

· 生产实践 ·

工作辊冷却及热凸度控制技术

罗祯伟

(韶关钢铁集团有限公司)

摘 要 良好的工作辊冷却及热凸度控制是降低工作辊消耗、控制板型、提高生产收得率的有效措施。通过控制冷却,可以改善工作辊冷却效果,防止工作辊出现严重热裂纹,减少工作辊磨损进而减少换辊次数,避免不良板形的产生。本文介绍了工作辊的温度模型、磨损模型及热凸度控制模型,并对国外两种典型的工作辊冷却及热凸度控制技术进行了分析。

关键词 工作辊 控制冷却 热凸度控制

Work Roll Cooling and Thermal Crown Control Technology

Luo Zhenwei

(Shaoguan Iron and Steel Group Co. Ltd.)

Abstract Excellent work roll cooling and thermal crown control are the effective measures for reducing work roll consumption, controlling plate shape and enhancing production yield. Work roll cooling and thermal crown control can improve roll cooling effect, prevent occurrence of severe thermal cracks on work roll, reduce roll wear and roll changing frequency and avoid bad plate profile. This article describes the work roll temperature model, roll wear model and roll thermal crown model and makes an analysis of two kinds of typical work roll cooling and thermal crown control technology abroad.

Keywords Work roll, Controlled cooling, Thermal crown control

1 工作辊冷却及热凸度控制技术的作用

良好的工作辊冷却及热凸度控制是降低工作辊消耗、控制板型、提高生产收得率的有效措施。影响工作辊寿命的因素有:磨损、热裂纹。工作辊的磨损主要与工作辊的材料及表面温度有关,而热裂纹主要与工作辊冷却不均、局部急冷、使用不当、设计不合理等因素有关。通过控制冷却,改善辊子冷却效果,防止工作辊出现严重热裂纹,减少工作辊磨损进而减少换辊次数。在一个换辊周期里,使用初期,中部温度高、两端温度低,相应在工作辊的辊身方向上产生不同的凸度,板形易形成中浪;在后期,中部的磨损比边部大,板形就易形成边浪。辊型决定板形,通过控制冷却,可以控制工作辊热凸度,避免不良板形的产生。

2 工作辊冷却及热凸度控制的数学模型

2.1 工作辊的温度模型

在轧制过程中,工作辊所产生的热流量主要取决于:1)接触产生的传导热,2)相对滑动产生的摩擦热,3)轧件变形产生的变形热。工作辊受850~1050℃的来料轧件热传导接触作用,其表层瞬时温度可达到400℃以上。在径向,热流从工作辊外层向中心传导;在轴向,热流从中部向两端传导。较薄的辊面层在回火的作用下使组织发生变化形成第一种温度梯度;离开变形区的辊面将热量传至轧辊内部并辐热至空间,再在冷却水的作用下带走热量,使该区域的辊面温度急剧降到40~50℃,形成第二种温度梯度;之后受轧辊内部的逆向热传导的影响,使该辊面温度又回到80~90℃。刚投入使用时(换新辊或停机较长时间),工作辊是冷的;开轧以后,温度逐渐增高;当轧完20~30块板后,工作辊温度达到一个稳态平均值。

通常把工作辊分解成圆柱状辊芯及管状外层,管状外层的壁厚取决于工作辊的材质和转速。计算每转的热平衡时,只考虑外层的温度波动及辊芯由于热量不断更新引起的温度变化。影响工作辊冷却效率的参数有:1)喷嘴压力 p ,2)喷嘴流量 q ,3)喷射角度 β 4)轧制速度 v ,5)喷射高度 d ,6)工作辊表面温度 T_s ,7)散射角度。它们与冷却速率的基本关系是:压力、流量越大,冷却效率越高;工作辊速度、喷射角、喷射高度越大,冷却效率越低。工作辊表面温度低于某个值时,冷却效率随温度增大而增大;高于该值后,冷却效率随温度增大反而减小。

工作辊的传热系数 h 可用下式表达^[1]:

$$h = h_0 \times f_1(p) \times f_2(q) \times f_3(d) \times f_4(\beta) \times f_5(T_s) \quad (1)$$

