

· 设计计算 ·

热轧带钢头部翘曲有限元研究

李学通¹, 杜凤山¹, 王敏婷¹, 张晓峰², 许志强¹

(1. 燕山大学, 河北 秦皇岛 066004; 2. 宝山钢铁技术中心, 上海 201900)

摘 要: 结合宝钢 2050 热轧粗轧机组实际轧制工艺, 建立带钢非对称轧制有限元模型。主要研究了在带钢轧制过程中, 当板厚、压下量不同时上下辊速比、带钢上下表面温差对带钢头部弯曲的影响规律, 并且对调整辊速比控制因上下表面温差造成的头部翘曲问题进行了详细分析, 并回归出其关系模型。实践表明仿真研究结果可对热轧过程带钢头部翘曲自动控制模型提供修正数据。

关键词: 热轧; 温度; 翘曲; 有限元

中图分类号: TG335 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-196X(2004)03-0041-04

FEM research of strip head curl on hot mill

LI Xue-tong¹, DU Feng-shan¹, WANG Min-ting¹, ZHANG Xiao-feng², XU Zhi-qiang¹

(1. Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China

2. Baosteel Technical Center, Shanghai 201900, China)

Abstract: An asymmetrical rolling model is established based on the actual technologies of the 2050mm roughing trains mill of Baosteel. The influences of roller speed ratio and surface difference in temperature on the head warp of strip steel are investigated with different strip thickness and draught. And setting roller speed ratio for removing the head curvature of strip caused by the above and below surface difference in temperature is analyzed and the relational model is obtained by a regression method in this paper. The calculated results can provide correction data for the head curvature automatic control on hot mill.

Key words: hot rolling; temperature; curvature; FEM

1 前言

在热轧带钢生产过程中, 由于板厚方向存在不均匀温度分布和不均匀变形, 故很难获得对称轧制的工艺条件。通常情况下轧制中性轴将移向轧辊一边。上下轧辊直径、转速、表面状态不相同, 轧件上下表面温度不相等, 都可以导致非对称轧制。在非对称轧制条件下, 轧件咬入时由于没有前端对上下不均匀变形的阻碍, 轧出的轧件头部便会发生上下弯曲。生产现场的实例充分说明了这一点(图1)。大量生产实践表明, 轧件

头部弯曲现象随工艺和设备参数的变化而发生较大的变化, 如随辊速比、压下率或来料厚度的不同, 轧件头部弯曲程度及弯曲方向都有可能不同, 可以向上下两方向弯曲。为了能够建立准确的轧件头部弯曲模型、有效地控制轧件头部弯曲, 研究各种轧制参量对弯曲的影响规律是十分必要的。目前, 国内外对该方向的研究还较少^[1-5]。

根据宝钢 2050 热带钢轧制生产工艺, 本文建立了非对称轧制过程的热力耦合弹塑性有限元模型, 分析了在不同板厚、压下量情况下, 辊速比、上下表面温差对带钢头部弯曲的影响规律。研究了控制带钢头部弯曲辊速比参量与上下温差之间的关系, 并根据模拟计算结果回归得出计算数学模型。

收稿日期: 2004-03-28; 修订日期: 2004-04-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(50075076)

作者简介: 李学通(1976-), 男, 燕山大学博士研究生。

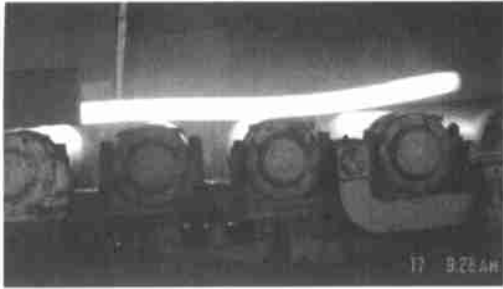


图1 带钢轧制头部弯曲实际图片

2 有限元模型

轧件头部的翘、扣头现象是一个典型的热力耦合问题,影响因素很多。本文以大型非线性有限元软件为研究平台,开发建立带钢头部弯曲过程的非对称轧制模型,模型如图2所示。所建模型是综合考虑多种因素如耦合热应力、重力边界条件等的动态模型,与实际轧制工况基本吻合。模型中热因素即轧件变形热、轧件与轧辊间的接触传热、辐射等的处理是通过调用自编程序实现的。

