

# 板带轧制头部翘曲的研究现状

王敬忠

(西安建筑科技大学冶金工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 针对板带轧制过程中头部翘曲问题, 学者们及现场技术工作者已进行了大量试验及现场跟踪研究, 取得了一定成果. 从翘曲的测量方法、翘曲的研究方法、影响翘曲的主要因素入手, 对板带头部翘曲的研究成果进行了综述, 指出今后的研究方向.

**关键词:** 板带; 轧制; 翘曲; 影响因素

**中图分类号:** TG333.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2011)02-0294-07

头部翘曲严重影响板带轧制生产过程, 损坏设备, 危害产品质量. 板带产量越来越大, 生产节奏加快, 翘曲对生产效率的影响受到重视.

影响板带轧制翘曲的因素有轧辊辊径差、轧件表面温度差、轧辊的表面状态、电机特性、导入角等等, 这些因素相互关联. 不同因素对轧件翘曲方向有相同或不同的影响, 并且同一因素在不同量值时对轧件翘曲方向也有不同影响, 给板带翘曲的研究带来巨大困难. 不同轧机有特性差异, 形成头部翘曲的主因可能不同, 所以具体试验条件下的研究成果难以具有普遍的适应性. 因此为了实现高效生产和获得优质产品, 需要对轧机特性进行长期摸索. 迄今为止, 虽然进行了大量的摸索工作, 却未能提出一个普遍适用的数学模型, 头部翘曲问题仍普遍存在. 为从事板带生产的技术工作者选择合适的控制参数, 解决、抑制翘曲问题, 提供一个思考问题的平台, 本文从不同侧面总结轧件翘曲的研究成果, 结合现场的观察, 提出了建议.

## 1 测量翘曲的方法

几十年来, 该领域技术工作者均需面对板带翘曲的量化问题, 并且试图通过试验和数值分析或者将两者结合的方法去预测翘曲程度, 但研究者们所面对的条件是具体的, 只能设计适用于特定研究条件的方法, 因此, 没有统一量化翘曲的标准.

研究初期, Kennedy 和 Slamar<sup>[1]</sup> 这样描述翘曲程度: 把整个产品放置在一个平台上, 用由于翘曲离开平台表面的那部分长度除以下表面紧贴着平台表面那部分长度, 所得结果表示翘曲程度. 这种方法用来衡量整块产品的板形比较准确, 但测量过程复杂; 另外, 翘曲对生产效率的影响主要来自于翘头(或扣头, 无论是翘头还是扣头均用翘头表述), 测量整个板子的翘曲程度对生产调整意义不大, 因此, 该方法未得到广泛应用.

Tanaka 等人<sup>[2]</sup> 在不对称轧制的试验中发现板带头部成圈的现象, 于是用卷曲部分的曲率半径描述翘曲程度. 在轧制过程中卷成圈的现象并不常见, 有时翘曲贯穿整个轧件或从端部算起很长一段, 所以, 用单一的曲率半径作为量化翘曲的方法不恰当. 作为对 Tanaka 等人工作的延续, Johnson 和 Needham<sup>[3]</sup> 用翘曲部分的曲率量化翘曲程度, 不过他们的工作主要局限于不对称轧制中的翘曲问题.

Pospiech<sup>[4]</sup> 对翘曲进行了大量的研究, 但对翘曲只给出了直观的、定性的估计, 没有给出一个定量评价办法. Masui 等人<sup>[5]</sup> 沿用了 Tanaka 等人的方法, 并对翘曲的情况进行了分类, 当翘头的曲率半径和

收稿日期: 2009-12-17 修改稿日期: 2010-12-12

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2004E119)资助

作者简介: 王敬忠(1974-), 男, 山东定陶人, 博士研究生, 讲师, 主要从事金属材料及材料加工工程研究.

轧辊的半径一致时, 翘曲程度按轧辊半径的曲率来表示; 当翘曲部分的曲率半径和轧辊半径不一致时, 则按轧件的曲率来衡量, 所以需要根据轧件的形状拟合曲线, 因此, 该方法的应用存在一定难度.

