

辊径比对带钢轧制平直度影响的有限元模拟分析

赵宝禄¹ 陆建生¹ 宋 鹏¹ 张德丰² 宋群玲² 宁德宇³ 杨 豪³

(1 昆明理工大学材料与冶金工程学院, 昆明 650093; 2 昆明冶金高等专科学校教务处, 昆明 650033;
3 昆明钢铁股份有限公司板带厂, 昆明 650302)

摘 要 采用大变形弹性有限元法, 借助 MSC. Marc 有限元软件, 建立了昆明钢铁公司双机架紧凑式可逆炉卷轧机轧制过程的二维模型, 对 C45(0.43% ~ 0.49% C) 钢的 2 mm × 1 200 mm 带钢轧制平直度进行模拟。对带钢沿宽度方向上的应力分布进行三维模拟, 得出上、下工作辊的辊径比对带钢平直度的影响。结果表明, 当辊径比为 420/418.5 时, 带钢的平直度最佳。

关键词 可逆炉卷轧机 辊径比 平直度 有限元分析

Analysis on Finite Element Simulation for Effect of Roll Diameter Ratio on Rolled Strip Flatness

Zhao Baolu¹, Lu Jiansheng¹, Song Peng¹, Zhang Defeng², Song Qunling², Ning Deyu³ and Yang Hao³
(1 Faculty of Materials and Metallurgical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;
2 Kunming Metallurgical College, Kunming 650033; 3 Kunming Iron and Steel Group Co Ltd, Kunming 650302)

Abstract Two dimensional models of rolling process of two-stand Steckel mill at Kunming Iron and Steel has been established using heavy reduction elastic-plastic finite element method (FEM) by finite element software MSC. Marc to simulate the flatness of 2 mm × 1 200 mm rolled strip of steel C45(0.43% ~ 0.49% C). And 3 dimension simulation of stress distribution along strip width direction has been carried out to get the effect of upper/lower roll diameter ratio on strip flatness. Results showed that as roll diameter ratio was 420/418.5, the strip flatness was optimum.

Material Index Steckel Mill, Roll Diameter Ratio, Flatness, Finite Element Analysis

板形是指成品带钢断面形状和平直度两项指标, 其中平直度是热轧带钢产品的一项重要指标。汽车制造用热轧带钢如果存在平直度缺陷则无法在自动焊接机上焊接; 供冷轧用的热轧带钢如果存在平直度缺陷, 一方面会给头尾焊接造成困难, 另外也会给冷轧时纠正缺陷增加难度^[1]。

影响带钢平直度的因素很多, 其中上下工作辊的辊径比是一个较为重要的因素。在轧制过程中, 由于板坯下表面与辊道接触, 热传导剧烈, 上表面温度略高于下表面, 因此在轧制中往往出现板坯下弯, 即扣头现象^[2]。实际生产中解决此类问题, 主要采用调整上下工作辊辊径比例的方法, 来获得略微上弯的板坯。并以此为依据, 通过对生产过程中不同辊径比的轧制工艺进行模拟, 探讨其对带钢平直度的影响^[3], 同时为生产工艺优化提供了理论依据。

1 现场轧制条件及有限元模型

实验的数据是从昆明钢铁公司板带厂热轧车间带钢轧制第 1 道次现场测得。现场生产的坯为 (mm) 200 × 1 200 × 10 000, 轧成 2 mm × 1 200 mm 带钢。为了节省计算时间, 并且能够反映轧件的变

形趋势, 模型板坯取长度为 2 000 mm, 宽 240 mm, 厚度为 200 mm; 开轧温度 1 255 °C, 轧辊温度 450 °C, 两机架轧辊距离为 720 mm。

利用有限元技术来模拟带钢的轧制加工过程^[4], 为了便于分析轧制过程, 将作如下假设:

(1) 不考虑轧辊的弹性压扁效应和弹性变形, 轧辊假设为刚性体; (2) 不考虑轧机的弹跳, 辊缝在轧制过程中不发生变化; (3) 板坯假设为弹塑性体材料; (4) 板坯材料为各向同性; (5) 板坯变形为平面应变; (6) 轧辊与板坯之间的摩擦系数假设为定值; (7) 不考虑轧制过程中板坯与环境介质、除鳞水的热交换。