式中: h_0 ——初始条件下的传热系数值;

f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 , ——各变量冷却效率因子。

对于已有的冷却集管,通常喷嘴压力、喷射高度、散射角度是不能改变的,而轧制速度与轧制工艺有关,故要改变工作辊的冷却效率只有通过改变喷嘴流量和喷射角度两种途径。

2.2 工作辊的磨损模型

影响工作辊磨损的两个因素:摩擦磨损和热裂纹。工作辊在交替加热与冷却作用下,逐渐使辊面形成热网裂,辊面裂纹处发生的强烈氧化促使裂纹扩展,轧制过程的挤压力和交变应力作用,又使裂纹进一步扩展渗进氧化铁屑和冷却水,渗入的冷却水在轧制过程中产生的高压蒸汽的崩破作用及楔状的氧化铁屑使辊面形成大裂纹并造成底部微空隙开裂。不同材料的工作辊磨损现象不一样:球墨铸铁工作辊,热疲劳裂纹是主要的;而HSS工作辊,磨擦磨损是主要的。

摩擦磨损与摩擦力成正比,它与轧制力、轧制速度、接触宽度等因素有关。数学表达式如下^[1]:

$$w_{\delta} = k \times \left(\frac{F_{\delta}}{\delta \times l_{\delta}} \right)^a \times \left(r_{\delta} \times l_{\delta} \right)^b \times \left(\frac{L \times l_{\delta}}{\pi D} \right) \quad (2)$$

式中: a ——不均匀轧制力的修正系数;

b ——沿着辊身方向不均匀弧形接触

的修正系数;

k ——总的修正系数;

δ ——辊身方向有限元长度尺寸;

l_{δ} ——该处的接触长度;

F_{δ} ——单位宽度上的轧制力;

r_{δ} ——该道次的压下量;

L ——钢板长度;

D ——工作辊直径;

w_{δ} ——该处工作辊磨损量。

方程(2)的计算精度与工作辊的窜辊量、氧化铁皮的厚度和硬度、换辊周期内允许的最大磨损值及工作辊咬钢处的润滑条件等因素有关。

2.3 工作辊的热凸度控制模型

工作辊的热凸度和磨损是影响钢板板形和平直度的两个主要因素,它们的作用正好相反。温度升高使工作辊的凸度值增加,而磨损使工作辊的凸度值减小。工作辊的磨损量是可以预测的,而热凸度值取决于沿辊身方向平均温度分配及梯度变化。在轧制时,瞬时的热凸度值是不容易检测的,只能通过合适的在线模型来计算,然后根据实测的数据进行校正。

工作辊的热凸度模型是一个典型的、非稳定的、实心圆柱体热传导模型。其数学表达式如下^[1]:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (3)$$

利用有限元法,把工作辊分成若干个矩形区域,根据工作辊的温度模型及磨损模型可以计算每个矩形区域的凸度值,从而确定冷却集管的几何尺寸及调节参数值。

冷却集管的安装位置、喷嘴分布、喷射角、散射角、冷却水量等参数一般如下确定:

1) 喷射集管的安装位置尽可能不要与其它机械部件发生干涉。

2) 使用离线热凸度模型,根据当前的热凸度值,为下一道次或空转时确定一个总的热凸度控制策略。

3) 离线的工作辊温度与磨损模型应适用于喷射集管的每个位置,以便:

(1) 对于一个给定的流量,通过优化喷射角使辊面的冷却效率最大;

(2) 给定工作辊的目标温度值, 使辊面的冷却流量最小;

(3) 为每组集管选择合适的最大流量值;

(4) 根据轧制节奏选择最适宜的流量调节值, 使工作辊的热应力磨损最小。

3 典型的工作辊冷却及热凸度控制系统简介

3.1 达涅利专利技术的工作辊冷却和 RTC 系统

3.1.1 基本结构

图 1 是达涅利专利技术的工作辊冷却和 RTC(工作辊热凸度)控制系统。每条工作辊有 2 个旋转的 RTC 集管和 2 个固定的普通集管。RTC 集管的旋转由液压缸操作, 旋转的角度约为 30° 。RTC 集管喷嘴的安装位置呈螺旋线分布, 顶点在集管的中部, 喷嘴的喷射角沿着辊身方向从中部向两端相应增大或减小, 从而改变喷嘴的冷却效率(如图 2)。RTC 系统的操作原理基于这样的事实: 辊子的冷却效率取决于喷射角度。在图示位置, RTC 集管向上旋转, 中部有最小的喷射角最大的冷却效率, 两端有最大的喷射角最小的冷却效率。固定集管分成三个冷却区域: 中部及两端, 中部的冷却水量固定, 而两端的冷却水量可根据钢板的宽度调整, 如图 3。

