

连铸圆坯电磁场的数值模拟

王哨兵¹ 李建超² 付少朋¹ 王安德¹ 罗 斌¹

(1. 浙江青山钢铁有限公司 丽水 323900; 2. 内蒙古工业大学材料科学与工程学院 呼和浩特 010051)

摘要:通过数值模拟的方法,确定结晶器电磁搅拌过程中铸坯内部磁感应强度、电磁力的分布,并对比在不同的电流频率下,中心点的磁感应强度分布情况。

关键词:圆坯;电磁搅拌;数值模拟

0 前言

随着钢铁事业的发展,对钢材的性能要求越来越严格,目前高品质的连铸坯要求越来越严格。连铸实践证明,电磁搅拌可以扩大连铸工艺条件、提高铸坯质量,如提高等轴晶率等,因此电磁搅拌已经成为连铸的重要技术手段^[1-11]。

1 研究方法

利用有限元软件建立圆坯的数学模型见图1。为了能够更清楚地看到搅拌器的内部结构,图1所示搅拌器外面包围的空气没有画出,搅拌器为三相六极凸极式,搅拌器有六个线圈。线圈中每根线通入电流为400A,频率为3Hz,计算时所需的物理参数见表1。

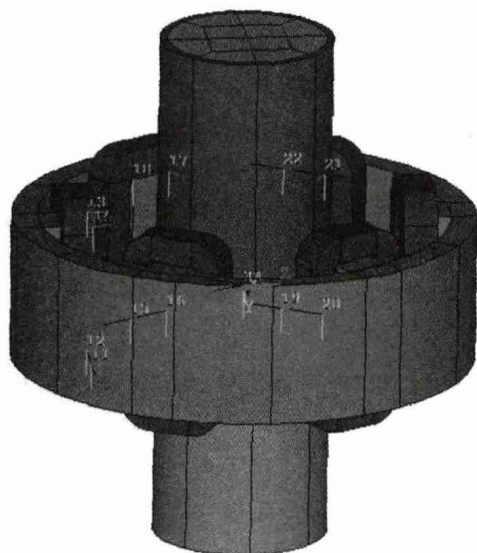


图1 三维电磁场有限元分析模型

表1 电磁搅拌磁场数值模拟的物理参数

材料	相对磁导率	电导率/ $S \cdot m^{-1}$
钢液	1.0	7.14×10^3
坯壳	1.0	1.0×10^3
空气(水)	1.0	0
线圈	1.0	0

对于三相结晶器电磁搅拌器,三相电流之间相位差为 120° ,相对的两个线圈断面上加同相位的电流密度,各相线圈电流密度值见式(1)~(3)。

$$J_1 = J_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$J_2 = J_0 \sin(\omega t + 2\pi/3) \quad (2)$$

$$J_3 = J_0 \sin(\omega t + 4\pi/3) \quad (3)$$

式中: J_1, J_2, J_3 分别为第一相、第二相及第三相电流密度; ω 为角速度, $\omega = 2\pi f$, f 为频率; t 为时间; J_0 为线圈电流密度的幅值,由电流值、线圈匝数及线圈断面面积决定。电磁场采用瞬态磁场计算方法,时间步长为一个周期的八分之一,整个过程计算时间为两个周期。

