

# 热轧带钢卷取温度控制及其影响因素

唐 勤<sup>1</sup>, 董欣欣<sup>2</sup>

(1. 首钢京唐钢铁公司 热轧部; 河北 唐山 063000; 2. 河北钢铁集团 唐山钢铁公司 技术中心, 河北 唐山 063000)

**摘要:**以首钢京唐钢铁公司 2 250 mm 热连轧机为例, 介绍了带钢卷取温度控制系统的组成与控制功能, 分析了生产过程中卷取温度出现异常的原因、处理方法及预防措施。

**关键词:**热轧; 带钢; 卷取温度; 控制; 因素

中图分类号: TG335. 11

文献标识码: B

文章编号: 1006 - 5008(2010)05 - 0032 - 03

## CONTROL OF COILING TEMPERATURE OF HOT - ROLLED STRIP AND ITS INFLUENCE FACTORS ANALYSIS

Tang Qin<sup>1</sup>, Dong Xinxin<sup>2</sup>

(1. Hot - Rolling Division, Shougang Jingtang Iron and Steel Company, Tangshan, Hebei, 063000; 2. Technique Center, Tangshan Iron and Steel Company, Hebei Iron and Steel Group, 063000)

**Abstract:** Taking 2250 mm continuous hot - rolling mill as an example, the composition and function of coiling temperature control system of strip steel are introduced, the reason for unusual temperature analyzed, its treatment and precaution introduced.

**Key Words:** hot - rolling; strip steel; coiling temperature; control; factor

### 1 前言

卷取温度是影响产品性能的主要因素之一,也是影响卷取工序作业情况的关键因素之一。在正常生产中,卷取温度有时出现超出卷取目标温度范围的现象,这样不仅会影响产品性能,也会影响卷取作业,甚至出现打滑、堆钢事故。因此,生产中必须要严格控制卷取温度范围,首钢京唐钢铁公司 2 250 mm 热轧机带钢的卷取温度主要通过对精轧机后带钢层流冷却系统的控制来实现。

### 2 层流冷却系统

层流冷却的目的是把热轧带钢从终轧温度冷却到规定的卷取温度,由集水箱、进水套管以及虹吸出水管组成。从控制角度出发,要求层流冷却水流量大,压力低且平稳(压力 70 kPa)。大量虹吸管从水箱中吸出冷却水,在无压力情况下落到从精轧机出来的高温终轧带钢表面,大流量的低压水与带钢平

稳接触,不会产生很大的冲击和反溅。由于带钢的运动带动水流,形成一个相对平稳的层流,加上带钢两侧装有的侧喷使水流在带钢的横向均匀性得到满足。

对层流冷却系统的控制主要是控制喷水阀(气动薄膜阀)的关闭。2 250 mm 轧机层流冷却系统有效冷却长度为 103 360 mm、宽度 2 200 mm;整个冷却区由 96 个上喷水集管和 96 个下喷水集管组成,分成 22 个冷却段,其中 1 ~ 20 号冷却段为主冷区域、21 ~ 22 号冷却段为精调区域,每个冷却段由 8 个上喷水集管和 8 个下喷水集管组成,设计的最大理论水量为 17 700 m<sup>3</sup>/h,每个精调区的水量为一个主冷区水量的一半。经层流冷却水调整后,喷水集管流量基本达到理论要求。

在层流冷却区还有侧向喷水系统、辊道冷却喷水系统。侧向喷水的主要作用是吹走带钢表面的冷却水,以提高层流冷却效果,每隔 5 m 布置 1 个侧喷水嘴,每个侧喷水嘴由 1 个喷水阀控制。

在层流冷却入口及中后部设有测温仪;在层流冷却尾部设有卷取测温仪,3 个测温仪检测的实际

收稿日期: 2010 - 06 - 31

作者简介: 唐勤(1977 - ),男,2001 年毕业于河北理工学院金属压力加工专业,在首钢京唐钢铁公司工作, E - mail: tangqinutsp@sina.com

带钢温度由仪表微机传递给上级计算机。

### 3 卷取温度控制原理

#### 3.1 数学模型

层流冷却数学模型直接影响到卷取温度的控制精度,主要包括空气冷却模型和喷水冷却模型两部分。温度模型的基本原理是能量守恒定律,即对于每一个节点,辐射、对流和传导热量的总和等于内部能量的变化率,它们之间的关系如下:

$$\sum Q_i = \frac{dU_i}{dt}$$

卷取温度模型由带钢与周围环境之间的辐射、与空气的对流、与冷却水的传导、与辊道的传导以及相变潜热五部分组成,如图1所示。

#### 3.2 层流冷却的温度控制工艺与过程

层流冷却的温度控制是以精轧机出口处的带钢

厚度、速度、温度、工艺所确定的冷却曲线,卷取过程中的加速度,冷却水的温度等条件为已知条件或初始条件,以阀门的个数、阀门的位置、喷水模式等作为控制目标量,实现实际卷取温度尽可能的接近工艺要求目标卷取温度的控制目标,热轧带钢层流冷却区域温度控制结构,如图2所示。

