包钢 CSP 热轧板形控制研究*

任东升,张 荣,张 玮

(内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 带钢板形作为板带材的重要质量指标,一直受到用户的高度关注。文章简要介绍了包钢 CSP 生产线的工艺特点,结合现场的生产特点,从影响辊缝形状为主要切入点分析了影响带钢板形的因素,另外还加入其它影响带钢最终板形的影响因素,最后根据原因分析制定符合现场需求的措施,使得板形控制得到明显改善。

关键词: CSP 生产线、CVC 轧机、板形控制

中图分类号: TG335.5^{+}5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2017)05 - 0037 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.05.011

Study on Strip Shape Control of CSP Hot Rolling in Baotou Steel

REN Dong - sheng, ZHANG Rong, ZHANG Wei

(*CSP Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: The shape of strip steel, as an important quality index of plate and strip, has been highly concerned by users. In the paper, it is briefly introduced the process characteristics of CSP production line in Baotou Steel, combined with on - site production characteristics, and factors affecting the shape of strip steel are analyzed from the impact of roll gap shape as the main entry point. In addition, other factors affecting the final shape of strip steel are added. Finally, according to the cause analysis, measures conforming to the site requirements are worked out, and the shape control is improved obviously.

Key words: CSP production line; CVC mill; shape control

近年来,随着钢铁行业利润的不断压缩,高附加值、高质量、高技术难度的产品成为抢占市场份额实现增效的有力保障,同时为了适应国家供给侧结构性改革的举措,提升产品内在质量成为企业首要解决的问题。板形作为板带材重要的质量指标之一,成为用户重点关注的指标。因此对带钢板形的深入研究及有效控制成为提升企业竞争力,建立产品良好形象的必要措施。本文依托包钢 CSP 生产线特点,对影响板形控制的因素进行深入研究,并制定有效的措施,对带钢板形的良好控制起到了积极的作用。

1 带钢板形控制原理

板、带材横向厚差是指沿宽度方向的厚度差,它决定于板、带材轧后的断面形状,或轧制时的实际辊缝形状。在无张力或微张力轧制时,为了保证轧件运动的稳定性,使操作稳定可靠,轧件不致跑偏和甩尾,就要求轧制时实际辊缝稍具凸形,亦即要有一定的“中厚量”。板形是指板、带材的平直度,即是指浪形,瓢曲或旁弯的有无及程度而言。在来料板形良好的前提下,它决定于延伸率沿宽度方向是否相等[1]。为了保证板形良好,必须遵守均匀延伸或所

* 收稿日期: 2017 - 06 - 30

作者简介: 任东升(1979 -),男,江苏省沛县人,工程师,现从事轧钢生产管理工作。

谓“板凸度一定”的原则去确定各道次的压下量。

板带厚度愈小，对不均匀变形的敏感性就愈大。故为了保证良好的板形，就必须按均匀变形或板凸度一定原则，使其横断面各点延伸率或压缩率基本相等。

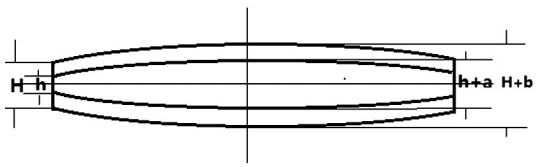


图1 轧制前后板带厚度变化

如图1所示，设轧制前带钢边缘的厚度等于 H，而中间厚度等于 $H+b$，即轧前厚度差或板凸度为 b；轧制后钢板相应横断面上的厚度分别为 h 和 $h+a$，即轧后厚度差或板凸度量为 a，而 b/H 及 a/h 则为板凸度。钢板沿宽度上压缩率相等的条件，可以写成钢板边缘和中部延伸率 λ 相等的条件：

$$\frac{H+b}{h+a}=\frac{H}{h}=\lambda \quad [1]$$

由此可得：

$$\frac{b}{a}=\frac{H}{h}=\lambda;\ \frac{b}{H}=\frac{a}{h}=\cdots=\frac{a_z}{h_z}=\text{板凸度}$$

$$a=\frac{h}{H}b=\frac{a_z}{h_z}h$$

其中：a_z、h_z 为成品板的厚度差及厚度。

由此可见，要想满足均匀变形的条件，保证板形良好，就必须使板带的轧前的厚度差 b 与轧后的厚度差 a 之比等于延伸率 λ。或者轧前板凸度（b/H）等于轧后板凸度（a/h），即板凸度保持一定[1]。