J. Jeswiet、P. G. Greene<sup>[6]</sup> 和胡衍生等人<sup>[7]</sup> 将翘曲程度定义为单位弧长上的弯曲高度, 即弯曲高度  $y$  与弯曲弦长  $x$  的比值 (如图 1<sup>[6]</sup> 所示), 将轧件翘曲的轮廓描在纸上即可测量, 相对前面的方法比较简单, 但是, 翘曲程度的准确程度受到  $X$  取值的限制, 因此, 用这种方法来衡量头部翘曲程度存在明显的缺陷.

上述几种描述头部翘曲的方法, 有的未考虑轧辊直径, 有的虽然考虑了, 但是, 没有考虑不同辊径轧机轧出的轧件翘曲程度的可比性, 刘长瑞<sup>[8]</sup> 提出一种可以消除轧辊直径因素的、可比较的, 计算板带头部翘曲的方法, 即用轧件头部翘曲部分的曲率半径和轧辊半径的比值来表示头部翘曲的程度, 因此, 不同辊径轧机生产轧件的翘曲程度可以进行比较, 这种方法缺乏直观性.

出于生产效率和设备安全的考虑, 笔者认为, 利用轧件头部因翘曲而离开轧制线的距离  $Z$  和轧辊半径  $R$  的比值来表示翘头的程度 (见图 2), 尤其对于中厚板轧制而言, 更加简便易行, 易于收集数据积累经验 and 判断翘曲对生产过程的影响程度, 快速调整相关的轧制工艺参数.

## 2 研究翘曲的方法

基于试验条件, 翘曲的研究方法可分为, 试验研究、数值模拟和实践总结或者几种方法的结合. 下面针对这几种方法的优缺点进行评述.

### 2.1 试验研究

截至目前, 大多数文献研究结果局限于单因素对翘曲的影响, 试验材料多为铅、铝等室温易于变形的材料.

J. Jeswiet 和 P. G. Greene<sup>[6]</sup> 用 3003 铝, 针对恒辊速变压下率和恒压下率变辊速的单因素, 对翘曲进行了试验研究. 胡衍生等人<sup>[7]</sup> 用几何模拟法研究了某厂板带生产线翘曲的情况, 主要的试验内容为: 异径变速时, 变形程度与弯曲率间的关系; 同径变速时, 变形程度与弯曲率间的关系; 同径变速时, 速比的变化与弯曲率的关系, 试验较接近生产实际, 但缺少温度对翘曲影响的研究.

庞玉华等人<sup>[9]</sup> 用铅作为试验材料对板带轧制过程中的翘曲进行了正交试验. 用铅作为试验材料可以忽略温度和温度变化对试验结果的影响. 固定一些因素, 研究其他因素的关联作用对翘曲的影响. 但, 缺少温度对翘曲影响的研究.

单因素试验可以使单因素变化对翘曲的影响规律清晰化, 但是在试验过程中很难保证单因素变化. 通过正交试验, 可以验证几个因素同时作用时翘曲的变化规律, 从而找出主要因素, 加以重点控制, 试验中固定因素必须是生产实际中较为稳定的因素.

### 2.2 数值模拟

J. Jeswiet 和 P. G. Greene<sup>[6]</sup> 对实验中所采用参数, 用 DEFORM 软件模拟计算了速度变化、辊径变化和表面粗糙度变化对翘曲的影响, 在实验中的翘曲方向随压下率变化而变化的现象在数值模拟中没有出现. 然而, 李亮等人<sup>[10]</sup> 用大变形弹塑性有限元法模拟的结果表明翘曲方向随压下量有变化. 这种情况说明在实物试验过程中还有其他干扰因素, 各因素对头部翘曲的影响是相关的, 单独改变某一个因素所得结果可能偏离事实.

