

UCMW 轧机的边缘降控制性能和影响因素分析

周晓敏¹⁾ 张清东¹⁾ 王长松¹⁾ 吴平²⁾

1) 北京科技大学机械工程学院, 北京 100083 2) 宝钢股份公司冷轧厂, 上海 200940

摘要 建立了 UCMW 冷连轧机辊系与轧件一体化仿真模型. 由工作辊弯辊、中间辊弯辊、工作辊轴向移位、中间辊轴向移位确定不同仿真工况, 分析了各调控手段对带钢中心凸度和边缘降的调控能力. 详细研究了带钢厚度、张力、压下率、变形抗力等对边缘降的影响. 结果表明, 工作辊弯辊对带钢中心凸度的控制能力最强, 工作辊轴向移位对带钢边缘降的控制能力最强, 各影响因素对边缘降的影响程度都大于对中心板凸度的影响. 说明带钢边部对轧制因素的变化更敏感.

关键词 UCMW 轧机; 板形; 边缘降; 控制性能

分类号 TG 333.71

板形质量控制是板带生产的重要方面. 现今冷轧带钢的凸度精度已基本满足用户要求, 平坦度控制达到 $5 \sim 10I$ ($1I = 10^{-5}$) 的高控制水平. 然而, 板带的边缘降控制水平一直未能有突破性进展, 普通板带材的切边量徘徊在 $20 \sim 30$ mm (单边), 高端产品如电工钢、造币钢的切边量则达到 50 mm 以上. 这不仅严重降低板带材的成材率, 还增大了轧制过程中的能源消耗, 成为近年来业界关注的问题. 边缘降控制丰富了板形控制的内容, 但是与已高度发展的凸度和平坦度控制相比, 边缘降控制正处于起步阶段, 是板形控制的薄弱环节, 国内外对边缘降控制的报导甚少^[1-4]. 本文建立了 UCMW 冷轧机辊系与轧件一体化仿真模型, 对 UCMW 轧机的边缘降控制性能和影响因素进行分析, 为板形控制功能的不断完善以及边缘降控制的推广应用奠定基础.

1 仿真模型的建立

为了深入研究带材板形特性中的边缘降特性, 必须建立轧辊与轧件变形的一体化模型, 模拟轧制中的板形生成过程, 解析边缘降的生成机理. 本文以配备有 K-WRS 边缘降控制技术的 UCMW 冷轧机为研究平台, 建立适应冷轧宽带钢轧制的三维解析模型. 仿真模型的建立同时考虑辊系的弹性变形和轧件的塑性变形.

1.1 辊系弹性变形模型

辊系弹性变形的计算采用北京科技大学陈先霖院士开发的二维变厚度有限元模型. 此模型的特点

是计算速度快、精度较高且能与其他高级软件做外部接口. 图 1 是针对 UCMW 轧机所建立的辊系弹性变形的计算模型图^[5-7].

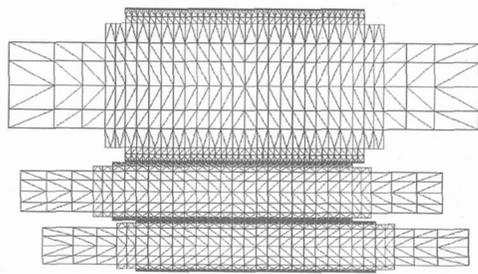


图 1 UCMW 轧机辊系计算模型

Fig. 1 Roll deformation model for a UCMW cold mill

1.2 轧件塑性变形模型

轧件塑性变形过程是决定带材最终板形特性的重要环节. 对板形控制来说, 研究带钢塑性变形最重要的目的是建立轧制力和前后张力横向分布的数学模型. 边缘降的产生不仅取决于工作辊的挠曲和压扁, 还取决于轧件边缘附近的三维塑性变形而引起金属的横向流动. 本文选择三维差分的方法计算轧件的塑性变形, 其基本思想是把变形区纵向和横向的平衡微分方程都取差分形式, 然后与塑性条件、塑性流动方程、体积不变条件和边界条件等联立, 用数值法和迭代法求出三向应力在变形区的分布和板宽边缘形状曲线^[8-9].

1.3 辊系与轧件一体化仿真模型

辊系与轧件一体化模型是将辊系弹性变形模型和轧件塑性变形模型进行联立, 通过辊系弹性变形模型计算轧件出口处的厚度分布, 由所得的横向厚度分布进行轧件三维塑性变形模型计算, 再将计算

得到的板宽方向轧制力分布与假定的轧制力分布比较,若偏差满足要求,则输出最终结果,否则修正轧制力分布,重复迭代计算,直至条件满足为止^[7].