2 板形影响因素分析

在实际生产中，由于与轧件直接接触的是轧辊，所以任何导致工作辊辊缝形状变化的因素都将作用到带刚上，并引起带钢板形的变化，另外轧件自身因素也将影响最终带钢的板形，如来料的成分、楔形及目标成品数据等。这一些综合数据通过板形模型计算，再加上长期自适应与短期自适应以及人工干预等最终决定了带钢出口的板形。带钢板形控制涉及到诸多参数的运算，这里重点研究关键参数的影响过程。

2.1 工作辊偏移

为了轧出高精度和良好板形的产品，从轧机设备的角度看，除了依靠其四辊轧机辊系结构上的特点来提高轧机的强度与刚度外，严格保持工作辊在轧制时的正确位置是绝对必要的。即工作辊在整个轧制过程中不产生垂直方向的窜动和水平方向上的移动、交叉歪斜[2]。轧辊的压下装置用来保证前者的要求，而满足后者的要求条件是工作辊在水平方向应受有一定数值、方向不变的约束力作用。

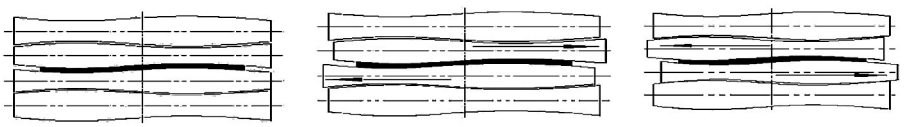
由于装配原因，各零件间不可避免的存在着间隙，轧制过程中工作辊如无固定的侧向水平力约束，将处于不稳定的状态，从而影响到带钢板形及其他质量问题的产生。在具体确定偏移量的数值时，应考虑工作辊水平挠度对板形的影响是决定偏移量首要因素，由此作为最大水平力的限制条件。现场实际生产中常按经验选取偏移量值，即：

$$e=e_0+(3\sim5)\ \text{mm} \quad [2]$$

其中：e_0 为水平力为零时工作辊中心与支撑辊中心的距离。

2.2 轧辊横移系统（CVC）

CVC 的含义是连续可变凸度，辊身曲线呈 S 形，上下工作辊沿相反方向的对称移动，便可得到连续变化的不同凸度的辊缝形状，如图2所示。



（a）零凸度 （b）正凸度 （c）负凸度

图2 CVC 窜动图

如图2（a）所示，上下轧辊没有相对的移动，此时轧辊的凸度为零，当上辊向右，下辊向左移动时相当于轧辊凸度增加，CVC 为正值窜动，辊缝中间薄两边厚如图2（b）所示，反之如图2（c）所示 CVC 为负值窜动，辊缝中间厚两边薄，CVC 横移液压缸移动距离为 ±100 mm。由此可见随着 CVC 的窜动，将得到一系列不同的辊缝形状，将直接影响到轧制后产品的板形情况。

2.3 液压弯辊

液压弯辊技术一般分为两种，一种是弯曲工作

辊的方法，一种是弯曲支撑辊的方法。而弯曲工作辊又可分为两种：①弯辊力加在两个工作辊之间；②弯辊力加在工作辊与支撑辊之间。包钢 CSP 属于弯曲工作辊方法当中的①。液压弯辊不同于轧辊横移系统（CVC），它可以适时的对板形进行调整，是一种无滞后的调整方式，由检测设备的反馈值直接作用到在线调整。液压弯辊对带钢的中浪、双边浪的调整起到决定性的作用。