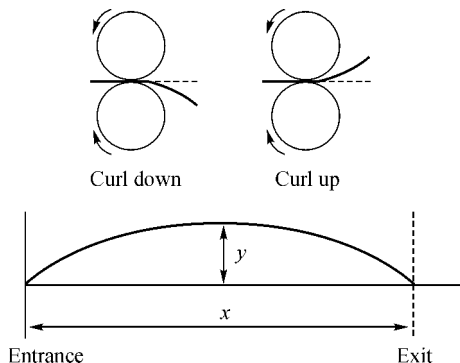


图 1 翘曲程度计算方法示意图

Fig. 1 An illustration of the curl and its measurement

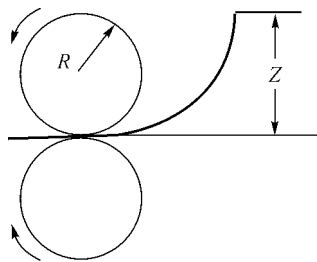


图 2 头部翘曲程度示意图

Fig. 2 An illustration of a head curl and its measurement

李学通等人<sup>[11-12]</sup>结合宝山钢铁集团公司 2050 热带钢轧制工艺,采用大变形弹塑性有限元法,考虑多因素,建立了热力耦合非对称轧制模型。

数值模拟,既可模拟单一因素的变化对翘曲的影响,又可模拟几个因素对翘曲的影响.可以从理论上揭示热轧过程中轧件头部弯曲的机理,采用弹塑性大变形有限元法,能有效地减少热轧试验<sup>[10]</sup>.应该指出,模拟中往往忽略使翘曲问题复杂化的各因素之间的关联作用,如果在模拟中引入反映各因素间关联变化的数学模型,则其结果的实用价值更大。

2.3 实践总结与理论分析结合

由于缺少控制模型,仍要通过实践摸索、经验总结逐渐掌握控制翘曲的技术,诸如,根据特定的生产条件,采用针对性较强的差动咬入法<sup>[13]</sup>、降低轧件上下表面温差、合理制订道次压下率<sup>[14]</sup>等方法.姜远军等人<sup>[15]</sup>通过实践总结,找到了针对其公司热轧铝板头部翘曲问题的预防措施.闫晓强等人<sup>[16-20]</sup>通过测试技术和理论分析,对中板轧制过程板坯弯曲及抑制进行了系列研究,多数理论成果得到了验证.实践摸索法针对性强,能解决实际问题,但局限性大,进行必要的修正才能适用于不同轧机。

3 影响翘曲的主要因素及解决措施

产生头部翘曲的根本原因是,轧件头部在轧制过程中存在不对称因素,本节针对造成轧制不对称的主要因素加以评述。

3.1 上、下工作辊直径差

在工作辊同转速异辊径或同辊径异转速的情况下,上下轧辊表面线速度存在差别,轧制变形区内变形条件不对称,形成非对称轧制.胡衍生等人<sup>[7]</sup>研究表明,不同的辊径比(转速相同)时,随来料厚度的不同,翘曲程度和翘曲方向均发生变化;同辊径(转速不同)时,翘曲随变形程度变化也有方向变化.另外,姜远军等人<sup>[15]</sup>研究表明,当上、下工作辊辊径不同时,两辊圆周速度的变化和压下量的变化对轧件翘曲方向起相反的作用;在压下量较小时,辊径差起到主导作用,当压下量较大时,压下率起到主导作用.变形深透程度可能导致上、下辊接触面上的前滑和后滑发生变化,使头部翘曲方向改变;文献[22]表明,相同压下率随辊速比变化,也会导致翘曲方向的改变.针对工作辊辊面线速度对翘曲的影响,文献[7]给出了定性的解决办法,文献[11]提到为避免严重的向上翘曲,辊速比一般要小于 1.01。

3.2 轧件上下表面温度差

根据大量的模拟计算,李学通等人<sup>[11]</sup>采用回归法建立了带钢头部翘曲高度与板厚、压下量及轧件上下表面温差的关系模型:

$$H_c=760.7h_0^{-2.2}-212dr^{-0.87}T^{1.58}$$

(1)

式中:  $H_c$  为翘曲量(mm);  $h_0$  为板厚(mm);  $dr$  为压下量(mm);  $T$  为上下表面温差( $^{\circ}\text{C}$ )。

