

连铸板坯行波电磁搅拌器磁感应强度的影响因素

邢淑清¹ 麻永林^{1,2} 宿国栋¹ 黄海娥¹ 李建超¹

(1 内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010;

2 东北大学轧制技术与连轧自动化国家重点实验室, 沈阳 110004)

摘要 采用三维高斯计在实验室测定了自行研制的板坯连铸用行波搅拌器的磁场变化规律。结果表明, 在给定输入频率与两相对磁极间距下研制的双侧搅拌器的磁感应强度随输入电流的增加呈线性增加, 为了使搅拌器中心的磁感应强度达到 $600 \times 10^{-4} T$, 输入电流约为 600 A。在 $(180 \sim 220) \text{ mm} \times (900 \sim 1\ 630) \text{ mm}$ 板坯连铸机单侧二冷电磁搅拌现场测试结果表明, 如采用所研制的双侧直线型电磁搅拌器时, 输入电流只要 445 ~ 595 A, 中心磁场的磁感应强度即可达 $(450 \sim 600) \times 10^{-4} T$, 有效地提高了搅拌效率。

关键词 板坯连铸 电磁搅拌 磁感应强度

Influence Factors on Magnetic Induction of Traveling Wave Electromagnetic Stirrer for Slab Concasting

Xing Shuqing¹, Ma Yonglin^{1,2}, Su Guodong¹, Huang Haie¹ and Li Jianchao¹

(1 Material and Metallurgy School, University of Science and Technology, Baotou 014010;

2 State Key Lab for Rolling Technology and Continuous Rolling Automatization, Northeast University, Shenyang 110004)

Abstract The evolution law of magnetic induction of traveling wave stirrer developed for the concasting slab was determined by using 3-dimensional Gauss meter in laboratory. The test results showed that the magnetic induction of developed two-side stirrer linearly increased with increasing input current at given input frequency and distance between relative magnetic pole pairs, and as the input current was $\sim 600 \text{ A}$, the magnetic induction at center of stirrer was up to $600 \times 10^{-4} T$. The measured results using single side secondary cooling magnetic stirring in situ of $(180 \sim 220) \text{ mm} \times (900 \sim 1\ 630) \text{ mm}$ slab concaster obtained that as input current only is 445 ~ 595 A developed two side stirrer the magnetic induction at center magnetic field shall be up to $(450 \sim 600) \times 10^{-4} T$, it is available to increase stirring efficiency.

Material Index Slab Concasting, Electromagnetic Stirring, Magnetic Induction

电磁搅拌装置 (Electro-Magnetic Stirring) 英语缩写为 EMS, 其感应方式有两种, 一种是基于异步电机原理的旋转搅拌, 另一种是基于同步电机原理的直线搅拌。行波磁场搅拌器, 即展平的旋转感应搅拌器, 它将驱动钢液作直线运动^[1]。由于板坯连铸机结晶器的宽厚比大, 不适合采用旋转磁场型的搅拌, 因而一般采用移动磁场型的搅拌^[2]。

本实验是在内蒙古科技大学 EPM 实验室进行的, 采用三维高斯计测定了自行研制的板坯连铸用行波电磁搅拌器磁场的变化规律。

1 实验方案

实验用的是凸极型电磁搅拌装置, 通过改变磁极输入电流、输入频率以及相对磁极间距来改变磁感应强度并分析其变化规律。实验在空载情况下进行, 即双边搅拌器中间无任何金属材料。

1.1 实验设备

- (1) 变频三相电源 (FRENIC 5000G11S/P11S);
- (2) 直线型电磁搅拌器; (3) 三维高斯计 (3D Lake shore 460)。实验设备参数见表 1。压频公式为:

$$U = f(V/F)$$

表 1 电磁搅拌器电源和设备参数
Table 1 Parameters of power supply and equipment of magnetic stirrer

项目	参数	
电 源	电流范围/A	0 ~ 150
	电压范围/V	320 ~ 480
	频率范围/Hz	0 ~ 120
	额定电压/V	自行设定
	输出电压/V	$U = f(V/F)$
	输出电流/A	仪器记录值
设 备	使用电流范围/A	0 ~ 100
	单边电极数量/个	6
	长度/宽度/高度/mm	1 600/465/750
	单边磁极可调距离/mm	1 000
	类型	直线型

式中: U - 输出电压; f - 设定频率; V - 额定电压; F - 基本频率。

1.2 实验线路及测点位置

考虑到单个磁极线圈的电阻小,如果采用三角形接法会因为电阻过小电流过大而把磁极线圈烧坏,损坏设备。所以将两边总共 12 个凸极分三边串联,各边四个进线尾部相互连接。各个磁极磁性分布及测点位置如图 1 所示。