CVC 系统与弯辊系统结合使用，以获得所要求的板凸度和平直度。CVC 的窜辊形成轧制时的基础辊缝形状，轧制过程中再通过咬入后的实际情况由弯辊进行补偿，一个为基础控制一个为适时调整，这样可以全面的对辊缝进行调整，保证了带钢的板形控制。

2.4　轧辊因素

轧制过程中，轧辊作为与轧件的直接接触者，将直接关系到产品的最终板形。轧辊对板形的影响因素包括轧辊的凸度、弹性压扁、轧辊热凸度、轧辊的磨损等。任何引起轧辊形状的变形都将影响到辊缝形状从而影响产品的最终板形。

工作辊的弹性压扁一方面来自于工作辊与支撑辊之间，另一方面来自于工作辊与轧件之间，由于支撑辊与工作辊并非是一个刚性体，二者接触的区域必然发生弹性压扁，使工作辊的凸度发生变化，而变形区内的工作辊弹性压扁较为复杂。可以简单地概括为轧件宽度与轧辊接触面积的比值将决定轧辊的实际凸度，而最终影响辊缝形状；高温的轧件在塑性变形时必然引起轧辊的温度升高，热量一部分被冷却水带走，另一部分就滞留在轧辊内，通过不断地积累使轧辊形成一定形状的热凸度。实践表明轧制规格越薄，轧辊热凸度对板形的影响越敏感；轧辊的磨损对板形的影响也很大，随着轧制公里数的增加轧辊的磨损增加，轧辊原始凸度逐渐与实际不符，辊缝的控制精度下降，必然导致带钢平直度、凸度的变化。

3　板形控制措施

3.1　优化辊身曲线提高板形控制能力

在整个板形控制过程中，CVC 横移对板凸度调整的能力较大，而辊身曲线对整个辊缝形状起着决定的作用。实践表明，在轧制过程中上游机架对整个轧制过程中的凸度控制作用较大，而平直度控制主要由下游机架完成。针对包钢 CSP 铸坯的凸度特点，通过对 CVC 辊型的重新调整，使得 F1—F4 机架和 F5—F7 机架上使用的 CVC 曲线不同，调节的程度与重点也不同。F6—F7 从 Min. crown －0.450 mm；Max. crown 0.30 mm 调节到 Min. crown －0.500 mm；Max. crown 0.20 mm 使下游轧机对板形的控制能力大大加强，凸度调节变化如图 3 所示。

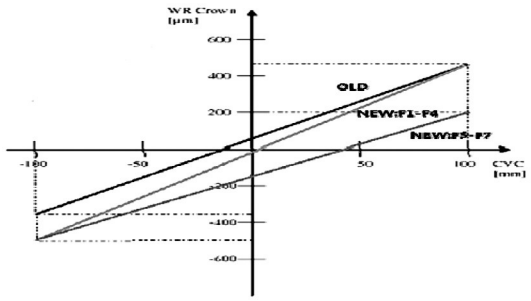


图 3　新旧凸度调节对比

确定轧辊凸度调节范围后，将轧辊凸度转化为磨床数据对轧辊进行磨削，CVC 辊型由一元高次多项式方程自动生成。

3.2　液压弯辊的合理使用

在实际生产当中，CVC 与液压弯辊的有效结合才能较好的控制带钢板形，CVC 在轧制前通过模型计算已经预先得到窜动量，在轧制过程中保持不动，而弯辊是动态调整，以补偿辊缝，获得良好板形。轧制过程中产生中浪时，可以手动降低弯辊力，产生边浪时增加弯辊力可以保证带钢板形。也可以根据上一卷的轧制情况结合当时的 CVC 窜动量，来提前调整弯辊力。手动调整的情况将会被计算机采集，板形控制系统根据采集的数值在线调整，为下一卷的轧制优化进行参数设置。