图 3 表明,相同压下量时,随温差增大头部的翘曲高度增大;相同温差时,随压下量增大头部翘曲高度增大.可以通过调整辊速比来消除或抑制翘曲<sup>[11]</sup>.杨澄<sup>[23]</sup>根据武钢热轧带钢厂的实际,总结出了抑制因温差造成翘曲的措施,①加强烧钢控制,减小或消除温差;②要根据轧制过程中轧件上下表面温度的变化,调整上下工作辊的速度来消除或减轻上翘下弯现象。

3.3 变形速度与道次变形压下率

在几乎所有相关文献中均报道了翘曲随着压下率变化而变化的现象.J. Jeswiet 和 P. G. Greene<sup>[9]</sup>的研究表明,相同变形速度时,压下率为 30%~35%,翘曲的方

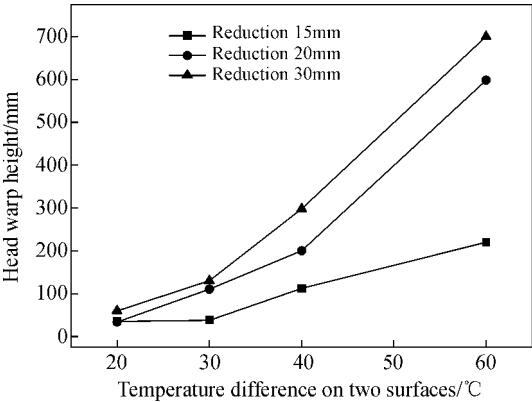


图 3 头部翘曲与上下温差关系  
(板厚 80 mm)

Fig. 3 Relationship between head warp and temperature difference on two surfaces (plate thickness 80 mm)

向由向上转变为向下, 也就是说, 当压下率为某一值时, 翘曲可以忽略不计. Pospiech<sup>[4]</sup> 发现, 在变形率较小时, 变形速度对翘曲的影响程度较大; 随着压下率增大, 变形速度对翘曲的影响减小. 既定压下率的条件下, 变形速度在一定范围内增大, 翘曲趋于严重.

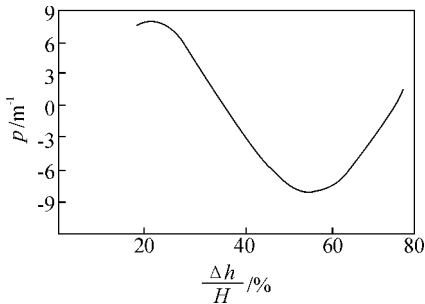


图 4 相对压下量对板带弯曲方向的影响  
 $p$ —带材的曲率, 正值表示轧件弯向小直径辊, 负值表示轧件弯向大直径辊,  $\Delta h$ —压下量,  $H$ —入口厚度  
Fig. 4 Effect of relative reduction on the direction of plate bending  
 $p$ —curvature of strip, the positive indicating bending to smaller roller, the negative indicating bend to bigger roller,  $\Delta h$ —rolling reduction,  $H$ —entrance thickness

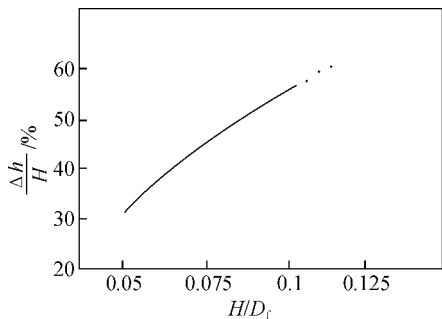


图 5 临界压下量与  $H/D_f$  的关系  
 $D_f$ —工作辊的平均直径  
Fig. 5 Relationship between critical reduction and  $H/D_f$   
 $D_f$ —average diameter of working roller