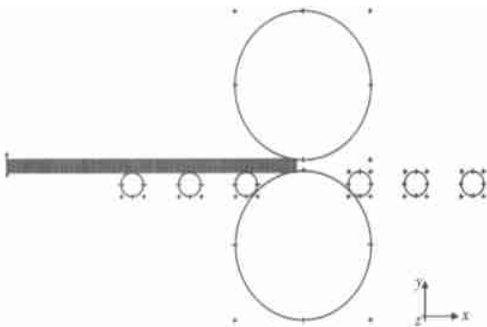
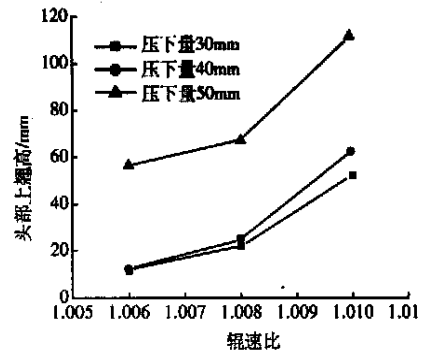


图2 有限元模型

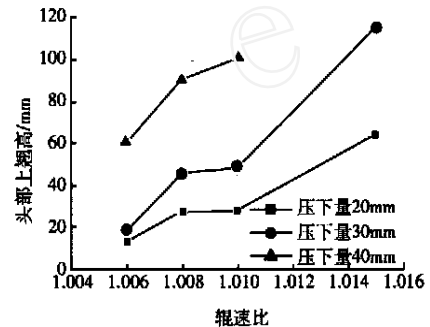
3 辊速比对头部翘曲影响

上下辊速比对头部翘曲影响规律十分复杂。来料厚度相对固定,在不同压下量条件下,上翘高度与辊速比(上辊比下辊)的关系可由图3直观反映出来。在带钢厚为190 mm、125 mm时,头部翘曲量随压下量的增大、辊速比的增大而增大;而板厚100 mm时,头部翘曲量随压下量的减小、辊速比的增大而增大。造成这样的原因主要是变形区应力状态不同。从头部翘曲量与辊速比关系来看,当辊速比大于1.01时带钢头部上翘量开始明显增大,容易引起不必要事故。故在实际工业轧制时为了避免较大的翘曲量,辊速比

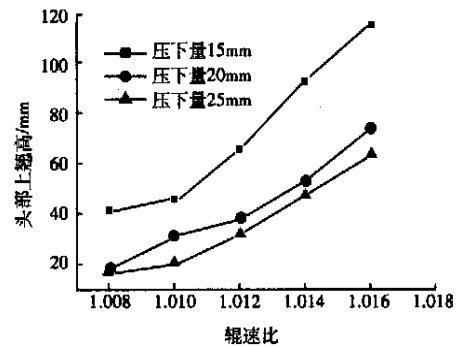
一般不超过1.01。



(a)板厚190 mm



(b)板厚125 mm



(c)板厚100 mm

图3 头部翘曲与辊速比关系

4 上下表面温差对头部翘曲影响

由于轧制过程带钢上下表面换热条件不同,存在一定温差,表面温度高的一侧由于变形抗力低,导致塑性变形大纵向延伸长,而表面温度低的一侧则相反,因此出现带钢头部向温度低的一侧翘曲。为了研究上下表面温差对头部翘曲的影响规律,通过调用子程序实现轧前带钢上下表面温差的处理。模拟结果显示,随着上下表面温差的增大、压下量的增大,头端翘曲量也增大。同时还可以看出在较小温差下,翘曲量变化也较小;与此相反,在大的温差下翘曲量变化则很大,如图4所示。

模拟带钢厚为 100 mm、压下量为 15 mm、上下表面温差 20 的实际轧制工艺, 结果显示当带钢头部在距出口约 200 mm 处时, 带钢开始翘曲并逐渐增高至最大, 随后因带钢重力作用翘曲略有降低而后进入稳定状态 (图 5)。

根据大量的模拟计算数据, 采用数据回归法建立了带钢头部翘曲高同板厚、压下量及上下温差的关系模型。

$$H_c = 760.7 h_0^{-2.2} d_r^{0.87} T^{1.58} \quad (1)$$

式中, H_c 为翘曲量 (mm), h_0 为板厚 (mm), d_r 为压下量 (mm), T 为上下表面温差 ()。

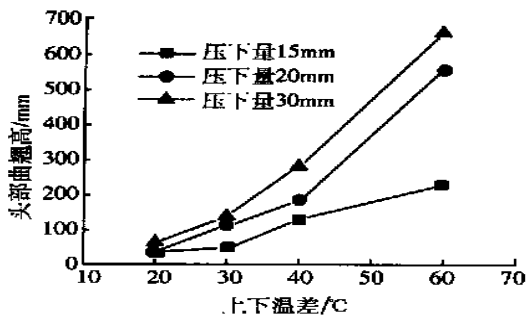


图 4 头部翘曲与上下温差关系 (板厚 80 mm)

