

文章编号: 1005-3026(2006)08-0879-04

# CVC 热轧带钢板形控制仿真及软件开发

郭忠峰, 徐建忠, 刘相华, 王国栋

(东北大学 轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110004)

**摘 要:** 通过对某厂 CVC 热轧带钢板形控制系统的分析和研究, 开发了符合实际生产工艺要求的板形控制仿真软件, 并对实际生产中某轧制规程板形控制过程进行离线模拟, 板凸度仿真结果可控制在目标范围之内。采用此软件对热轧带钢板形控制进行仿真, 其结果对生产实践具有一定的参考指导作用, 且可节约大量人力物力。此外, 该软件操作方便, 界面友好, 易于维护, 具有广阔的应用前景。

**关 键 词:** CVC; 热轧; 板形; 仿真; 板凸度

**中图分类号:** TG 335.11; TP 311.52

**文献标识码:** A

板形是热轧带钢的一项主要质量指标, 板形控制技术作为热轧带钢生产的核心技术之一, 已成为当前开发研究的前沿和热点。现场板形控制系统无法根据产品品种不断扩大和轧制条件的重大调整迅速进行修正, 因一旦模型出现问题, 将会给生产带来无法估量的损失。生产现场迫切需要使用方便, 结构完善的板形控制仿真分析软件, 以便指导生产实践<sup>[1]</sup>。近年来, 随着计算机技术的飞速发展, 板形仿真研究领域取得了很大的进展。Wang 等<sup>[2]</sup>采用流面条元法与影响函数法耦合的方法建立四辊轧机板形及板凸度计算模型。彭艳等<sup>[3]</sup>编制了冷轧带钢板形控制仿真分析软件(FCEACSR)。Jung 等<sup>[4]</sup>对冷轧带钢板形的神经网络模糊控制进行了研究。Guo<sup>[5]</sup>使用图形化用户界面的仿真工具, 对板凸度及平直度进行了仿真。Deshpande 等<sup>[6]</sup>采用 C++ 语言开发了预测冷轧带钢出口厚度横向分布的软件。Wang 等<sup>[7]</sup>对冷轧过程板形控制弯辊力模型进行了优化。Yusuke<sup>[8]</sup>使用图形化用户界面的仿真工具, 开发了七机架热连轧仿真系统, 可对沿带钢长度方向上宽度中心处的诸多变量进行验证。

以上学者大多是先建立完善的板形理论模型, 然后编制仿真程序, 而本文则直接在现场应用比较成熟的板形控制程序基础上, 编制板形控制仿真软件, 这无疑具有仿真程序结构完善、结果更

加可靠等优点。本文通过对某厂 CVC 热连轧机板形控制系统的分析和研究, 开发了符合实际生产工艺要求的板形控制仿真软件, 并应用此软件对实际生产中某轧制规程板形控制进行离线模拟, 带钢板凸度可控制在目标范围之内。

## 1 模型概述

板形控制系统是使成品带钢具有良好板凸度及平直度的一个闭环系统<sup>[9,10]</sup>。板形控制系统主要由预设定模块、轧辊热凸度计算模块、轧辊磨损计算模块、平直度动态控制模块(包含在精轧基础自动化中)等组成。预设定模块是板形控制系统的核心, 其主要功能是计算每个机架轧辊的横移位置和弯辊力, 其基本思想是使带钢经过最后一个机架后所得到的板凸度和平直度能够达到设定要求, 而其他机架带钢凸度则可在一定的范围内变动。带钢在前后机架因凸度变化所产生的翘曲度不能超过其设定值, 否则需修改限定条件, 重新计算。

由于带钢凸度决定于工作辊的辊缝凸度, 所以板形控制系统中预设定计算就是考虑各种因素综合影响时各机架辊缝凸度的分配计算。由于轧辊横移对工作辊的等效凸度、工作辊磨损凸度、热凸度均有影响, 所以工作辊横移对辊缝凸度的影响由工作辊等效凸度、磨损凸度、热凸度对辊缝的影响及工作辊磨损和热凸度的修正值五个部分组成。考虑 CVC 位置的工作辊辊缝模型如式(1)所示:

收稿日期: 2005-09-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50527402)。

作者简介: 郭忠峰(1978-), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学博士研究生; 刘相华(1953-), 男, 黑龙江双鸭山人, 东北大学教授, 博士生导师; 王国栋(1942-), 男, 辽宁大连人, 东北大学教授, 博士生导师, 中国工程院院士。

$$S_2 = S_0 + k_1 \times k_l \times l_d + S_c + F(a) \quad (1)$$

式中,  $S_0$  为基础辊缝值, mm;  $k_1$  为负荷分布影响率;  $k_l$  为负荷分布影响率修正系数;  $l_d$  为负荷分布, kN/mm;  $S_c$  为带钢宽度、厚度和硬度对辊缝修正值;  $F(a)$  为横移位置对辊缝影响函数。

横移位置对辊缝的影响函数:

$$F(a) = k_s + k_c \times k_w \times (C_w - C_{w0}) + k_w \times (M_w - M_{w0}) + k_r \times (C_t - C_{t0}) \quad (2)$$

式中,  $k_s$  为工作辊磨损凸度及热凸度修正值之和;  $k_c$  为工作辊凸度影响率;  $k_w$  为工作辊凸度影响率修正系数;  $C_w$  为工作辊凸度, mm;  $C_{w0}$  为工作辊凸度基准值, mm;  $k_r$  为热凸度影响率;  $C_t$  为热凸度修正值;  $C_{t0}$  为热凸度基准值, mm。

2 仿真软件开发

通过对某厂 CVC 热连轧机板形控制系统的研究, 开发了符合实际生产条件的板形仿真软件。软件采用模块化设计, 实现了 Visual Basic 及 C++ 语言的链接和集成。OLE (object linking and embedding) 技术及 VBA (visual basic for application) 技术的联合应用, 使仿真结果显示得更直观。

仿真软件界面采用 Visual Basic 语言设计, 主体程序则为按实际生产条件编写的 C++ 程序。为使软件统一到 Windows98/2000 操作平台, 先将 C++ 编制的主体程序编译生成 EXE 文件, 再用 Visual Basic 调用。为了更好地满足用户需要, 软件采用清晰直观的对话框式界面, 具有良好的人机交互能力。

3 仿真初始条件

以一组现场生产数据为计算实例, F5, F6, F7 为 CVC 轧机, F1, F2, F3, F4 为普通四辊轧机。板形控制过程基本参数列于表 1。

表 1 板形控制过程基本参数		
Table 1 Basic parameters of strip shape control		
项 目	值	
F5 入口凸度	50 μm	
目标板凸度	30 μm	
目标平直度	10I	
弯辊力变化范围	207 ~ 950 kN	
CVC 轧辊横移范围	- 150 ~ 150 mm	
CVC 轧辊等效凸度范围	- 0.34 ~ 0.27 mm	