既定变形速度时, 翘曲方向的变化和辊面的粗糙度、变形速度和压下率是相关的<sup>[9]</sup>. 姜远军等人<sup>[15]</sup>的研究中也发现了翘曲方向与压下率之间存在一定的关系, 并且还将不发生翘曲的变形量规定为临界变形量. 翘曲程度与压下率的关系曲线如图 4<sup>[15]</sup> 所示, 临界变形量与轧辊变形区几何形状的关系曲线如图 5<sup>[15]</sup> 所示. 容易产生翘曲的道次通常采用临界压下量, 由于影响翘曲的因素是多方面的, 并且各因素在轧制过程中是变化的, 那么临界压下量是一个动态值, 因此, 不可能完全避免翘曲, 一般允许适量的上翘, 即所谓的雪橇轧制, 这种技术在生产得到了应用<sup>[24-25]</sup>.

### 3.4 轧制过程中导入角变化

在轧制过程中, 随着轧件厚度逐渐减小, 咬入时轧件上下表面与轧辊接触的时间顺序发生变化, 形成不对称轧制. 一般认为导入角的变化引起轧件头部翘曲, 而 Kennedy 和 Slamar<sup>[1]</sup> 与 J. Pospiech<sup>[4]</sup> 研究表明, 导入角的变化对翘曲的影响不明显.

闫晓强等人<sup>[21]</sup> 研究表明: 随着倾斜咬入角的增加, 轧制后板带的上弯曲率增加, 基于这一现象, 提出利用板坯向下倾斜咬入会产生上弯来抑制板坯因上表面温度高而造成下弯措施.

刘长瑞等人<sup>[8]</sup> 通过静态压缩和轧制两种方式研究得出, ①静态压缩时: 在假设有上倾斜角的情况下, 上、下表面接触弧长度之比  $L_1/L_2$  随压下量增加先减小后增大, 表明上、下接触面单位压力不同, 开始变形时, 下侧单位压力大, 高向变形大, 纵向延伸也大,  $L_1/L_2$  减小. 再增加压下量, 上侧变形较深入, 单位压力差减小,  $L_1/L_2$  又增加. 由于接触面积比的变化, 影响到金属表面的流动, 那么在倾斜角不变的情况下, 翘曲的程度乃至翘曲的方向均随着压下量的变化而变化; ②轧制时: 存在上倾斜角时, 试料前端部下弯发生在几何形状系数  $l/h > 1$  时的某个区域, 试料前端部上翘发生在几何形状系数  $l/h < 1$  的区域, 当几何形状系数  $l/h > 1.9$  时, 试料出辊缝后无明显翘曲. 变形区的形状系数决定着变形的渗透性和变形的均匀性, 直接影响轧件出辊缝上翘还是下弯及其程度.

这些研究表明, 导入角对翘曲的影响虽然随其他条件的变化而变化, 但导入角对翘曲的影响不容忽视, 在生产实际中既可以设法消除导入角, 也可以合理利用导入角抵消其他因素的不利影响.

### 3.5 轧辊工况及轧件表面变化

文献[21]和[22]对上下轧辊在水平方向有偏移量对翘曲的影响进行了研究. 文献[21]从导入角着手, 得出①上轧辊向咬钢方向偏移时轧出的板坯上弯; ②上轧辊向出钢方向偏移时轧出的板坯下弯; 根

据这一结论,生产实际中宜通过更换衬板来减小轧辊间的偏移量.文献[22]从咬入的同步性及其对上下表面前滑作用的角度分析了上下轧辊水平偏移量对翘曲的影响,结果与文献[21]的一致.

通常情况下,由于上下轧辊的直径不同或轧件上下表面温度差,轧件与轧辊接触时摩擦条件存在差别,导致作用在上下辊的摩擦力方向不同,快速辊的轧制力矩比慢辊的大,使轧件有向低速辊弯曲的趋势.通常,采用调节辊速比来消除由摩擦引起的翘曲问题.

3.6 电动机特性对板坯弯曲的影响

闫晓强等人<sup>[20]</sup>分析了电动机特性对板坯翘曲的影响:①上下轧辊电动机自然机械特性不同;②上下轧辊电动机磁化曲线不同;③电动机中性点不对称.结果表明,电机特性的不同会造成不同程度和不同方向的翘曲,这类问题可以通过速度控制、参数调节得到解决或抑制.