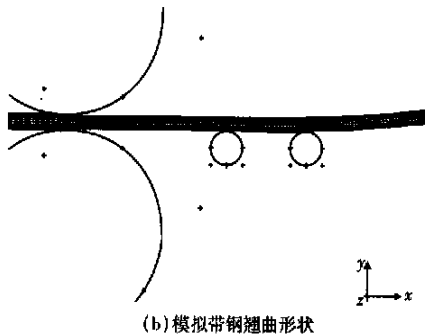
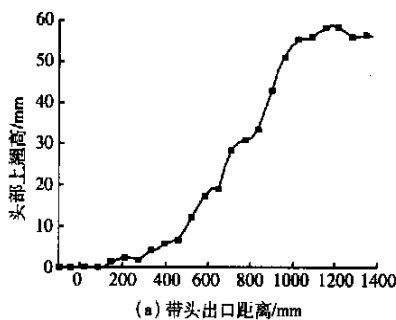


图 5 头部翘曲过程及模拟形状

5 控制头部翘曲

目前, 在中厚板轧制中头部翘曲主要是由于上下表面温差造成的, 而且大多是通过调整辊速

比控制头部翘曲量。本文利用数值模拟研究了不同温差下对应矫正头部翘曲量的辊速比值。图 6、7 给出了带钢上下表面温差 40 时采用一定的辊速比进行轧制模拟的计算结果。图 6a、7a 中采用的上下辊速比为 1:1, 由于下表面温度高, 金属塑性变形沿轧制方向大, 故带钢头部出现上翘现象; 而图 6b、7b 为调整辊速比后的模拟结果, 头部翘曲明显被消除。

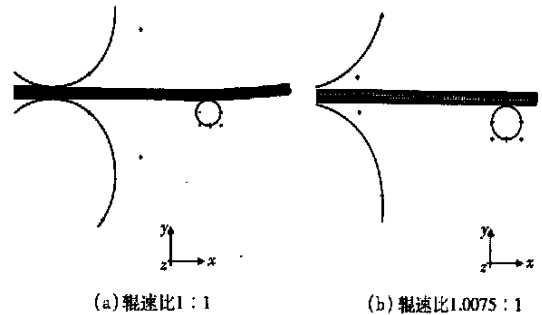


图 6 头部翘曲控制 (板厚 100 mm, 压下量 20 mm)

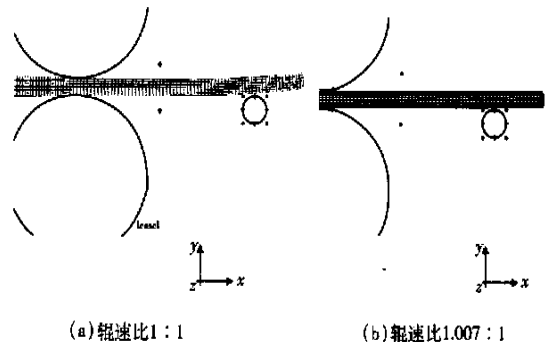


图 7 头部翘曲控制 (板厚 150 mm, 压下量 30 mm)

利用有限元模拟计算结果, 回归得到矫正因温差头部翘曲的辊速比计算模型。从式 (2) 中可知, 随温差的增大、入口厚度的减小、压下量的增大, 需要调整控制的辊速比就增大。

$$B = 1.02 h_0^{-0.01} d_r^{0.006} T^{0.004} \quad (2)$$

式中, B 为辊速比, h_0 为板厚 (mm), d_r 为压下量 (mm), T 为上下表面温差 ()。

6 逆向轧制对板材翘曲影响

在中厚板轧制中, 一般包含有可逆轧机。如宝钢 2050 粗轧机组 R2 水平机架通常可逆轧制五个道次, 所以研究逆向轧制对上一道次头部翘曲的影响也是有必要的。图 8 是板厚 150mm、正向轧制压下 30mm、逆向轧制压下 20mm、上下温差 40 时的逆向轧制模拟结果。从逆向轧