带钢宽度及厚度变化如图 1 及图 2 所示。带钢宽度由 1 100 mm 变到 1 500 mm, 厚度由 1.2 mm 变到 4.1 mm。

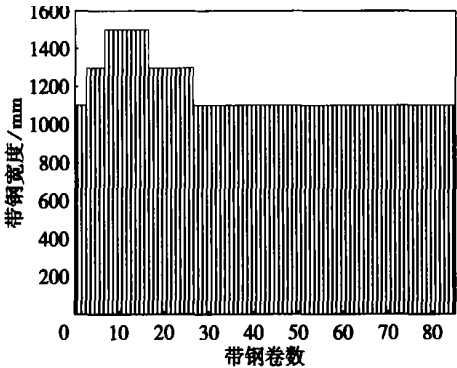


图 1 各卷带钢宽度  
Fig. 1 Strip width variation

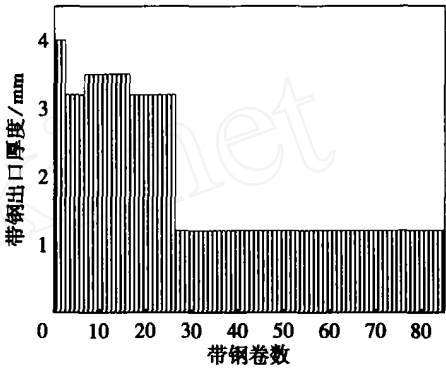


图 2 各卷带钢出口厚度  
Fig. 2 Strip thickness variation at exit

轧制速度及轧制力均为现场实测值, 如图 3 及图 4 所示。F5, F6 和 F7 轧制速度变化分别为

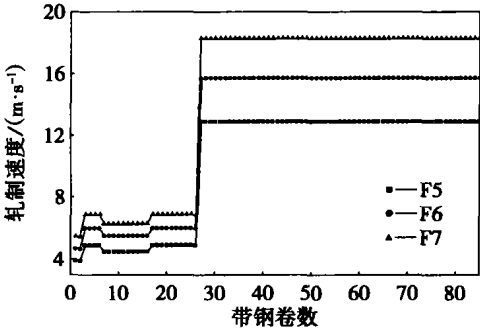


图 3 轧制速度变化  
Fig. 3 Rolling speed variation

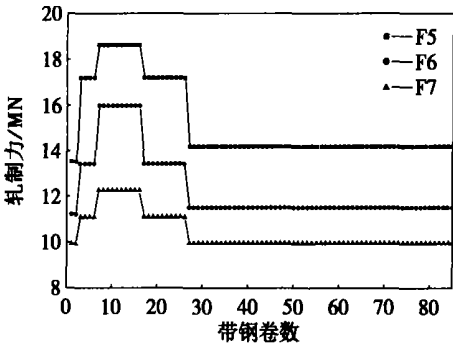


图 4 轧制力变化  
Fig. 4 Rolling force variation

3.9~12.9 m/s, 4.7~15.7 m/s, 5.5~18.3 m/s. F5, F6 和 F7 轧制力变化分别为 13.5~18.6 MN, 11.2~16 MN, 9.9~12.3 MN.

#### 4 仿真结果及分析

各架轧辊热凸度变化如图 5 所示, 随着带钢卷数的增加轧辊热凸度上升, 在大约轧制 40 卷带钢后热凸度变化趋于平缓. 轧制结束时, F5 热凸度达到 192  $\mu\text{m}$ , F6 热凸度达到 169  $\mu\text{m}$ , F7 热凸度达到 129  $\mu\text{m}$ .

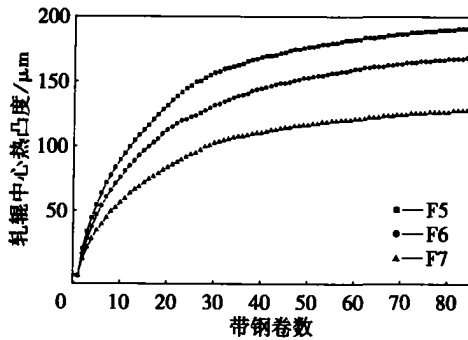


图 5 各架轧辊热凸度  
Fig. 5 Roll thermal crown

轧辊磨损如图 6 所示, 与所轧带钢长度成正比关系. 在轧制结束时, F5, F6, F7 磨损分别达到 68, 41, 24  $\mu\text{m}$ .

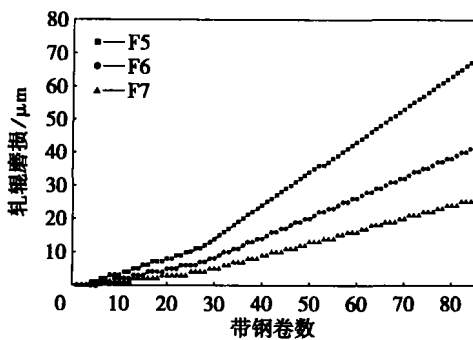


图 6 各架轧辊磨损  
Fig. 6 Roll wear

仿真结果表明, 后三架轧辊弯辊力始终保持为工作点弯辊力的预设值 (600 kN), 也就是说 F5, F6, F7 在当前弯辊力下只通过 CVC 轧辊横移就可满足带钢凸度的控制要求.