宋耀华等人<sup>[19]</sup>结合生产实际针对主传动电机对翘曲的影响进行了研究,结果表明:轧机主传动上、下电机的特性是影响钢板表面延伸差、头部翘曲程度的重要因素,空载时速差越大,咬钢瞬间速降差越大,导致翘曲越严重.由于难以通过调节空载时的速差来改善翘曲,而通过改变速比来改善翘曲,起到了显著的效果,同时还可以尽量减小轧制过程中上下轧电机负荷差值,增大轧制过程中补偿负荷不平衡的能力.

江定辉等人<sup>[13]</sup>用“差动咬入”法解决板带翘曲问题,该方法的实质是,根据轧件的工艺条件,改变上下轧辊的启动时间,使轧件在咬入瞬间上下表面受力均匀从而改善翘曲.由于影响翘曲的因素非常多,“差动咬入”法不能完全消除翘曲.

从认识到电机对翘曲有影响再到如何利用这些特性来解决翘曲的问题,这些成果具有明显的针对性,缺少对电机特性和其他工艺因素关联作用与翘曲之间的关系.

4 结论及今后发展方向

从单一因素的研究到交叉试验研究,从轧件和轧辊着手的研究到主传动电机特性对板带头部翘曲的研究,从实验室几何模拟研究到数值模拟研究乃至两者结合的研究,技术工作者进行了大量的研究工作,但仍未提出一个统一的、普遍适用的模型.这些研究中注重解决实际问题的多,深入应用轧制原理分析问题的少;定性的研究多,定量的研究少.最为统一的认识是:翘曲是由不对称轧制引起的,各种工艺因素的变化均会引起轧制过程中变形的不对称性,因此,如何把变形的不均匀性控制在合理范围内成为了研究工作的重点,进而出现了“雪橇轧制”技术.

为更好的解决和利用板带轧制过程中的翘曲,建议从以下两个方面着手,一是从控制的角度,建立数学模型,根据对文献的研究和现场工作经验,笔者认为,前后滑是影响翘曲的直接因素,以影响前后滑的因素为变量,建立数学模型.二是从工艺装备的角度,通过设备的调整来改善咬入条件,尽量抑制轧件因素的变化对翘曲不利的影响,或者有效利用翘头实现雪橇轧制.

参考文献 References

[ 1] Kennedy G E, Slammar F. Turn-up and turn-down in hot rolling[ J]. Iron and Steel Engineer Year Book, 1958(3): 233-241.

[ 2] Tanaka E, Tsonokawa K, Fukada T. Curling and bowing of rolled strips[ J]. Trans. Jpn. Inst. Met., 1963(4): 124-133.

[ 3] Johnson W, Needham G. An experimental study in asymmetric rolling[ J]. Proc. Int. Mech Eng., 1965, 180 (31): 270-275.

[ 4] Pospiech J. A note on the influence of some factors affecting curvature in the flat rolling of strip[ J]. J. Mech. Working Technol, 1987(15): 69-80.

[ 5] Masui T, Kaseda Y, Ando K. Warp control in strip processing plant[ J]. Iron Steel Inst. Jpn. Int., 1991, 31 (3): 262-267.

