

基于液芯预测的连铸动态轻压下控制方法

刘斌¹, 蒋峥¹, 方康玲¹, 张群亮²

(1. 武汉科技大学 信息科学与工程学院自动化系, 湖北 武汉 430081; 2. 上海宝钢研究院自动化所, 上海 201900)

摘要: 提出一种基于铸坯凝固状态预测的连铸动态轻压下控制方法。通过定量分析铸造速度对铸坯凝固状态的影响, 得出了关于铸造速度引起液芯位置变化的速度的相关结论, 并给出相应的动态轻压下控制方法。

关键词: 动态轻压下; 凝固状态预测; 轻压下状态

中图分类号: TP273; TF777

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)05-0077-03

Control Method of Dynamic Soft Reduction of Continuous Casting Based on Liquid Core Prediction

Liu Bin¹, Jiang Zheng¹, Fang Kangling¹, Zhang Qunliang²

(1. Department of automation, School of Information Science and Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081 China; 2. Automation Department, Shanghai Baosteel Institute, Shanghai 201900, China)

Abstract: A new dynamic soft reduction (DSR) method based on solidification state prediction of slab is presented. By quantitative analysis and the influence of casting velocity on liquid core position, some conclusions about moving velocity of liquid core are given as well as the corresponding dynamic soft reduction (DSR) control strategy.

Key words: dynamic soft reduction; solidification state prediction; soft reduction state

0 引言

在连铸生产中, 铸坯内部一般都会存在中心偏析、中心疏松及内裂等缺陷, 影响板坯的内部质量。为提高板坯质量, 人们开发出一系列的技术方法抑止中心偏析及内裂等问题^[1]。其中, 轻压下技术经过生产实践验证, 是最有效且经济的方法之一。轻压下技术是一种在连铸过程的某一阶段对板坯进行轻微压缩的技术, 通常是对一段凝固率在指定范围内的板坯进行轻压下。一方面, 它可对铸坯的凝固收缩给予一定的补偿, 从而减少板坯的中心疏松及内裂现象; 另一方面, 它可一定程度地降低板坯的中心偏析指数。轻压下技术分为早期的静态轻压下技术和近年开始使用的动态轻压下技术^[2,3]。

静态轻压下技术 (Static Soft Reduction, SSR), 是在铸坯浇注初期, 预先设定轻压下参数, 并在整个连铸连浇生产过程中不再改变。因此, 它无法适应复杂

的连铸连浇动态生产过程。例如, 当铸造速度发生较大变化时, 铸坯的凝固状态一定会发生很大的变化, 此时如还是保持预先设定的轻压下命令参数, 显然无法满足连铸生产的质量和工艺要求。动态轻压下技术 (Dynamic Soft Reduction, DSR), 是在连铸生产过程中, 根据板坯的凝固情况, 动态跟踪板坯上指定的凝固范围, 并实时调整轻压下参数命令, 因此可适应连铸生产中的过渡过程, 从而更好地实现轻压下的效果。

本文提出了一种基于铸坯液芯位置预测的连铸动态轻压下控制方法, 并给出了所设计的 DSR 控制模型软件的系统框架。

1 基于铸造速度变化的板坯液芯位置预测

以典型的连铸中间包更换过程为例, 设恒拉速阶段的拉速为 1.2 m/min, 在此拉速下, 假设凝固终点位

收稿日期: 2008-07-19

作者简介: 刘斌 (1972-), 女, 湖北武汉人, 武汉科技大学副教授, 博士, 主要从事预测控制和冶金优化控制方面的研究。

置为从结晶器弯月面开始算起的 25 m 处, 凝固终点也表征轻压下区域的大概位置。板坯先以 -0.15 m/min^2 的加速度降至 0.4 m/min , 然后停车 3 min, 再从 0.4 m/min 以 0.15 m/min^2 加速至 1.3 m/min , 见图 1。