图 7 为轧辊横移仿真计算结果, F5, F6 及 F7 轧辊横移位置变化分别为 17~110 mm, 11~64 mm, -19~46 mm.

图 8 为板凸度仿真计算结果, 板凸度由 F5 到 F7 逐渐下降. F5, F6 及 F7 板凸度变化分别为 38~46  $\mu\text{m}$ , 31~42  $\mu\text{m}$ , 26~38  $\mu\text{m}$ . 计算结果表明带钢出口板凸度可被控制在目标范围内 (30  $\pm$  10  $\mu\text{m}$ ).

通过图 5~图 8 可知, 带钢板凸度受轧辊热

凸度及磨损影响十分显著, 板形控制精度在很大程度上取决于轧辊热凸度及磨损计算精度.

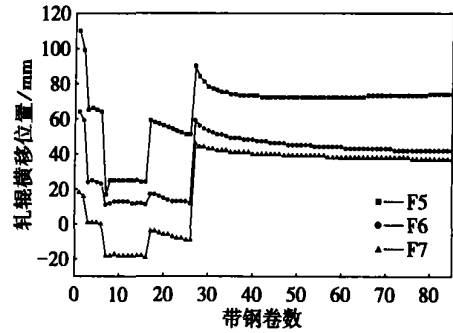


图 7 轧辊横移仿真计算结果  
Fig. 7 Roll shift simulation results

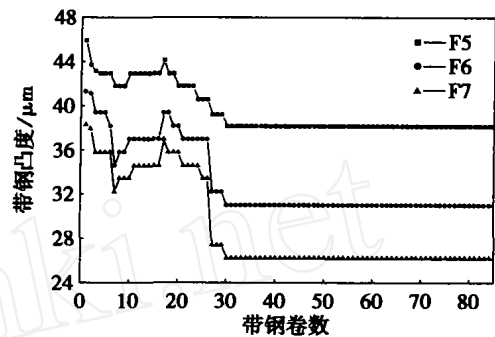


图 8 板凸度仿真计算结果  
Fig. 8 Strip crown simulation results

#### 5 结 论

研究了某热连轧厂板形控制系统中的预设模型计算流程及辊缝模型, 并在此基础上, 开发了适合实际生产条件的 CVC 热连轧板形控制仿真软件, 并对某一实际轧制规程进行仿真, 结果表明带钢板凸度受轧辊热凸度及磨损影响十分显著, F7 出口板凸度变化为 26~38  $\mu\text{m}$ , 可控制在目标板凸度范围 (30  $\pm$  10  $\mu\text{m}$ ) 之内. 该软件界面友好, 使用方便, 易于维护, 对现场 CVC 热轧带钢板形控制具有一定的参考作用.

#### 参考文献:

- [1] 姜正连. CVC 热轧板形理论及应用[D]. 沈阳: 东北大学, 1996.  
(Jiang Z L. Shape theory and its application for CVC hot strip mill[D]. Shenyang: Northeastern University, 1996.)
- [2] Wang Y R, Yuan J G, Liu H M. Shape control simulation on 4-high CVC mill[J]. *Journal of Iron and Steel Research*, 2005, 12(2): 25-32.
- [3] 彭艳, 刘宏民, 胡建平, 等. 冷轧带钢板形控制仿真分析软件 (FCEASCR) [J]. 冶金设备, 2003, (139): 13-16.  
(Peng Y, Liu H M, Hu J P, et al. Software of flatness control emulation analysis of cold strip rolling (FCEASCR) [J]. *Metallurgical Equipment*, 2003, (139): 13-16.)
- [4] Jung J Y, Im Y T, Hyung L K. Fuzzy-control simulation of cross-sectional shape in six-high cold-rolling mills[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 1996, 62: 61-69.
- [5] Guo R M. Simulation of strip crown and shape control[J].

