁感应强度分布如图4所示。

将图4和图3比较可知,结晶器弯月面处和结晶器下口水平面上的磁感应强度分布特性与其他横截面不同,一是磁感应强度的变化趋势不同;二是磁场分布呈发散之态;三是磁感应强度明显减弱。这可能是这两个测试截面位于结晶器两端的边界位置,它们离电磁搅拌器中心较远,并受此处存在的漏磁效应和边缘效应的影响所致。弯月面上磁感应强度的减弱对于减小弯月面的波动,防止弯月面卷渣是有利的。本实验测试值表明:弯月面处的磁感应强度为中心磁感应强度最大值的10%左右。

3 结论

(1) 结晶器中心垂直方向上的磁感应强度变化曲线呈波峰状,最大值位置在结晶器的搅拌器中心处,离结晶器上口约530 mm。

(2) 在结晶器各横截水平面上,磁感应强度由截面中心至结晶器边缘逐渐增大。

(3) 在相同电流频率条件下,随电流强度增大,磁感应强度增强;当电流强度相同时,随电流频率减小,磁感应强度增大。

(4) 对于中高碳钢连铸,合适的中心磁感应强度大约在 $(450 \sim 600) \times 10^{-4}$ T。目前,马钢现场生产采用400 A/2.5 Hz的电流参数,其相应电磁搅拌强度明显偏低。

(5) 随电磁搅拌器位置向结晶器上口端靠近,弯月面上磁感应强度随之变大。

国家高技术研究发展专项经费资助项目
(2003AA331160)

参考文献

- 1 龚志翔,张建平,石知机,等. M-EMS 对大圆坯质量的影响. 连铸, 2003(5):1
- 2 龚志翔,陈刚,焦兴利,等. 结晶器电磁搅拌对 $\Phi 450$ mm 连铸圆坯组织和夹杂物的影响. 特殊钢, 2004, 25(4):35
- 3 毛斌. 连铸电磁冶金技术. 连铸, 1999(5):36
- 4 韩至成. 电磁冶金学. 北京:冶金工业出版社, 2001

郭上型(1945-),教授。从事钢铁冶金基础理论及工艺应用研究。