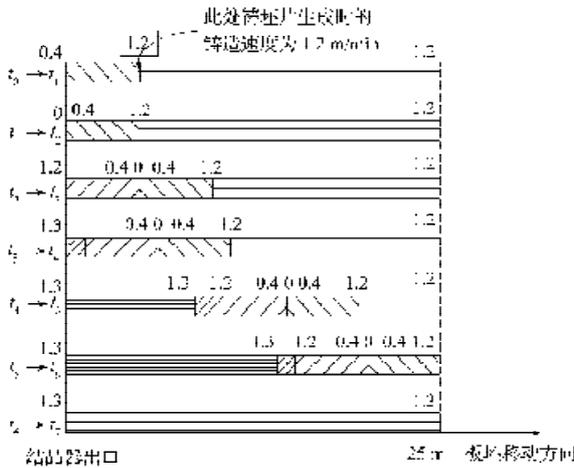


图 1 板坯生成过程

Fig. 1 The formation process of slab

图 1 中 $t_0 \rightarrow t_1$ 时间段, 表示铸造速度从 1.2 m/min 变到 0.4 m/min 的降速过程 (t_0 时刻对应的拉速为 1.2 m/min , t_1 时刻对应的拉速为 0.4 m/min), 斜杠组成的粗阴影部分表示这段时间内产生的板坯。以此类推, 可以定义 $t_2 \rightarrow t_7$ 之间的各时间段, 以及各期间生成的板坯。要说明的是, 到 t_6 时刻, 降速过程的边缘开始接近轻压下区域, 而到 t_7 时刻, 速度波动过程中产生的板坯已全部走过轻压下区域。

以图 1 中的 $t_0 \rightarrow t_1$ 时间段为例, 给出液芯位置的预测方法。因为铸片从浇铸到凝固所花费的时间与拉速无关, 某板坯点, 从 t_0 时刻所在位置, 本以 1.2 m/min 速度在 $t_1 - t_0$ 时间内可完全凝固, 但在当前的 $t_1 - t_0$ 时间内, 实际上以平均速度 $(1.2 + 0.4) / 2$ 朝切割机方向走了 $(t_1 - t_0)(1.2 + 0.4) / 2$ 的距离, 就已经完全凝固了。也就是说, 凝固终点朝结晶器方向移动了距离 s :

$$s = (t_1 - t_0) \times \left(1.2 - \frac{1.2 + 0.4}{2} \right) = 2.13,$$

即向切割机方向移动了 -2.13 m 。同理, 也可对其它时间段的液芯移动距离进行预测。

总结以上液芯位置变化计算, 可得出以下液芯位置预测公式: $s = \Delta v \times t$, $x = x_0 + s$ 。
其中: t 是考察液芯变化的时间;

Δv 是 t 时间内铸造速度平均值的减少量;

s 是 t 时间后凝固终点朝结晶器方向移动的距离;

x_0 是速度原有的液芯凝固终点位置;

x 是 t 时间后凝固终点位置的预测值。

根据以上计算式, 可在铸造过程中根据铸造速度的变化, 对液芯在未来时刻的位置进行预测。

另外, 通过对铸造速度波动过程中, 液芯位置变

化的定量分析, 有以下主要结论:

1) 铸造速度对液芯位置有很大影响, 研究表明, 铸造速度是连铸生产过程中对液芯位置最具影响力的因素。

2) 板坯上的某点液芯移动的速度 = 当前的铸造速度 - 该点切片的生成速度, 且速度变化越大, 液芯位置波动越大。

3) 有两个阶段液芯位置波动最剧烈: 一是速度变化阶段 ($t_0 \rightarrow t_3$), 二是速度变化阶段生成的板坯经过轻压下区域的阶段 ($t_5 \rightarrow t_7$), 而此两个阶段之间的区域 ($t_3 \rightarrow t_5$) 液芯波动相对平缓。

