

# MAS平面形状控制方法的在线应用

胡贤磊<sup>1</sup>, 矫志杰<sup>1</sup>, 赵忠<sup>1</sup>, 何纯玉<sup>1</sup>, 阎智平<sup>2</sup>, 陈波<sup>2</sup>

(1. 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;

2. 首钢股份有限公司中厚板厂, 北京 100043)

**摘要:**结合MAS平面形状控制要求, 提出了5个技术解决手段: 简化有限元仿真结果, 得到楔形段尺寸计算模型; 前滑计算公式采用全粘着摩擦条件; 结合液压压下的控制周期对楔形段轧制时间进行离散化处理; 楔缝设定需考虑不同位置轧制力波动产生的影响; 通过多种检测手段的综合应用, 实现准确的轧件尾部微跟踪。该技术在首钢中厚板厂实现了在线应用。实践表明, 该轧制法对轧件矩形度控制有很好的效果。

**关键词:**中厚板; 平面形状控制; 前滑; 微跟踪; 楔缝

中国分类号: TG335.5; TP273.5 文献标识码: A 文章编号: 1003-9996(2005)06-0006-03

## Online application of MAS method

HU Xian-lei<sup>1</sup>, JIAO Zhi-jie<sup>1</sup>, ZHAO Zhong<sup>1</sup>, HE Chun-yu<sup>1</sup>, YAN Zhi-ping<sup>2</sup>, CHEN Bo<sup>2</sup>

(1. The State Key Laboratory of Rolling & Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China;

2. Plate Plant, Shougang Co., Ltd., Beijing 100043, China)

**Abstract:** Based on the requirement of MAS method, five technical treatments are afforded. Online wedge size calculation model is got by simplifying the FEM simulation results. The slip model adopts the full-sticking-friction condition. The rolling time of the wedge zone should be discreted to cooperate the hydraulic screw-down control cycle. The gap-setting should consider the influence of rolling force variation in different position of the wedge. In order to micro-tracking the plate tail precisely different measure results should be comprehensively considered. The successful online application in Plate Mill of Shougang proved the MAS method has good effect on the plate plan view.

**Key words:** plate; plan view control; slip; micro-tracking; gap

## 1 前言

中厚板轧机平面形状控制的目的是改善产品的矩形度, 减小轧件切头尾和切边损失, 提高成材率。从20世纪70年代开始, 一系列的平面形状控制方法逐渐用于中厚板轧制过程, 其中主要有MAS法、薄边展宽轧制法、狗骨轧制法和立辊轧边法。20世纪90年代, 我国对平面形状控制方法进行了大量研究, 但由于当时国内中厚板轧机控制水平较低, 检测手段较少, 绝大部分研究局限于试验阶段。首钢股份有限公司中厚板轧机于2003年改造完成, 该轧机在液压系统、液压缸及计算机控制系统的设计方面都为平面形状控制的实现准备了条件。通过机械、液压及计算机控制系统的协调配合, 首次依靠国内技术力量, 在线实现了平面形状控制功能<sup>[1,2]</sup>。

## 2 设备条件和技术手段

如果采用MAS轧制法, 液压压下速度必须达到20mm/s, 所以高速液压压下是实现MAS轧制法的前提条件。首钢3500mm中厚板轧机的设备条件见表1。从表1可看出, 该轧机的液压压下速度达到29mm/s。

表1 轧机及相关设备条件

设备条件	参数
轧机刚度/kN·mm <sup>-1</sup>	10000
最大轧制力/kN	70000
工作辊最大辊径/mm	Φ1050
支撑辊最大辊径/mm	Φ2100
最大液压压下速度/mm·s <sup>-1</sup>	29
液压缸频响/Hz	18
主电机转速/r·(min) <sup>-1</sup>	0~50~120

首钢中厚板厂过程计算机控制系统在软件上进行了特殊设计, 充分考虑了MAS轧制法的特

收稿日期: 2005-05-08

作者简介: 胡贤磊(1974-), 男(汉族), 湖北大冶人, 副教授, 博士。

殊性。

(1) 根据有限元分析结果, 采用了简化 MAS 控制模型。该模型根据实际控制需要, 将轧件头尾的曲线形状简化为相应的楔形段尺寸, 见图 1。但简化过程中, 必须保证楔形段的轧件体积等于曲线段的体积。