借助 MSC. Marc 有限元软件, 采用更新的 Lagrange 法描述大变形弹塑性有限元模型。材料的屈服准则采用 Von Mises 准则, 流动准则采用 Prandtl/Reuss 法则; 板坯选用 4 节点平面应变单元, 单元类型为 11; 轧辊和板坯之间的摩擦采用库仑摩擦模型, 摩擦系数取为 0.3。轧件材质为 C45, 其化学成分 (%) 为: 0.43 ~ 0.49C、0.17 ~ 0.37Si、0.50 ~ 0.80Mn、0.035P、0.035S、0.025Cr。轧制模型如图 1

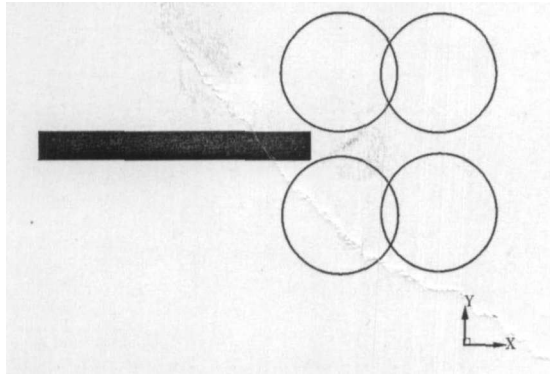


图 1 模拟的轧制模型
Fig. 1 Model for rolling process simulation

所示。

2 结果与分析

2.1 二维有限元模拟结果

利用 MSC. Marc 对带钢轧制的板形进行模拟，得到 6 组不同辊径比(见表 1)所轧制的板形。按表 1 编号，不同辊径比模拟带钢轧制的板形如图 2 所示。

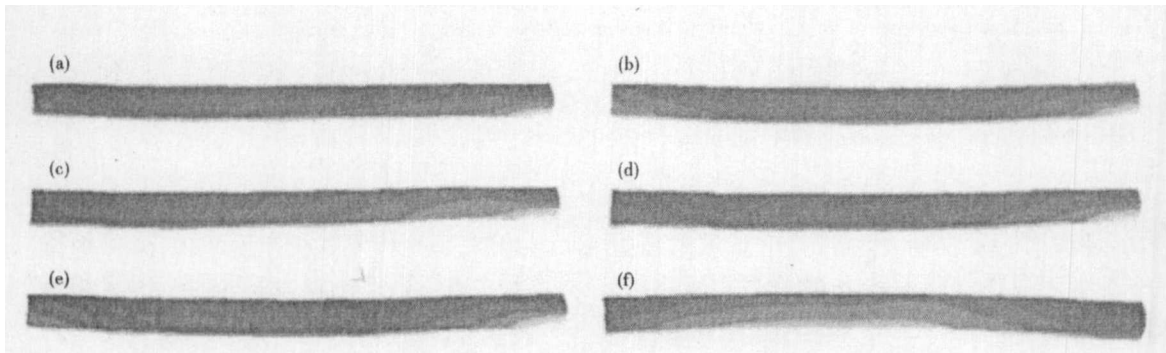


图 2 不同辊径比带钢轧制的板形
Fig. 2 Flatness of strip rolled with different ratio of roll diameter

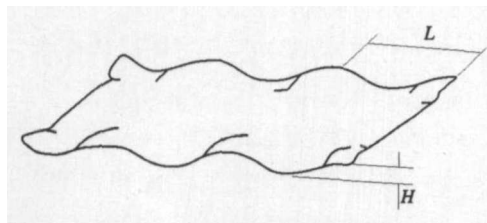


图 3 带钢板形边浪示意图
Fig. 3 Schematic of trimmed wave

$\pi/2$ 。

图 2 中，不同灰度表示沿轧件厚度方向不同的位移值。由此可以看出随着辊径比的增大，位移值先变小，后变大；说明板形质量先变好，后变差，各种情况的平直度如表 1 所示。由表 1 可以看出，随着辊径比的增大，带钢平直度先变小，后变大；当辊径比为 420/418.5 时，带钢的平直度最小，板形最好。