2 基于液芯位置预测的动态轻压下控制方法

本文提出的 DSR 方法, 主要有两个方面的决策依据: 一是铸坯的热传导计算结果; 二是根据铸造速度等动态变量的实时信息, 对铸坯未来凝固状态进行的预测。根据这两方面的信息, 在每个控制周期, 决策产生当前时刻的动态轻压下命令参数。

在介绍动态轻压下决策流程前, 需明确区分凝固状态和轻压下状态两个名词的含义。凝固状态是指铸坯长度方向上各点的中心凝固率 (凝固百分比), 也可用具有指定凝固率的点在铸坯长度方向上的位置来表示。如可用中心凝固率分别为 0、0.3、0.7 和 1 的液芯点的位置来定量表征铸坯的凝固状态。轻压下状态, 是指所有轻压下扇形段在某一控制周期所执行的一组轻压下命令, 具体包括: 轻压下开始扇形段、轻压下结束扇形段、轻压下斜率和轻压下速率等。

每个控制周期, 在已知当前已采用的“当前实际压下状态”为 ϕ_0 的前提下, 执行以下的轻压下命令决策步骤。

Step1 确定铸坯凝固状态。根据铸坯热传导计算的结果, 计算连铸板坯当前时刻的温度分布曲线, 得出铸坯的凝固状态, 即连铸坯上各点的中心温度及中心凝固率, 继而得到整个铸坯的凝固状态。

Step2 确定“当前期望压下状态” ϕ_1 。根据铸坯凝固状态, 即具有指定凝固率的液芯点的位置, 确定压下开始和结束扇形段, 继而根据连铸工艺确定轻压下斜率, 从而确定当前期望压下状态 ϕ_1 。

Step3 如果 ϕ_1 与 ϕ_0 之间差异很大, 则下达 ϕ_1 对应的压下命令, 否则继续运行。

压下状态之间的差异一般可用压下区域之间的距离来度量。当 ϕ_1 与 ϕ_0 之间差异很大时, 说明当前压下状态 ϕ_0 已经很大程度地偏离当前的凝固状态对应的轻压下工艺要求, 因此, 必须将压下状态切换至 ϕ_1 。

图 2 给出了当前实际压下状态 ϕ_0 、当前期望压下状态 ϕ_1 及它们之间切换的示意图。

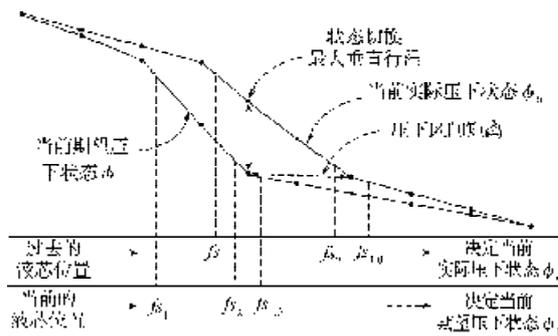


图2 当前实际压下状态 ϕ_0 和当前期望压下状态 ϕ_1
 Fig. 2 The state of current actual reduction ϕ_0 and current expecting reduction ϕ_1

Step4 计算将压下状态从 ϕ_0 切换到 ϕ_1 所需要的切换时间 n , 单位为 s 。

两个压下状态间的切换时间, 一般由切换时扇形段要移动的最大垂直行程和轻压下压下速率来确定。

Step5 根据各个动态变量实际值, 预测 n 秒的铸坯凝固状态, 以及相对应的“预测压下状态 ϕ_2 ”。

铸造速度的变化, 会对铸坯的凝固状态产生影响。可用液芯位置预测公式对液芯位置及凝固状态进行预测, 从而确定预测压下状态 ϕ_2 。

Step6 如果 ϕ_2 与 ϕ_1 非常接近, 则下达 ϕ_1 对应的压下命令, 否则维持当前的压下状态 ϕ_0 对应命令参数不变。

当 ϕ_2 与 ϕ_1 差异很大时, 说明即使当前周期按照 ϕ_1 调整压下状态, 下一周期还要按照 ϕ_2 继续调整。因此决定当前周期暂时不进行压下状态调整, 等到下一控制周期一次性地调整到位, 从而减少频繁调整压下状态给铸坯质量带来的不利影响, 决策流程见图3。