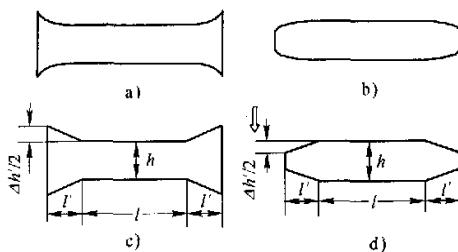


图 1 平面形状控制曲线简化示意图

(2) 精确的前滑计算模型。为保证轧件头尾的楔形段对称, 避免转钢后出现侧弯, 必须精确控制各段的轧制时间, 才能得到预期对称的楔形尺寸, 这要求准确的前滑计算模型。由于中厚板轧制过程中轧件温度较高, 轧件和轧辊之间的摩擦条件基本上类似于全粘着条件, 因此前滑计算采用 Sims 假设, 其计算模型为:

$$f = \left[ \tan \left[ \frac{\pi}{8} \sqrt{\frac{h}{R}} \cdot \ln (1-r) + \frac{1}{2} \arctan \sqrt{\frac{r}{1-r}} \right] \right]^2 \quad (1)$$

式中,  $f$  为前滑值;  $r$  为轧制过程的压下率;  $h$  为钢板出口厚度;  $R$  为工作辊半径。

(3) 楔形段的轧制时间必须合理计算。需结合液压压下的控制周期对楔形段轧制时间进行离散化处理, 然后进行积分计算。

(4) 根据楔形段的尺寸, 合理计算楔形段不同位置的轧制力变化。由于轧制力不同, 相应的轧机弹跳也不同, 所以楔形段最高点和最低点处的设定辊缝值需合理计算。

(5) 精确的微跟踪处理。为进一步保证轧件头尾楔形段对称, 过程机计算机控制系统通过轧制力、电流、轧机转速、热金属检测器信号并结合图象识别技术精确定位轧件尾部位置。为避免水汽和氧化铁皮影响, 采用平面形状控制时, 各道次禁止用高压水除鳞。由于多种检测手段综合应用, 因此轧件尾部的微跟踪处理效果很好。

### 3 在线应用效果

为充分体现 MAS 平面形状的控制效果, 选择宽比大于 1.8 的轧件易出现“大小头”现

象。同时在坯料和成品尺寸选择上, 参考正常工艺轧制产品的平面形状实测值和模型计算值进行比较。试验方案如表 2 所示, 轧制方式采用纵-横-纵方式, 平面形状控制方法采用成形阶段 MAS 轧制法。在线平面形状控制试验除选用正常生产工艺方案外, 另选用了 4 种方案, 其楔形段高度分别为 0、2、4、2、4mm, 楔形段长度分别为 0、300、300、600、600mm。对应后 4 种方案的液压缸位置 3ms 实测采样数据见图 2。从图 2 可看出, 轧件头尾的楔形段辊缝变化具有良好的对称性, 平面形状控制过程得到很好的执行。

表 2 坯料、成品尺寸和轧制规程

道次	出口厚度 /mm	设定辊缝 /mm	宽度 /mm	温度 /℃	转速 /r·min <sup>-1</sup>	道次状态
1	207.76	210.00	1427.8	1103.2	40.0	
2	192.76	194.90	1427.8	1100.8	18.0	形状控制
3	173.32	173.90	2933.4	1094.9	40.0	转钢
4	153.88	154.30	2933.4	1092.5	40.0	
5	135.90	136.30	2933.4	1086.9	40.0	
6	119.60	120.00	2933.4	1083.9	40.0	
7	104.76	105.20	2933.4	1080.5	40.0	
8	91.74	92.30	2933.5	1074.5	40.0	
9	75.64	75.20	2999.9	1058.0	40.0	转钢
10	61.24	60.50	2999.9	1045.4	50.0	
11	48.42	47.40	2999.9	1032.7	50.0	
12	39.81	38.70	3000.0	900.7	50.0	
13	33.20	31.90	3000.0	886.5	60.0	
14	27.96	26.80	3000.0	873.0	60.0	
15	25.00	25.20	3000.0	847.6	60.0	

注: 1. 钢种: SQ235, 坯料尺寸: 220mm × 1400mm × 2550mm, 成品尺寸: 25mm × 3000mm。2. 道次状态: 第 2 道形状控制, 第 3、第 9 道转钢。