表 1 模拟的辊径比及带钢轧制的平直度
Table 1 Ratio of roll diameter for simulation and corresponding flatness of strip rolled

编号	工作辊半径/mm		辊径比	波高(H)/mm	波长(L)/mm	波高/波长	平直度(f)
	上	下					
(a)	420	420.0	420/420.0	30	390	0.076 92	1.46
(b)	420	419.5	420/419.5	40	530	0.075 47	1.41
(c)	420	419.0	420/419.0	30	410	0.073 17	1.32
(d)	420	418.5	420/418.5	30	430	0.069 77	1.20
(e)	420	418.0	420/418.0	50	630	0.079 37	1.55
(f)	420	417.5	420/417.5	50	620	0.080 65	1.60

带钢的表观板形通常为边浪(图 3)。边浪又称为边松，是由于带钢伸长率在带钢宽度上从中心向两侧逐渐变大而形成的。本文中的板形情况即为边浪。

一般用平直度来表征边浪的大小，平直度的表达式^[5]为：

$$f = \left(k \frac{H}{L} \right)^2 \times 10^2$$

式中：L-波长；H-波高；k-波形因子，正弦波 k =

2.2 三维有限元模拟结果

表观板形的产生是由于内部应力沿带钢宽度方向上分布不均匀，局部区域发生了弹性翘曲变形。图 2 表征的板形就属于这种情况。为了进一步验证辊径比对板形的影响，对带钢沿宽度方向上的应力分布进行了三维模拟^[6]。截取稳定轧制阶段轧件变形区内的一个断面，应用 Marc 软件中的 PATH PLOT 命令，将 Mises 应力数值提取出来。按表 1 编号，应力分布如图 4 所示。

由图 4 可以看出，随着辊径比的增大，带钢沿宽度方向上最大和最小应力的差值先减小，后增大；当辊径比为 420/418.5 时，带钢沿宽度方向上的最大和最小应力值相差最小，各点应力最为均匀，进一步验证了此时的板形最好。由此得出辊径比对平直度