3.3　轧辊的有效利用

在辊径的选取上应该遵守大辊靠前的原则，特别是在轧制较薄规格时，由于存在咬入打滑的可能，因此 F1 尽量采用大辊径轧辊，实践证明大辊靠前的原则可以使轧制力得到较好分配，轧制力呈梯度减小会有利于轧制的稳定，给良好板形控制创造条件。

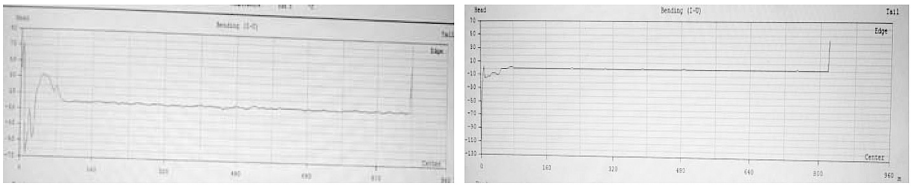
新上线的轧辊必须按照合理的烫辊制度，建立良好的氧化膜，以保证轧制周期内轧辊状态的良好。轧辊的热凸度也是影响带钢板形的关键因素。轧制穿带前，工作辊热凸度被预先考虑，在进行轧制的过程中，热凸度隔数秒更新一次，根据适时数据参与板形控制，并配比冷却水量，因此轧辊冷却系统的有效工作同样显得至关重要。

3.4 其他辅助手段

板坯的加热温度将直接影响轧制力的波动，特别是头尾温差的存在对板形及轧制稳定性的影响较大。包钢CSP生产线加热炉长度与其他钢厂相比较短，板坯加热时间不是很充足，特别是尾部距加速点近加热时间更短，这就导致尾部温度低影响板形及轧制稳定性。根据实际需求我们将加热段烧嘴进行改造加强尾部的加热温度，缩小头尾温差改善板形。

层冷起浪也是导致板形不良的影响因素，在实际生产中层冷的横喷水很关键，它可以将层流在带钢表面的积水及时吹扫，防止因冷却不均导致的带钢热应力变形。另外上下水梁的堵塞也将导致冷却不均，最终表现出板形不良的缺陷，因此在生产中对层冷的良好维护与管理也是控制板形的重要手段。

经过采取一些列措施，包钢CSP的板形控制得到明显改善。图4为SS400 2.75 mm×1 500 mm带钢板形曲线的前后对比图。



(a) 采取措施前　　(b) 采取措施后

图4　采取措施前后板形对比图

4 结论

(1) 工作辊偏移、轧辊横移系统(CVC)、液压弯辊，成为控制板形的硬性条件和主要因素，在实际生产中需要配合使用才能有效控制带钢板形；

(2) 轧辊在板形控制当中起着决定性的作用，轧辊的辊身曲线、热凸度、轧辊磨损等都成为影响带钢板形的关键因素，在实际生产中一方面从轧辊入手解决自身问题包括冷却系统的维护管理、另一方面还需要从轧制计划的编排上入手合理制定轧制顺序；

(3) 其他辅助手段诸如从影响轧制力因素、控制来料精度方面也是控制板形的关键，另外层冷状态的良好管理与维护也是成为影响带钢最终板形的重要因素。

参 考 文 献

[1] 王廷溥 齐克敏．金属塑性加工学——轧制理论与工艺 [M]．北京：冶金工艺出版社，2001.

[2] 熊及滋．压力加工设备 [M]．北京：冶金工艺出版社，1995.

欢迎订阅《包钢科技》杂志

邮发代号：16－151　　**定价：**90元/年

地　　址：内蒙古包头市昆区河西工业园区包钢技术中心《包钢科技》编辑部

邮　　编：014010

联系电话：0472－2186065　　0472－2183081

联 系 人：于　慧

《包钢科技》编辑部