- Iron and Steel Engineer*, 1986, 63(11):35 - 42.
- [6] Deshpande A S, Murthy K S. Computer analysis for the prediction of a strip profile in cold rolling[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 1997, 63:712 - 717.
- [7] Wang D D, Tieu A K, Lu C, *et al.* Modeling and optimization of threading process for shape control in tandem cold rolling[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, 140:562 - 568.
- [8] Yusuke K. Development of hot rolling process simulator using GUI based simulation tool [A]. *Proceedings of the 7th International Conference on Steel Rolling*[C]. Tokyo: The Iron and Steel Institute of Japan, 1998. 191 - 195.
- [9] Kawanamt T, Matsumoto H. Development of various method of shape and crown control in strip rolling [J]. *Tetsu to Hagane*, 1983, 69(3):348 - 356.
- [10] Tsukamoto H, Matsumoto H. Shape and crown control mill-crossed roll system[J]. *Iron and Steel Engineer*, 1984, 61(10):26 - 30.

## Shape Control Simulation Software Developed for CVC Hot Strip Rolling

GUO Zhong-feng, XU Jian-zhong, LIU Xiang-hua, WANG Guo-dong

(The State Key Laboratory of Rolling & Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: XU Jian-zhong, E-mail: xjzyyh @ 263.net)

**Abstract:** Based on an analysis of shape control system of CVC hot strip rolling process in a certain stand mill, a strip shape control simulation software was developed according to actual technological process and applied to the off-line simulation of strip control complying with a certain rolling schedule and the result showed that the strip crown can be controlled in target zone. It means that the software is available to be a reference for practical production to save human/material resource. What is more important is that the software is easy to use and maintain with broad prospects in application.

**Key words:** CVC; hot rolling; strip shape; simulation; strip crown

(Received September 23, 2005)

待发表文章  
摘要 预报

### 一个可追踪的匿名性签名方案

张祥德, 徐 明

在 D. Chaum 建立的电子钱包的匿名性签名方案的基础上, 针对 D. Chaum 的方案中存在的对犯罪嫌疑人不可追踪这一问题, 提出了一个对犯罪嫌疑人可追踪的匿名性签名方案, 即对于犯罪嫌疑人的合法签名, 可以通过一个公正的第三方(如法院), 找到这个用户的身份号(ID), 从而完成对该 ID 的跟踪. 与 D. Chaum 建立的电子钱包的匿名性方案相比, 该方案在现实生活中更加具有实用性和有效性.

### 硼铁矿火法分离工艺清洁生产评价

安 静, 刘素兰, 薛向欣

以攀西钒钛磁铁矿冶炼工艺为对比, 对硼铁矿火法分离工艺进行了清洁生产评价. 提出复合矿进行清洁生产评价的指标体系, 采用层次分析法确定各指标权重, 采用综合评分法计算清洁生产指数, 依据指数得分情况给出评价结论. 结果表明: 硼铁矿火法分离工艺属于清洁生产, 钒钛磁铁矿冶炼工艺属于传统先进. 同时提出火法分离工艺存在的不足之处及相应建议.

### 合金含量对热变形奥氏体组织演变的影响

朱丽娟, 吴 迪, 赵宪明

建立了低合金和微合金钢奥氏体再结晶动力学模型, 并采用单道次和双道次压缩实验来验证 Si-Mn 钢和 Nb-V 钢模型中的参数, 实验结果充分证明了模型的准确性. 将该模型应用于宝钢 2050 热轧生产线来预测奥氏体晶粒尺寸在热轧过程中的变化, 以及每一道次流变应力. 结果表明, 添加低合金和微合金元素都能抑制再结晶的发生和晶粒长大, 使流变应力增高.