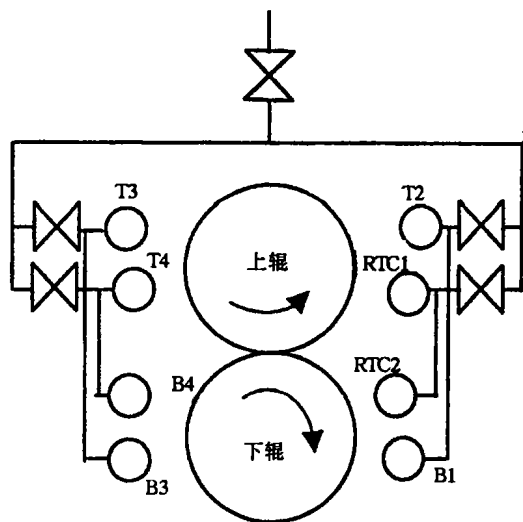


图 1 冷却系统

3.1.2 RTC 集管的控制策略

基本的控制策略——如图 4。在液压缸作用下, RTC 集管周期性地在两个极限位置之间转动, 转动周期为 t_c , 极限位置的驻留时间为 t_o 。通

过改变极限位置的驻留时间 t_r , 可以获得不同的冷却状态。液压缸采用比例阀速度控制, 冷却水量由阀门控制。

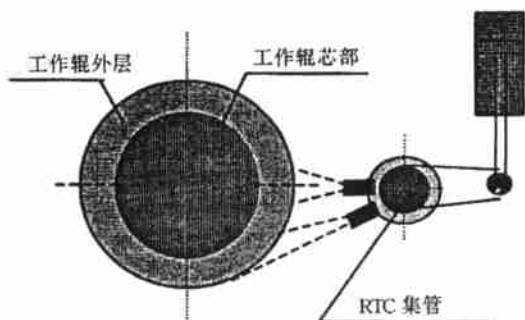


图 2 RTC 集管和喷射状态

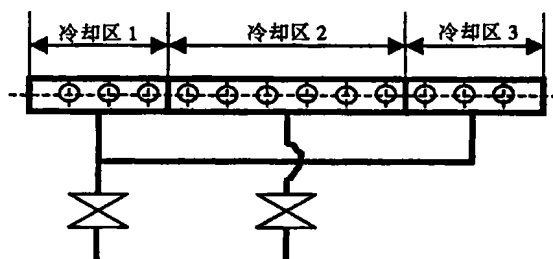


图 3 基本冷却集管

高级的控制策略——如图 5。RTC 集管有 5 个驻留位置, 通过线性位移传感器位置反馈闭环控制。角度位置及驻留时间可连续变化, 从而获得连续的热凸度控制。同时, RTC 控制系统还可补偿弯辊控制系统的不足。当弯辊力达到饱和时, 改变驻留时间或角度位置值, 从而降低所需的弯辊力。