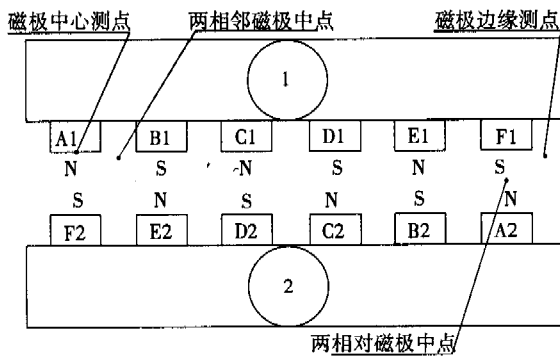


图 1 搅拌器磁极磁性分布及测点位置

Fig.1 Distribution of magnetic polarity of stirrer and measuring spot location

测点位置共 32 个,各个磁极线圈的中心位置共 12 个测点,线圈磁极中心的磁感应强度最大,当频率改变的时候,它所改变的幅度也是最大的。两个相邻磁极距离的中心位置(距离相邻两个磁极线圈连线中点 40 mm 处)共 10 个测点,相邻磁极的磁场相互叠加,相同矢量方向的磁场同向叠加,数值大小也是叠加的。两个相对磁极距离中点位置共 6 个测点,两相对磁极中点位置是两个磁极磁场作用均匀的场所。磁极边缘共 4 个测点。

2 实验数据及结果分析

相对磁极间距中点位置共 6 个测点,因其对于两个磁极磁感应强度的变化反映最为灵敏,本文只分析这些测点在输入电流、输入频率以及相对磁极间距变化时的磁场分布规律。

2.1 输入频率对磁感应强度的影响

实验数据的采集所采用的额定电压为 400 V,输入频率从 2 Hz 变化到 18 Hz,并以 4 Hz 递增,两相对磁极间距为 560 mm。将输入频率为 2 Hz 的磁感应强度数据列在表 2 中。

三维高斯计测量结果表明,电磁搅拌器的磁场分布具有方向性,表 2 中 X 为垂直于水平面方

表 2 不同测点磁感应强度数值

Table 2 Magnetic induction value at different measuring spot

测点位置	输入频率/Hz	磁极间距/mm	额定电压/V	磁感应强度/ 10^{-4} T			
				X	Y	Z	综合值
A1 ~ F2	2	560	400	5	2	21	21
B1 ~ E2	2	560	400	4	3	25	25
C1 ~ D2	2	560	400	3	3	24	25
D1 ~ C2	2	560	400	4	2	24	24
E1 ~ B2	2	560	400	5	3	24	25
F1 ~ A2	2	560	400	5	2	19	20

向, Y 为搅拌器长度方向, Z 为水平方向,指向相对磁极,综合值为高斯计显示的综合磁感应强度。从表 2 可以看出, X 、 Y 方向的磁感应强度远小于 Z 方向的,且 Z 方向的磁感应强度与综合值相当,可认为此时的磁场为单向磁场,即 Z 方向为可利用的有效磁场。因此在分析数据时(其它频率下的磁感应强度数据规律与此相同,不再列表),也只分析 Z 方向的磁感应强度。A1 ~ F2, B1 ~ E2, C1 ~ D2 测点位置与 F1 ~ A2, E1 ~ B2, D1 ~ C2 测点位置对称,磁场变化规律相同,因此只取 A1 ~ F2, B1 ~ E2, C1 ~ D2 测点位置的磁感应强度进行分析。

从图 2(a)不同频率下 Z 方向磁感应强度变化曲线可见,测点位置不同,磁感应强度数值也不同。不同频率下,最外侧 A1 ~ F2 处磁感应强度最小,比中部磁感应强度小约 20%,但它们的变化趋势相同,均在输入频率 6 Hz 时取得峰值。

2.2 输入电流对磁感应强度的影响

不同电流下 Z 方向磁感应强度变化曲线如图 2(b)所示,两相对磁极间距仍为 560 mm。由图 2(b)可以看出,测点位置不同,磁感应强度的大小不同,但它们的变化趋势相同,均随着输入电流的增加而增加,在 A1 ~ F2 处磁感应强度最小。此处电流为 34.5 A 时,磁感应强度为 33×10^{-4} T,电流为 52.5 A 时,磁感应强度为 49×10^{-4} T。

理论和实验数据表明,磁感应强度随着输入电流的增加呈线性增加,在工业生产中,磁感应强度在达到 $(450 \sim 600) \times 10^{-4}$ T 时,可以产生预期的搅拌效果。根据本文的线性关系可知,为了达到 $(450 \sim 600) \times 10^{-4}$ T 的磁感应强度,采用本实验的对称布置的直线型搅拌器,输入电流在 445.5 ~ 595.5 A。

3 现场测试结果

表 3 为行波搅拌器在工业板坯连铸机(表 4)