制过程不同阶段的轧件形状可见, 逆向轧制能够基本上消除了上一道次产生的翘曲现象。

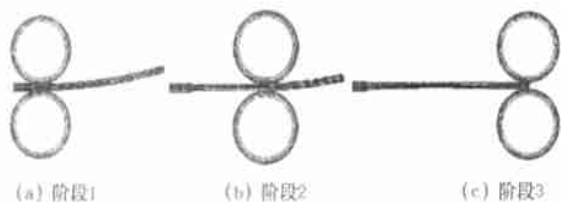


图8 逆向轧制头部翘曲

7 结论

结合热轧现场实际问题, 建立非对称轧制有限元模型, 模型考虑了各种轧制因素对头部翘曲的影响如重力边界条件、上下表面温度不均匀分布等。通过模拟计算分析了辊速比、上下表面温差对带钢头部翘曲规律; 研究了控制因温差造成头部翘曲的辊速比设定值, 并回归出对

应的数学模型。同时对头部翘曲带钢逆向轧制进行计算, 结果表明逆轧可基本消除板材头端翘曲。

参考文献:

- [1] J. Pospiech. A note on the influence of some factors affecting curvature in the flat rolling of strip [J]. Mech. Working Technol. 1987, (15): 69-80.
- [2] 胡衍生, 程晓茹. 中厚板轧制头部弯曲的试验研究 [J]. 武汉科技大学学报, 2003, 26(1): 3-4.
- [3] T. Masui, Y. Kasada *et al.* Warp control in strip processing plant [J]. Iron Steel Inst. Jpn. Int. 1991, 31 (3): 262-267.
- [4] W. Johnson *et al.* An experimental study in asymmetric rolling [J]. Proc. Int. Mech Eng. 1965, 180 (31): 270.
- [5] J. Jeswiet, P. G. Greene. Experimental measurement of curl in rolling [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, (84): 202-209.

Sigmar 振动时效

可准确去应力

电话: 0531-7162404 7162456 13606401865 13606370490 传真: 0531-7162414 邮编: 250022 地址: 济南市济微路 72 号 E-mail: sigmar@public.jn.sd.cn http://www.sigmar.cn

济南西格马科技有限公司

Sigmar·西格马是中国振动时效行业“振动时效效果评定方法”等三大新标准的起草人、执笔者。

Sigmar·西格马独创了以应变计为传感器的航天型振动时效系统(专利), 它可在线显示工件的动应力、残余应力释放, 该技术通过培训容易掌握。

Sigmar·西格马独创了以振型为描、时效同时进行) 确保数据真实。基础的科学时效理论, 并独创出数十种以遥控振型、在线打印、多振型时效为基本功能, 以加速度计做传感器的科学的常规时效设备: 1. 遥控识别振型可令用户准确确定工件有效去应力部位、避免乱时效。2. 在线打印(即与扫描、时效同时进行) 确保数据真实。

3. 多峰值识别可科学准确地选取参数、避免误时效。4. 多振型时效可避免漏时效。5. 局部扫描、局部打印可保证快速优化参数、高效时效、延长电机寿命、减少噪声。6. 多通道可确保快速准确选取参数。7. 强弱电隔离保证系统可靠运行。

行。8. 无槽结构使电机耐振。

Sigmar·西格马设上海、沈阳、武汉等办事处, 可为用户提供快速服务。

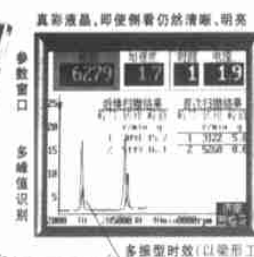
Sigmar·西格马已令千家用户受益: 一汽、二汽、宝钢、鞍钢、首钢、浙大机械、清华机械、振华港机、杭叉、杭叉、经纬纺机、内蒙一机、长城铝业、成都托普、四川康达、湘潭电机、富士水电、康发展、邢台轧辊、梅塞尔、阳通、南高齿、上凤实业、沈重、黄纺、福伊特、徐工、三一、合锻、杨力、广船、襄樊轨道、太原一机、航天 14 所、800 所...



SMAU 航天系列振动时效系统
可在线显示动应力、残余应力释放



SMLN 大晶
全息多通道系列



SSIN 液晶先锋系列
多峰值识别
多振型时效(以梁型工件为例):
1 号峰对应振型, 用于 A 区消除应力
2 号峰对应振型, 用于 B 区消除应力



SSAN 液晶全自动系列
在线打印
振动去应力
SSIN 专家系列