2 UCMW 边缘降控制性能分析

UCMW 冷轧机的边缘降控制性能研究与分析主要是指工作辊弯辊及轴向移位和中间辊弯辊及轴向移位对带钢横向厚度分布的控制性能,包括对带钢中心板凸度和边缘降的控制性能^[10].

2.1 仿真工况设计

仿真工况确定如表 1. 轧辊辊径尺寸及带钢厚度、压下和前后张力固定,对工作辊弯辊、轴向移位和中间辊弯辊和轴向移位作相应变化,分析各种板宽下不同控制手段对带钢横向厚度分布的影响规律.

表 1 边缘降控制性能分析的工况设计

Table 1 Condition design for the analysis of edge-drop control performance

工作辊弯辊 (单侧)/kN	中间辊弯辊 (单侧)/kN	工作辊轴 向移位/mm	中间辊轴 向移位/mm
-180	-	-100	-100
0	0	0	0
360	500	100	100

工作辊轴向移位量 δ_w 定义为:工作辊辊身锥部拐角点对准带钢边部时,移位量 δ_w 为零;工作辊辊身锥部拐角点进入带钢边部时移位量 δ_w 为负值,伸出带钢边部时为正值. 中间辊轴向移位量 δ_i 定义为:中间辊辊身边部对准带钢边部时,移位量 δ_i 为零;进入带钢边部时,移位量 δ_i 为负值,伸出带钢边部时为正值(如图 2 所示).

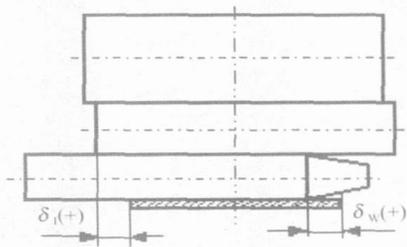


图 2 工作辊和中间辊轴向移位量定义

Fig.2 Definition the shift of the work roll and intermediate roll

2.2 计算结果及分析

先定义 UCMW 轧机边缘降控制能力的计算指标. 带钢断面分为中心区和边缘降区. 将表征中部断面形状整体凹凸性的指标定义为:中心板凸度,用 C_c 表示;用边缘降和边缘降率描述边缘降区的轮廓

特征,分别用 C_e 和 α_e 表示. 本文定义中心板凸度、边缘降为:

$$C_c = h_c - h_{100} \quad (1)$$

$$C_e = h_{100} - h_{15} \quad (2)$$

式中, h_c 为带钢中心厚度, μm ; h_{100} 为距带钢边部 100 mm 处的厚度, μm ; h_{15} 为距带钢边部 15 mm 处的厚度, μm .

定义辊缝横向厚差调节域 $\Omega(C_e, C_c)$ 为轧机各控制手段(工作辊弯辊及轴向移位和中间辊弯辊及轴向移位)在一定工艺条件下所能提供的带钢边缘降 C_e 和中心板凸度 C_c 的变化范围.

图 3 是利用一体化仿真模型针对板宽 $B = 1100\text{mm}$ 给出的四种控制手段对边缘降 C_e 和中心板凸度 C_c 调控域图. 图中的 WRB 和 IMRB 分别代表控制手段工作辊弯辊和中间辊弯辊, WRS 和 IMRS 分别代表控制手段工作辊轴向移位和中间辊轴向移位. 同样可利用一体化仿真模型分析各种板宽下的边缘降调控域.

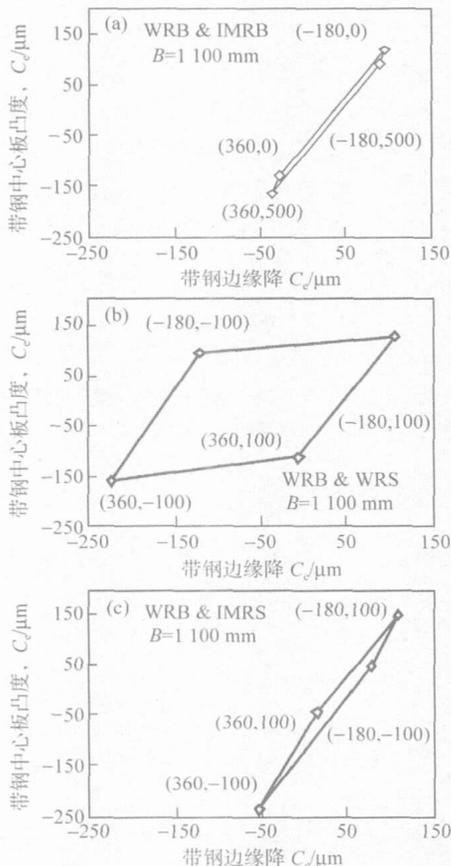


图 3 C_e 与 C_c 的调控域图

Fig.3 Adjusting region of the C_e and C_c

通过对不同板宽条件下所有调控手段组合工况进行仿真分析,可以得到以下分析结果.