- [ 6 ] Jeswiet J, Greene P G. Experimental measurement of curl in rolling [ J ]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 84 (3): 202-209.
- [ 7 ] 胡衍生, 程晓茹, 李虎兴, 等. 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, 38.  
HU Yan-sheng, CHENG Xiao-ru, LI Hu-xing et al. Experimental Research of the Head-Down Bending of Plate [ J ]. J. of Wuhan Uni. of Sci. & Tech., 2003, 26(1): 3-4, 38.
- [ 8 ] 刘长瑞, 薛小莲, 王北玲, 等. 入口侧辊板非对称接触轧制时的变形效应[ J ]. 金属成形工艺, 2002, 20(6): 18-20, 29.  
LIU Chang-rui, XUE Xiao-lian, WANG Bei-ling et al. The Deforming Effect of Non-symmetry Contact Rolling in Entry Roll [ J ]. METAL FORMING TECHNOLOGY, 2002, 20(6): 18-20, 29.
- [ 9 ] 庞玉华, 赵永团, 刘长瑞, 等. 板带轧制头部翘曲影响因素的正交实验[ J ]. 有色金属, 2006, 59(4): 60-62, 72.  
PANG Yu-hua, ZHAO Yong-tuan, LIU Chang-rui, et al. Orthogonal Experiment on Influence Factors for Rolling End Curl of Plate and Sheet [ J ]. Nonferrous Metals, 2006, 59(4): 60-62, 72.
- [ 10 ] 李 亮, 杜凤山, 郭振宇, 等. 非对称板带热轧头部翘曲的分析与有限元模拟[ J ]. 冶金设备, 2003, 138(2): 4-7, 31.  
LI Liang, DU Feng-shan, GUO Zhen-yu. Analytical and FEM Simulation of the Front End Bending in Asymmetrical Hot Plate Rolling [ J ]. METALLURGICAL EQUIPMENT, 2003, 138(2): 4-7, 31.
- [ 11 ] 李学通, 杜凤山, 王敏婷, 等. 板材轧制头部翘曲的非线性有限元研究[ J ]. 钢铁研究学报, 2005, 17(5): 44-47.  
LI Xue-tong, DU Feng-shan, WANG Min-ting et al. Nonlinear FEM Study of Head End Curling in Plate Rolling [ J ]. Journal of Iron and Steel Research, 2005, 17(5): 44-47.
- [ 12 ] 李学通, 杜凤山, 王敏婷, 等. 热轧带钢头部翘曲有限元研究[ J ]. 重型机械, 2004(4): 41-44.  
LI Xue-tong, DU Feng-shan, WANG Min-ting, et al. FEM research of strip head curl on hot mill [ J ]. Heavy Machinery, 2004(4): 41-44.
- [ 13 ] 江定辉. 采用“差动咬入法”控制中厚板轧制板头弯曲[ J ]. 武汉科技大学学报: 自然科学版, 2002, 25(3): 237-238.  
JIANG Ding-hui. Control of Head and Bending in Plate Rolling by Differential Bite Method [ J ]. J. of Wuhan Uni. of Sci. & Tech., 2002, 25(3): 237-238.
- [ 14 ] 王玉妹, 徐 海. 中厚板卷轧制过程中翘头原因分析和解决办法[ J ]. 宽厚板, 2006, 12(5): 4-5, 8.  
WANG Yu-shu, XU Hai. Analysis of Causes and Solutions of Ski-up During Medium Plate Coil Rolling [ J ]. WIDE AND HEAVY PLATE, 2006, 12(5): 4-5, 8.
- [ 15 ] 姜远军, 李庆江, 王 刚. 热轧时铝板带头部产生翘曲原因分析及预防[ J ]. 轻合金加工技术, 2001, 29(9): 18-19, 46.  
JING Yuan-jun, LI Qing-jiang, WANG Gang. Prevention and Analysis of Producing Bendings on Ends of Aluminum Plate during Hot Rolling [ J ]. Light Alloy Fabrication Technology, 2001, 29 (9): 18-19, 46.
- [ 16 ] 宋耀华, 张 翔, 王继平, 等. 预防中厚板轧制头部下扣途径探讨[ J ]. 武钢技术, 2000, 38(4): 24-28.  
SONG Yao-hua, ZHANG Xiang, WANG Ji-ping et al. DISCUSSION ON APPROACH TO PREVENTION AGAIN DOWN BUCKING OF HEAD END OF PLATE [ J ]. WISCO TECHNOLOGY, 2000, 38 (4): 24-28.
- [ 17 ] 闫晓强, 季怀忠, 孙复森, 等. 中板轧制过程板坯弯曲生产与抑制之一[ J ]. 北京科技大学学报, 2000, 22(5): 475-477.  
YAN Xiao-qiang, JI Huai-zhong, SUN Fu-sen, SUN Juan, et al. Forming and Curbing of Plate Bending in Jobbing Sheet Rolling Process (1) [ J ]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2000, 22(5): 475-477.
- [ 18 ] 闫晓强, 李玉庆, 孙 娟, 等. 中板轧制过程板坯弯曲生产与抑制之二[ J ]. 北京科技大学学报, 2000, 22(6): 547-550.  
YAN Xiao-qiang, LI Yu-qing, SUN Juan, et al. Forming and Curbing of Plate Bending in Jobbing Sheet Rolling Process (2) [ J ]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2000, 22(6): 547-550.
- [ 19 ] 闫晓强, 李玉庆, 任天宝, 等. 中板轧制过程板坯弯曲生产与抑制之三[ J ]. 北京科技大学学报, 2001, 23(1): 75-