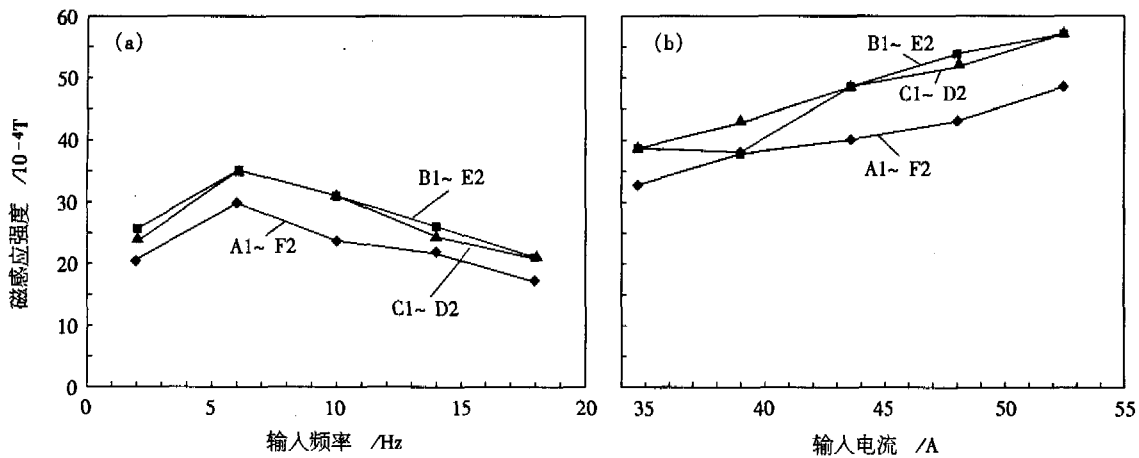


图 2 不同输入频率(a)和电流(b)的磁感应强度分布曲线
Fig.2 Distribution curves of magnetic induction with different input frequency (a) and current (b)

表 3 板坯连铸机单侧二冷电磁搅拌(直线型)磁感应强度的测试结果

Table 3 Measured results of magnetic induction using single side secondary cooling magnetic stirring (straight line type)

电流/A	磁感应强度/ $10^{-4} T$			
	1号磁极	2号磁极	3号磁极	4号磁极
100(2Hz)	125	135	140	135
300(2Hz)	302	313	307	307
500(2Hz)	387	399	402	384
600(2Hz)	416	424	425	420
700(2Hz)	463	458	458	451
700(3Hz)	444	459	459	450
750(2Hz)	463	474	473	463
800(2Hz)	471	482	478	471
850(2Hz)	485	490	489	473

表 4 板坯连铸机的主要技术参数

Table 4 Main technical parameters of slab caster

项目	参数
中间包容量/t	20
铸坯断面/mm	(900 ~ 1 630) × (180 ~ 220)
弧形半径/m	8
流数	1
铸(拉)坯速度/ $m \cdot min^{-1}$	0.8 ~ 1.5
铸坯定尺长度/m	8
冶金长度/m	20.5
矫直方式	多点
二次冷却方式	L1 ~ L3 水, L4 ~ L16 雾
电磁搅拌(S-EMS)	有
铸流保护	有
平均浇铸时间/min	50
生产能力/ $万 t \cdot a^{-1}$	30

单侧二冷电磁搅拌(直线型)磁感应强度的现场测试结果。从表 3 可以看出,当中心磁感应强度达到 $400 \times 10^{-4} T$ 时,需要的电流约为 600 A;而当磁感应强度达到 $600 \times 10^{-4} T$ 时,则输入电流需超过 1 000 A(根据磁感应强度与输入电流的线性关系推算)。由前面的分析结果可知,采用本实验

设计的双侧直线型电磁搅拌器时,输入电流只需 445 ~ 595 A,中心磁场的磁感应强度就可以达到 $(450 \sim 600) \times 10^{-4} T$ 。可见,采用双侧直线型电磁搅拌器,达到预期的搅拌效果时所需的输入电流可显著减少,对于延长搅拌器的使用寿命,提高搅拌效率十分有利。

4 结论

(1) 三维磁场测试表明,双侧直线型板坯电磁搅拌磁场为一单向磁场,其水平方向(指向相对磁极)是可利用的有效磁场。

(2) 搅拌器的外侧磁极处的磁感应强度最小,中部的磁感应强度相对较大,相差约 20%。

(3) 在给定两相对磁极间距下(560 mm),磁感应强度随着输入频率的减小而增加,在 6 Hz 时有最大值。

(4) 磁感应强度随着输入电流的增加呈线性增加。采用单侧搅拌,达到 $600 \times 10^{-4} T$ 磁感应强度所需的输入电流在 1 000 A 以上,而采用双侧搅拌,则只需不到 600 A 的输入电流。

本课题为教育部重点研究项目(204025),教育部春晖计划启动项目(Z2004-2-15023)

参考文献

- 1 韩至成,电磁冶金学.北京:冶金工业出版社,2001
- 2 毛 斌,王世郁,童立荣,等.舞钢板坯铸机二冷区电磁搅拌器的参数及其性能.重型机械,1999(6):5

邢淑清(1971-),女,讲师,在读研究生,1995年包头钢铁学院毕业。研究领域:材料的电磁加工和轧钢工艺。

收稿日期:2005-12-20