(1) 对 C_c 和 C_e 的控制特性方面, 工作辊弯辊增大(-180 到 360 kN), C_c 和 C_e 同时减小; 中间辊弯辊增大(0 到 500 kN), C_c 和 C_e 亦同时减小; 工作辊轴向移位量 δ_w 增大(-100 到 100 mm), C_c 和 C_e 同时增大; 中间辊轴向移位量 δ_t 增大, C_c 和 C_e 亦同时增大. 即各种手段对 C_c 和 C_e 的影响都是同向的.

(2) 对 C_c 和 C_e 的控制能力方面, 在各控制手段限定的控制区间内得到的对应调控域 ΔC_c 和 ΔC_e 的大小可以说明各控制手段的控制能力. 对于中心板凸度, 各控制手段的控制能力依次为: 工作辊弯辊 > 中间辊轴向移位 > 工作辊轴向移位 > 中间辊弯辊; 对于边缘降, 各控制手段的控制能力依次为: 工作辊轴向移位 > 工作辊弯辊 > 中间辊轴向移位 > 中间辊弯辊.

(3) 各控制手段间的相互影响方面, 工作辊和中间辊的轴向位置发生改变, 即辊间接触线长度发生改变时, 会影响弯辊的调控域大小. 当辊间接触线减小(轧辊位置从 100 到 -100 mm)时, 工作辊弯辊对中心板凸度 C_c 的调控域增大, 中间辊弯辊的调控域减小, 且随着板宽增大, 趋势越加明显.

3 UCMW 边缘降影响因素分析

一体化仿真模型除可以分析边缘降控制性能外, 还可以分析变形抗力、带钢厚度、压下量、带钢张力等对带钢边缘降的影响特性; 不仅可以反映这些影响因素对带钢边缘降的作用大小, 还可以分析出各个机架对边缘降的不同影响作用, 以确定控制边缘降的有效手段和策略.

3.1 分析工况设计

本文定义边缘降率为:

$$\alpha_e = (h_{100} - h_{15}) / h_{100} \quad (3)$$

设计仿真工况如表 2 所示. 轧辊辊径尺寸及四种板形控制手段控制量固定, 对带钢的变形抗力、入口厚度、压下量、带钢前后张力做相应变化, 分析各种板宽下各个影响因素对带钢横向厚度分布的影响规律.

表 2 边缘降影响因素分析的工况设计

Table 2 Condition design for the analysis of edge-drop influence factors

带钢入口厚度/mm	压下率/%	变形抗力/MPa	单位后张力/MPa	单位前张力/MPa
4.0, 2.0, 1.0	30, 20, 10	400, 800	50, 150	50, 150

3.2 计算结果及分析

由一体化仿真模型可分别计算出各种工况下的边缘降、边缘降率和中心板凸度, 计算结果以图形式给出(如带钢的入口厚度影响分析为图 4 所示). 从计算结果可以分析带钢的变形抗力、入口厚度、压下量、带钢前后张力对带钢的横向厚度分布的影响.

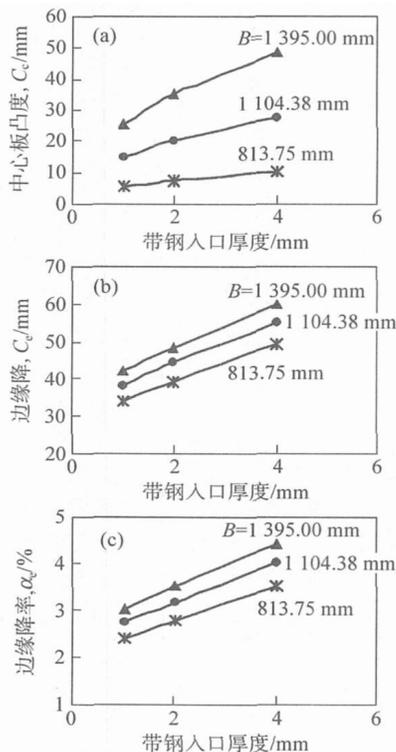


图 4 带钢入口厚度的影响

Fig. 4 Influence of the strip entry thickness

对表 2 设计的边缘降影响因素工况进行仿真分析, 由仿真结果分析带钢的变形抗力、入口厚度、压下量、带钢前后张力对带钢横向厚度分布的影响, 可以得出以下分析结果.