实践表明, 本文所提出的方法, 能够在保证轻压下区域动态跟踪各种动态变量波动引起的板坯凝固变化。同时, 也尽可能减少了不必要的轻压下状态调整的次数。

3 结语

本文提出一种新的动态轻压下控制方法, 该方法基于热传导计算结果和对铸坯凝固状态的预测, 进行动态轻压下决策。这种轻压下控制策略既可以满足复杂连铸连浇过程的工艺要求, 也可以减少轻压下扇形段频繁调整给铸坯质量带来的不利影响。该动态轻压下方法以及整个模型软件系统, 已被投入宝钢2、3号连铸机实际应用。实际生产系统的稳定运行, 说明了所提出方法及软件系统的有效性和实用性。

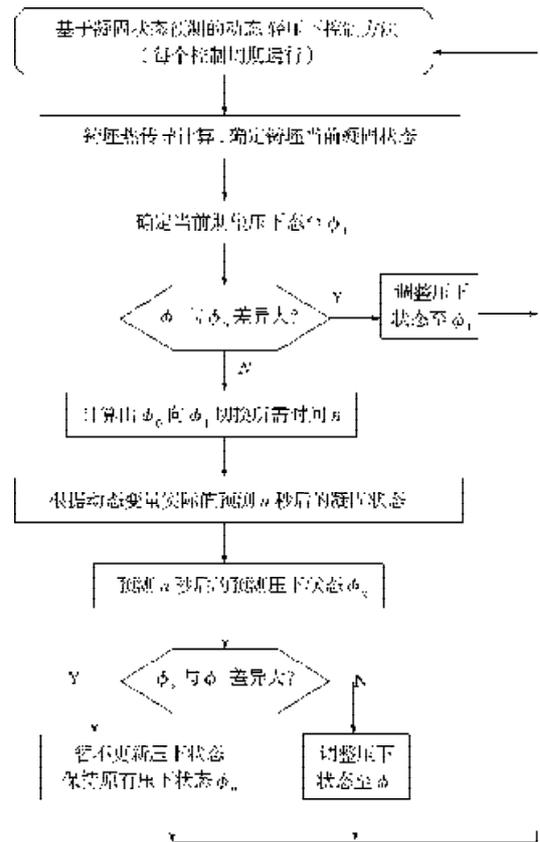


图3 动态轻压下决策流程
 Fig. 3 Flowchart of DSR decision

参考文献:

- [1] 蔡开科. 连续铸钢原理与工艺[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [2] Chen Yong, Li Gui-jun, Yang Su-bo, et al. Dynamic Soft Reduction for Continuously Cast Rail Bloom[J]. International Journal of Iron and Steel Research, 2007, 14(5): 13-17.
- [3] Li Gui-jun, Zhang Kai-jian, Han Chuan-ji. SMART/ASTC dynamic soft reduction technology and its application on the bloom continuous caster at Pangang[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing Mineral Metallurgy Material, 2006, 13(2): 121-124.
- [4] Falkenreck Udo. Adjusting the dynamic soft reduction in continuous casting plants: Germany, DE10141128[P]. 2002-12-05.
- [5] 刘 斌, 郭朝晖, 夏 瑛, 等. 基于中间包温度变化的铸坯凝固位置预测及应用[J]. 冶金自动化, 2008, 32(4): 1-4.
- [6] 郭朝晖, 徐国栋, 刘 斌, 等. 宝钢连铸板坯动态轻压下模型的研究与开发思想(上)[J]. 冶金自动化, 2007, 31(3): 1-4.

(责任编辑: 廖友媛)