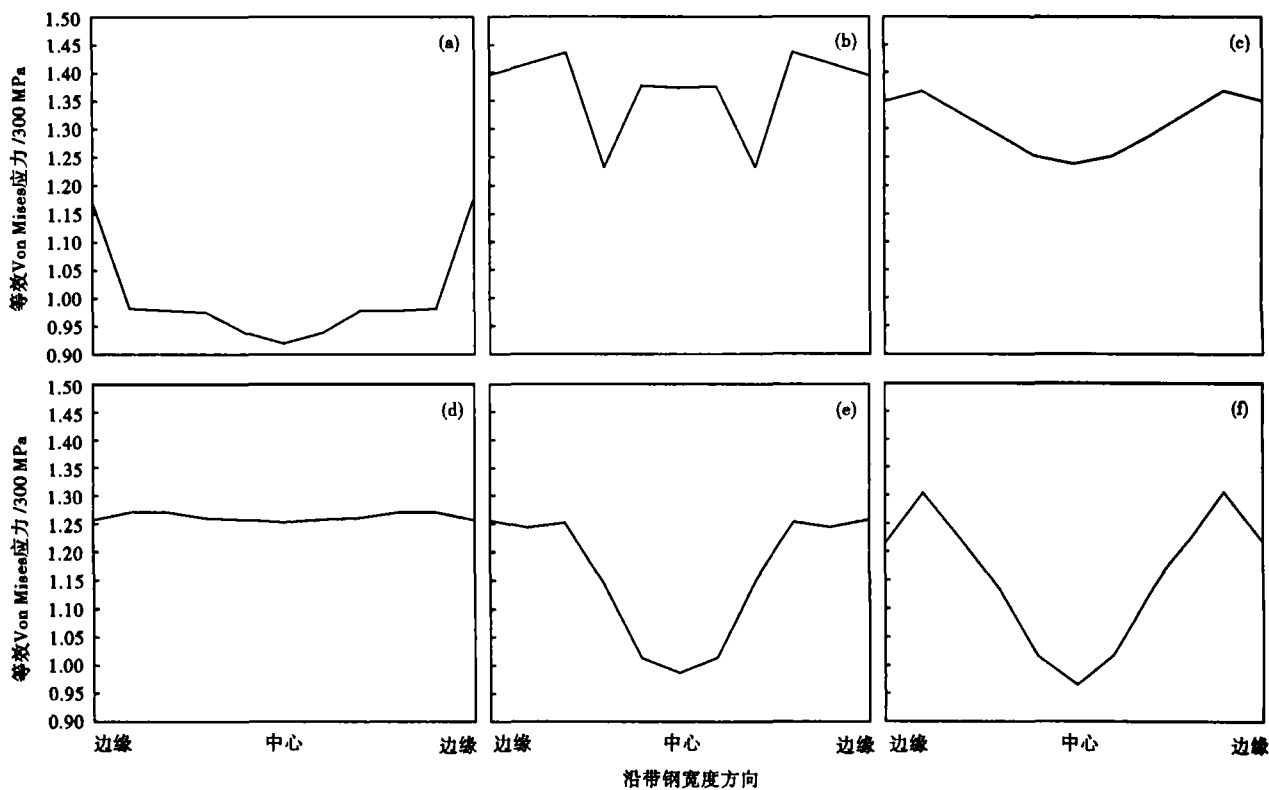


图4 不同辊径比带钢轧制沿宽度方向上的应力分布

Fig. 4 Stress distribution along width direction for strip rolled with different ratio of roll diameter

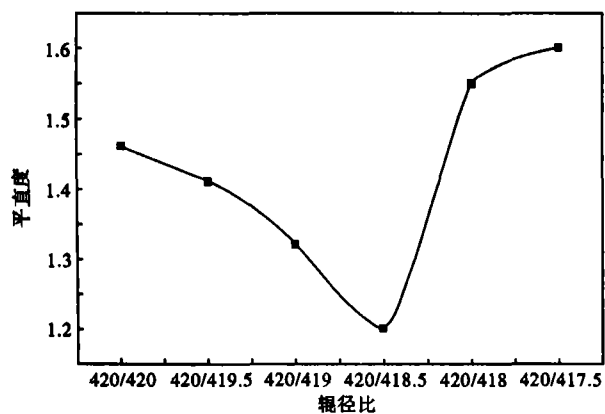


图5 辊径比对带钢平直度的影响

Fig. 5 Effect of ratio of roll diameter on flatness of strip

的影响曲线(图5)。

将以上6种不同辊径比的轧制工艺,应用到昆明钢铁公司板带厂热轧车间的生产轧制过程中,得到了与模拟结果相同的板形变化趋势。说明了辊径比对平直度影响的假设是成立的。

3 结论

通过建立二维有限元模型,模拟得出了轧制过程中不同辊径比与带钢轧制的板形关系;并且通过建立三维有限元模型,模拟得出了轧制过程中不同辊径比与带钢沿宽度方向上Mises应力的关系,进

一步说明了不同辊径比与带钢轧制的板形关系,证实了板形质量与工作辊的辊径比有关:随着辊径比的增大,板形质量先变好,后变差,当辊径比为420/418.5时,带钢的平直度最好。由此得出了辊径比对平直度的影响曲线,为实际生产提供了理论依据。

教育部留学归国人员基金资助项目(20010026)

参考文献

- 1 汪祥能,丁修望. 现代带钢连轧机控制. 沈阳: 东北大学出版社, 1996
- 2 阳代军,胡雄光,刘光明,等. 中厚板轧制板坯弯曲的有限元模拟分析. 机械科学与技术, 2006, 25(1): 36
- 3 闫晓强,季怀忠,孙复森,等. 中板轧制过程板坯弯曲生成与抑制之一. 北京科技大学学报, 2000, 22(5): 475
- 4 Mc Meeking R M. Finite Element Formulation for Problems of Large Elastic Plastic Deformation. J. Solids. Struct., 1975, 11(20): 601
- 5 金兹伯格 V B. 高精度板带材轧制理论与实践. 姜明东, 王国栋, 等译. 北京: 冶金工业出版社, 2000
- 6 许秀梅,张文志. 钢轨万能轧制过程的数值模拟. 塑性工程学报, 2005, 12(4): 47

赵宝禄(1982-),男,硕士研究生,计算机仿真模拟压力加工过程研究。

收稿日期:2007-01-26