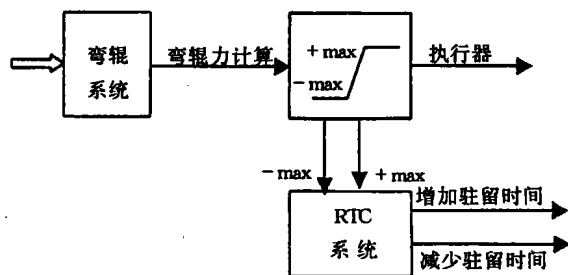


图 4 RTC 系统的基本控制策略

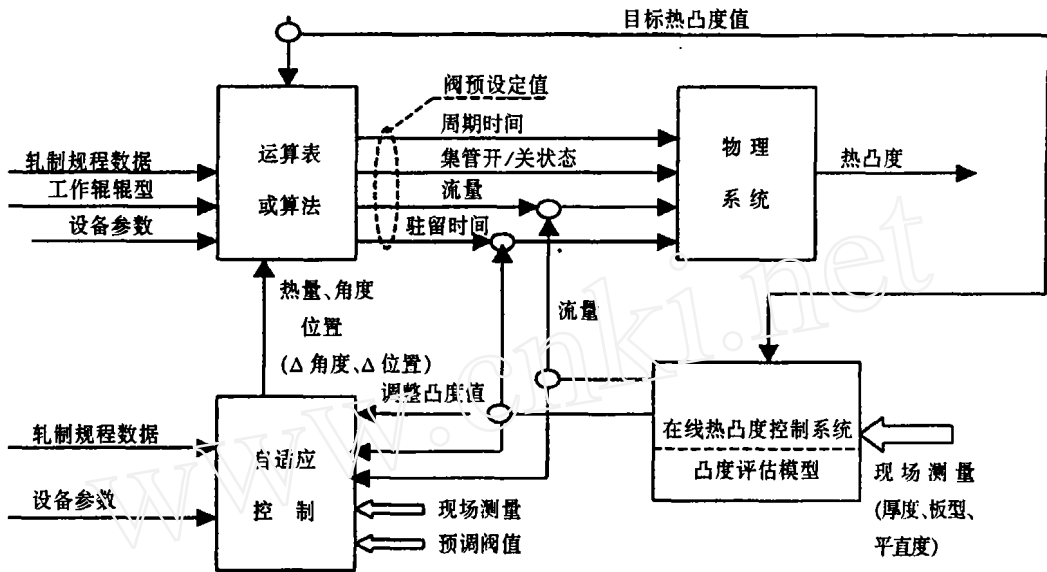


图5 高级的RTC控制策略

3.2 奥钢联的工作辊动态冷却及热凸度控制技术

3.2.1 基本结构 如图6,工作辊冷却集管分成三个不同冷却段,可以单独进行开、关或调节。

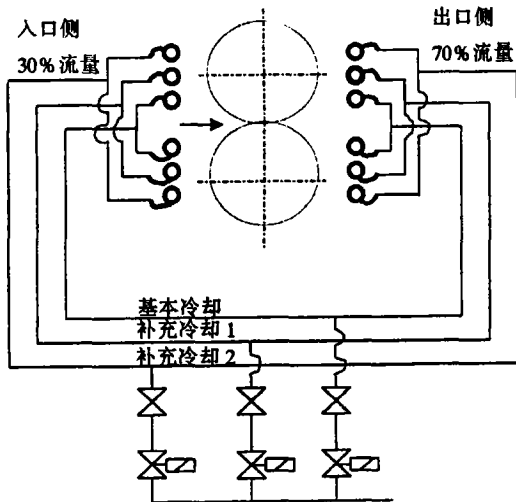


图6 奥钢联动态冷却系统

1) 基本冷却段 基本冷却段由一组沿冷却集管长度方向设置的其间距经过巧妙设计的喷嘴构成。一般而言,该冷却段一直保持开启状态,沿辊身长度方向对工作辊进行恒定速率的冷却。

2) 补充冷却1 该冷却段由一组中心喷嘴构成,只对辊身的中间段进行冷却,从而形成一条凸形的冷却曲线。

3) 补充冷却2 该冷却段通常由两组对称的

喷嘴构成,对辊身的两侧(不包括中心段)进行冷却,从而形成一条凹的冷却曲线。

3.2.2 控制策略

改变补充冷却1段或2段的冷却水量百分比,即可获得不同的热凸度辊型。当所有集管冷却段使用100%计算水量时,即可达到最大的冷却速率。此外,还可对入口和出口侧的集管进行单独控制,以实现工作辊的最佳冷却。奥钢联的经验表明:在入口侧使用30%左右的水量,出口侧使用70%左右的水量,这是最有效、最为经济的冷却方案。使用流量调节阀,可以修改以前计算的目标水量。通过调节三个集管段的冷却水量,可在辊子表面实施各种冷却方式。

4 结论

控制冷却可以改善工作辊冷却效果,减少工作辊磨损;改善工作辊热凸度控制效果,提高轧制表的灵活性,改善钢板的板形及平直度。达涅利的RTC控制技术控制精度高,但结构复杂;奥钢联的动态冷却系统结构简单,实用性较强。对于14mm以下的薄板,达涅利的RTC控制技术的控制效果较为突出。

参考文献

- 1 Enrico Crisa, Estore Donini, Massimo rotti, "Advanced Work Roll Cooling and Thermal Crown Control in New Algonma Steel D SPC Finishing Mill", Daniel I & C. Officine Meccaniche S. P. A. Flat product Division.

收稿日期: 2002—12—15