77.

YAN Xiao-qiang, LI Yu-qing, REN Tian-bao, et al. Forming and Curbing of Plate Bending in Jobbing Sheet Rolling Process(3) [ J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2001, 23(1): 75-77.

[ 20] 闫晓强,袁晓江,周 杰. 中板轧制过程板坯弯曲生产与抑制之四 [ J]. 北京科技大学学报, 2001, 23(2): 146-148.

YAN Xiao-qiang, YAN Xiao-jiang, ZHOU Jie. Forming and Curbing of Plate Bending in Jobbing Sheet Rolling Process (4) [ J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2001, 23(2): 146-148.

[ 21] 闫晓强,张扶民,单为春,等. 中板轧制过程板坯弯曲生产与抑制之五 [ J]. 北京科技大学学报, 2001, 23(5): 463-465.

YAN Xiao-qiang, ZHANG Fu-min, SHAN Wei-chun, et al. Forming and Curbing of Plate Bending in Jobbing Sheet Rolling Process (5)[ J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2001, 23(5): 463-465.

[ 22] 胡衍生,程晓茹,李虎兴,等. 中厚板制头部弯曲机理的探讨[ J]. 钢铁, 2003, 39(6): 28-31.

HU Yan-sheng, CHENG Xiao-ru, LI Hu-xing, et al. DISCUSSION ON FRONT ENDBENDING DURING PLATE ROLLING [ J]. IRON AND STEEL, 2003, 39(6): 28-31.

[ 23] 杨 澄. 带钢翘头(扣头)原因分析和改进 [ C] //2008 年全国轧钢生产技术会议文集, 大连: 232-236.

YANG Cheng. ANALYSIS OF THE REASONS FOR HEAD WARPING AND BENDING AND THE IMPROVING [ C] //The proceedings of 2008 nationwide rolling technology meeting, Dalian: 232-236.

[ 24] 曾庆亮,赵济秀,马建忠,等. 雪橇轧制和负荷平衡特性在中板轧机上的实现 [ J]. 轧钢, 2001, 18(4): 53-54.

ZENG Qing-liang, ZHAO Ji-xiu, MA Jian-zhong, et al. Realization of the sledge rolling and the load balance in the plate mill [ J]. STEEL ROLLING, 2001, 18(4): 53-54.

[ 25] 张清东,孙 林,陈先霖,等. 2800 四辊轧机板形控制功能完善及雪橇板控制参数优化 [ J]. 冶金设备, 2005, 149 (1): 10-13.

ZHANG Qing-dong, SUN lin, CHEN Xian-lin, et al. Optimization and Improvement of Control Performance of Plate Shape and Curling on a 2800mm 4- high Reversing Plate Mill [ J]. METALLURGICAL EQUIPMENT, 2005, 149 (1): 10-13.

Actuality of the head warping of plate and strip

WANG Jing-zhong

(School of Metallurgical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract** Aiming at the head warping during plate rolling, a great deal experimental work and locale-track work were carried out by scholars and locale technological worker, and some results were obtained. With the measurement method, study methods and the main factors which affect heat warp, the previous documents of head warp were summarized and put forward in this area.

**Key words:** medium plate; rolling; head warping; effect factors