对 5 种方案最终产品的宽度进行测量, 取每块钢板中间段稳定宽度测量值的平均值作为标准宽度, 5 种平面形状控制方案的钢板头尾部宽度偏差结果见图 3。

由图 3 可看出, 采用正常工艺生产的方案 1, 最大宽度偏差在 50mm 左右, 成品边部呈现明显的凸形。采用平面形状控制方案后, 最大宽度偏差明显减小。方案 3、5 均可控制在 20mm 以内, 边部的凸形也逐渐减轻。随着楔形段高度和长度的增大, 即用于补偿边部凸形的体积增大, 成品钢板的边部逐渐呈现凹形, 方案 5 已出现明显凹形。可见, 采用成形阶段的平面形状控制方法, 对成品的边部形状有明显改善。另外, 如果把宽度偏差在 ±5mm 以内的区域作为产品尺寸稳定区, 由图 3 可知, 对应方案 1, 钢板头

中  
国  
环  
保  
导  
卫  
卫  
环  
导  
卫  
有限公司  
TELE: 0516-75210111  
FAX: 0516-75261616

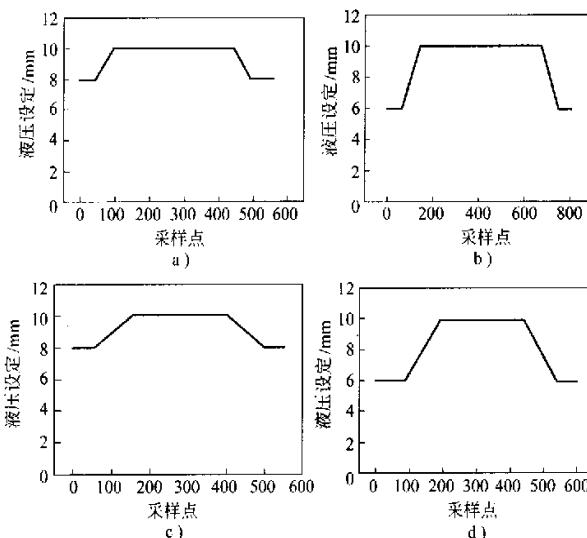


图 2 不同控制方案对应的液压缸位置变化

a) 方案 1; b) 方案 2; c) 方案 3; d) 方案 5

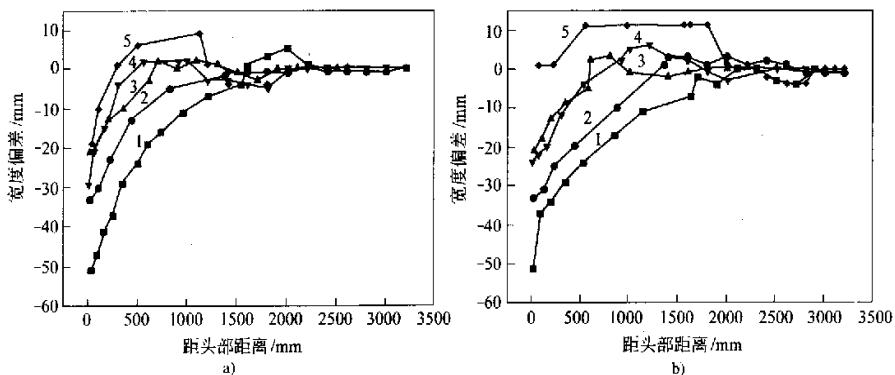


图 3 平面形状控制效果

a) 头部; b) 尾部

1~5: 方案 1~方案 5

尾部的宽度不稳定区域分别为 1500mm 左右, 而采用平面形状控制方案后, 头尾宽度不稳定区逐渐减小, 方案 3 可控制在 500mm 以内。综合考虑头尾部形状和边部形状, 方案 3 的控制效果最佳。

#### 4 结论

结合首钢中厚板厂的设备条件, 提出相应的技术解决手段。其包括:

- (1) 简化由有限元仿真结果得到的平面形状预测模型和控制模型, 得到楔形段尺寸计算模型;
- (2) 在前滑计算公式中, 采用全粘着摩擦条件, 得到合理的前滑模型;
- (3) 楔形段轧制时间的计算需结合液压压下

的控制周期进行离散化处理;

(4) 楔形段的辊缝设定需考虑不同位置轧制力波动产生的影响;

(5) 通过多种检测手段的综合应用, 实现高精度的轧件尾部微跟踪处理。结合现场设备条件和以上技术首次实现了平面形状的在线应用。实际应用效果表明, MAS 轧制法对轧件的矩形度控制具有很好的控制效果。

#### 参考文献:

- [1] 胡贤磊. 中厚板轧制过程控制模型的研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2003.
- [2] 矫志杰. 中厚板轧机过程控制系统的开发和应用研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2004.