2 结果与讨论

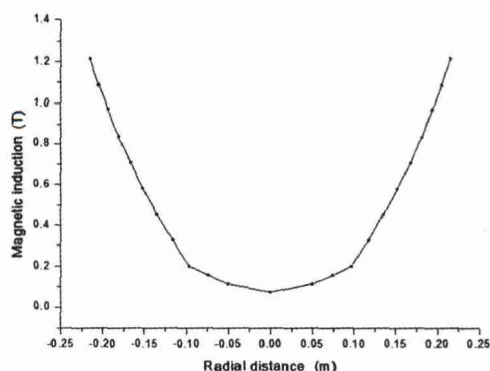


图2 磁感应强度径向分布

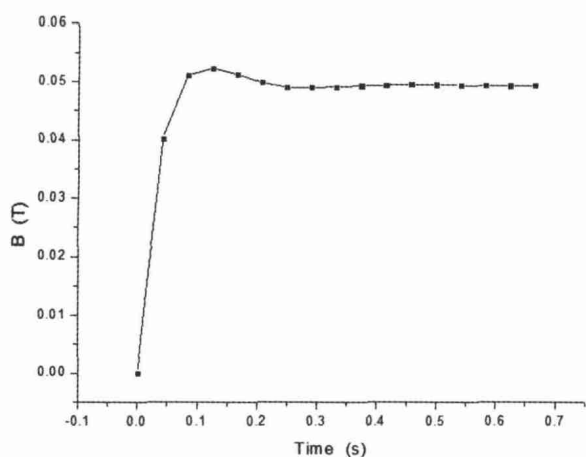


图3 中心点的磁感应强度分布

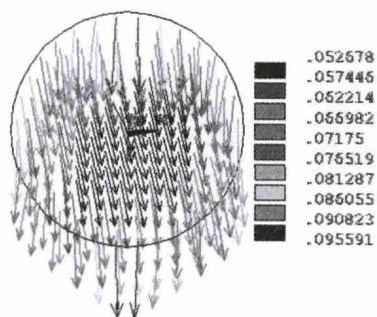
对铸坯横断面上径向的磁场进行分析,其磁场分布情况见图2,任意选取其中一条轴线,可以看出圆坯的磁感应强度从边部往中心不断减小,并且出

现边缘大,中心小的特点。

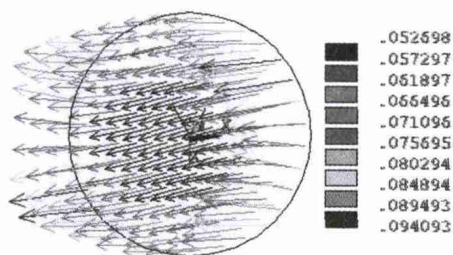
选取两个周期对圆坯中心点处的磁感应强度变化进行分析,其磁感应强度随着时间的变化曲线如图3所示。通过曲线可以得知,在第一个周期内中心点的磁感应强度变化较大,第二个周期内中心点的磁感应强度保持不变,呈平稳的变化,因此在进行磁场分析的时候,主要是取第二部分的磁感应强度进行计算。通过曲线,可以看出,中心部位的磁感应强度保持在0.049T。

2.1 一个周期内磁场的变化特征

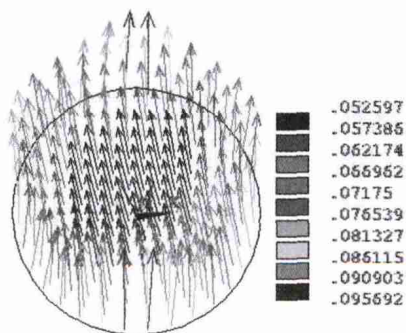
对一个周期内连铸圆坯中间断面磁场在不同时刻的磁感应强度变化进行分析,通过对比磁感应强度的矢量图如图4所示,可以看出,在一个周期内不同的时刻,磁感应强度的方向是顺时针方向进行旋转的,并且在连铸圆坯的磁场是均匀分布的。



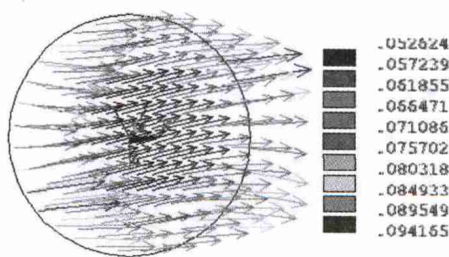
(a) 1/4 周期



(b) 2/4 周期



(c) 3/4 周期



(d) 1 周期

图4 一个周期内铸坯中间断面磁场的分布

2.2 不同频率下连铸圆坯内磁场的变化特征

对连铸结晶器电磁搅拌施加不同的电流频率,图5表示在不同电流频率下连铸圆坯中心点的磁场变化曲线,通过曲线可以看出,随着电流频率的增大,连铸圆坯的中心点磁场强度降低。在电流强度为2Hz时,连铸圆坯中心点的磁场强度为