(1) 随着带钢入口厚度、压下率或变形抗力的增大, 轧制力都明显增大, 三个特征量 C_c 、 C_e 和 α_e 也都随之增大, 即入口厚度、压下率或变形抗力的增大都会使中心板凸度增大, 使带钢边部减薄剧烈.

(2) 随着带钢前张力或后张力的增大, 轧制力明显减小, 三个特征量 C_c 、 C_e 和 α_e 都随之减小, 即前张力或后张力的增大都会使中心板凸度减小, 使带钢边部减薄减弱, 改善带钢边缘降状况. 后张力的变化对出口带钢横向厚度分布的影响较前张力更为明显.

(3) 带钢入口厚度、压下率和变形抗力的增大都会加剧某一因素对带钢横向厚度分布的影响程度; 相反, 前后张力的增大会减弱某一因素对带钢横向厚度分布的影响程度.

(4) 各影响因素对边部特征量的影响程度都大于对中心板凸度的影响;说明边部对轧制因素的变化更敏感,它的可塑性更强,这与带钢边部的三维塑性变形有关.

4 结论

(1) 本文同时考虑辊系的弹性变形和轧件的塑性变形,建立了辊系轧件一体化仿真模型,并设计仿真工况,对 UCMW 轧机的边缘降控制性能进行分析,各控制手段对边缘降的控制特性和控制能力进行量化,对实际生产中的边缘降控制应用提供了理论依据.

(2) 利用一体化仿真模型对 UCMW 轧机的边缘降影响因素进行对比分析,分析结果对边缘降控制的轧制计划编排和轧机的负荷分配等可起到借鉴作用.

参 考 文 献

[1] Tateno J, Kenmochi K, Yarita I. Controlling edge drop by ta-

pered-crown work roll shifting mill and work roll crossing mill in cold strip rolling. *J JSTP*, 1999(7): 653

[2] Hartung H, Hollmann F. EDC—a new system for reduction of edge drop in cold rolling. *Metall Plant Technol Int*, 1998, 22(1): 80

[3] 李丹, 李林. 硅钢轧制中的边缘降控制技术. *轧钢*, 2001, 18(4): 18

[4] 池文茂, 高巍, 吴滨, 等. 冷轧带钢轧制中的新技术——边降控制. *矿冶*, 2003, 12(2): 91

[5] 邵建生. 2800 四辊中板精轧机板形控制模型研究[学位论文]. 北京:北京科技大学, 2001: 18

[6] 朱简如, 林秀真, 吴平, 等. 宽带 UCMW 冷连轧机辊系与轧件一体化仿真模型的开发. *冶金设备*, 2005, 152(4): 7

[7] 何安瑞, 张清东, 许健勇, 等. 1 800 mm 虚拟轧机板形控制性能. *北京科技大学学报*, 2004, 26(1): 91

[8] 刘立文, 韩静涛, 梅富强, 等. 冷轧板带变形的三维分析. *轧钢*, 1999(6): 24

[9] 时旭, 李山青, 刘相华. 薄带钢冷轧过程带钢变形的有限元分析. *钢铁*, 2004, 39(11): 45

[10] Aizawa A. Edge-drop reduction effect of intermediate roll shift. *J JSTP*, 1998(3): 37

Edge drop control performance and influence factor analysis of a UCMW cold mill

ZHOU Xiaomin¹⁾, ZHANG Qingdong¹⁾, WANG Changsong¹⁾, WU Ping²⁾

1) Mechanical Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2) Cold Rolling Plant, Baoshan Iron & Steel Ltd. Co., Shanghai 200940, China

ABSTRACT A special integral simulation model for a UCMW cold rolling mill was introduced based on the elastic deformation of rolls and the three-dimensional plastic deformation of strips. The strip center crown and edge drop control performance of work roll bending, intermediate roll bending, work roll shifting and intermediate roll shifting were compared and analyzed through the simulation model. The influences of strip thickness, forward and backward tension, reduction ratio and resistance to deformation on the edge drop were investigated in detail. The results indicate that the strip center crown control ability of work roll bending and the edge drop control ability of work roll shifting are the strongest. The effects of all the factors on the edge drop are more than those on the center crown. It is shown that the edge of a strip is more sensitive to rolling conditions.

KEY WORDS UCMW cold mill; flatness; edge drop; control performance