0.056T;在电流强度为3Hz时,连铸圆坯中心点的磁场强度为0.049T;在电流强度为4Hz时,连铸圆坯中心点的磁场强度为0.046T;在电流强度为5Hz时,连铸圆坯中心点的磁场强度为0.043T;在电流强度为6Hz时,连铸圆坯中心点的磁场强度为0.041T。通过曲线可以看出,在电流强度为5Hz

和 6Hz 时,中心点的磁感应强度较小;在电流频率为 2Hz 时,其中心点的磁感应强度过大。

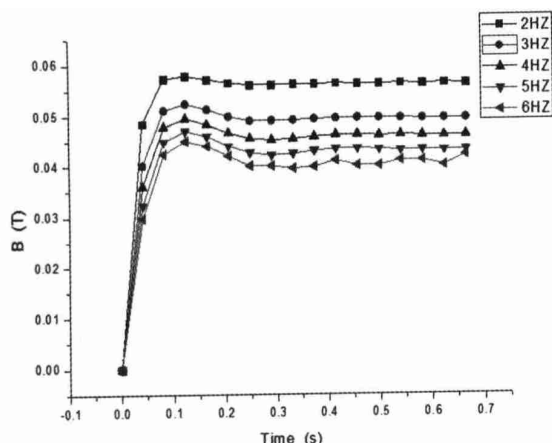


图 5 不同电流频率下连铸圆坯中心点的磁场变化

3 结语

根据建立圆坯连铸结晶器电磁搅拌电磁场的数学模型,利用 ANSYS 14.5 有限元软件对电磁场的数学模型进行分析,得到了结晶器内钢液中的磁场强度分布特征,并且分析出在不同的电流频率下磁场强度的分布情况。得出如下结论:

1) 磁感应强度在钢液中径向分布呈现中心小,边缘大的特点。电磁力在钢液中的径向分布和磁感应强度是相符的。

2) 在电流频率为 2Hz~6Hz 的范围内,连铸圆坯中心点的磁场强度随着电流频率的增大而减小,并且随着电流频率的增大,中心点的磁感应强度降低。

参考文献

- [1] S. Kunstreich. 板坯连铸的电磁搅拌[J]. 钢铁, 2005, 40(9): 81~82
- [2] 王宝峰, 李建超. 电磁搅拌技术在连铸生产中的应用[J]. 鞍钢技术, 2009, (1): 1~5
- [3] 尹永昌, 李建超, 王宝峰, 张凌峰. 连铸板坯二冷区辊式电磁搅拌的磁场数值模拟[J]. 铸造技术, 2012, 33(3): 319~320
- [4] 李建超, 崔建忠, 王宝峰, 麻永林等. 小方坯连铸结晶器电磁搅拌的数值模拟[J]. 炼钢, 2007, 23(1): 35~39.
- [5] 于海岐, 朱苗勇. 圆坯结晶器电磁搅拌过程三维流场与温度场数值模拟[J]. 金属学报, 2008, 44(12): 1465~1473.
- [6] 郑淑国, 朱苗勇, 于海岐, 曾小平. 圆坯连铸结晶器电磁搅拌工艺参数优化试验研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2008, 29(11): 1589~1592
- [7] 刘国平, 田乃媛, 吴耀光, 汪国才. 圆坯连铸结晶器电磁搅拌数学模拟[J]. 北京科技大学学报, 2006, 28(2): 119~123
- [8] L. BETTELMAN. Effect of mold EMS design on billet casting productivity and product quality[J]. Canadian Metallurgical Quarterly, 2000, 38(5): 301~309
- [9] 刘国林, 吴苏州, 张炯明, 王万军等. 宽板坯连铸结晶器内液面波动的数值模拟[J]. 北京科技大学学报, 2009, 31(2): 229~233
- [10] 于海岐, 朱苗勇. 板坯结晶器电磁制动和吹氩过程的钢/渣界面行为[J]. 金属学报, 2008, 44(9): 1141~1148
- [11] 于海岐, 朱苗勇. 圆坯结晶器电磁搅拌过程三维流场和温度场数值模拟[J]. 金属学报, 2008, 44(12): 1465~1473

收稿日期: 2016-10-08

审稿: 李朋欢

编辑: 潘君益