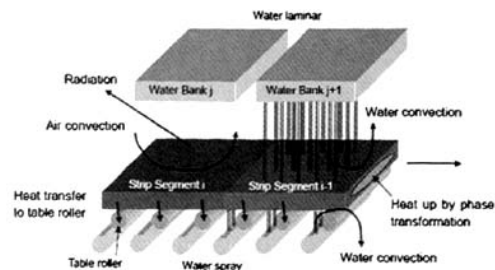


图1 卷取温度控制模型示意图

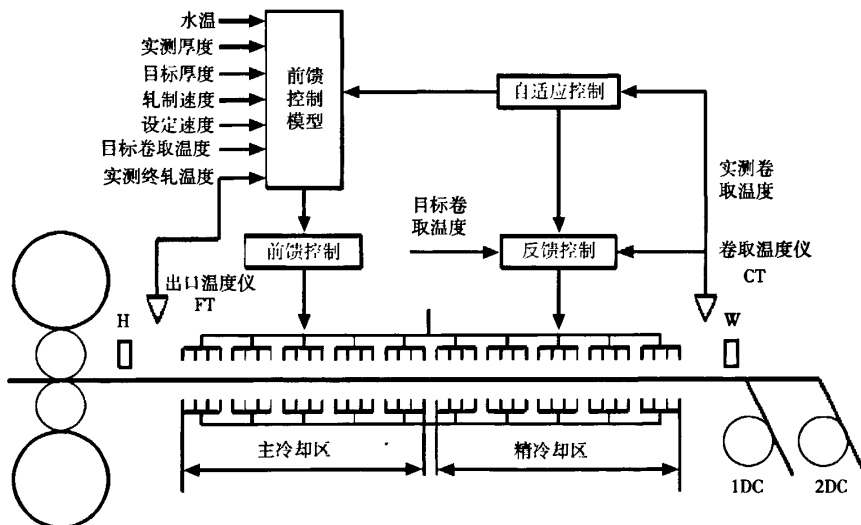


图2 热轧带钢层流冷却区域温度控制结构模型

带钢进入冷却区前,选定一个计算带钢温度的模型,该模型能反映喷水量(阀门开启个数)、终轧温度、速度以及厚度与带钢温度之间的关系,依据此数学模型计算出控制量的大小。卷取温度测温仪安装在冷却输出辊道冷却区之后位置,距离较远时易导致检测的信号有滞后的问题,加上计算机输出控制到执行器的时间滞后以及执行器的反应时间造成整个系统的实际滞后。因此,温度控制模型需要根据带钢的终轧出口实测温度、速度、厚度计算出使卷取温度到达目标值所需的喷水区长(阀门开启个数),这个主要由前馈控制完成。但是影响卷取温度的因素多且之间相互关联,包括带钢的材质、厚度、速度、冷却水水量、水压、水温以及水流的流动状

态,终轧温度、热传导效果、层流冷却设备的状态等等。其中速度等具有很强的时变性,对以数学模型为基础的前馈控制产生一定的影响。此外,还存在不可控的随机干扰,如带钢终轧温度和厚度的波动;不稳定的水流量以及测量的误差等。为提高控制精度,需要采用反馈控制来弥补前馈控制的不足,其中前馈控制是主体,反馈控制是对应的补充。

### 4 卷取温度超出目标范围的原因及解决措施

#### 4.1 计算机设定问题

(1)板坯加热不均匀。精轧温度控制(FDT)曲线成周期性变化(图3),其原因可能与板坯在炉加热的时间和板坯加热温度不均匀有关。从周期性的温度波动可以推算出带钢出现温度较低的位置正好

对应板坯在加热炉内的大概水梁位置,板坯水印很严重(板坯在加热过程中,受加热炉内横梁的影响,使得板坯接触横梁的部位温度低于未接触的部位温度值。采用 FDT 温度控制能在一定程度上减轻带钢的水印情况,但是由于带钢的水印太严重,FDT 温度曲线仍显示带钢存在严重的温度不均匀现象。

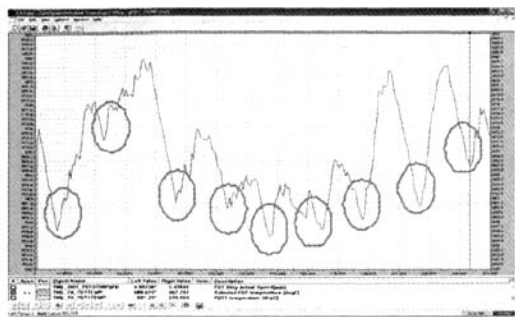


图 3 精轧温度控制曲线

精轧终轧温度和卷取温度控制与带钢的温度均匀性密切相关,提高温度控制精度除了靠模型的自学习的能力以外,还受板坯自身情况影响较大。为保证温度控制的精确性,需要提高板坯的加热效果,保证出炉板坯在操作要点中的温度要求范围以内以及出炉板坯的温度均匀性。

(2)穿带速度变化较大导致模型设定误差增大,温度控制的精度与带钢的速度有密切联系,模型设定是根据前一块带钢的实际数据和当前带钢的温度、厚度、速度等实际数据确定的,当相邻带钢穿带速度变化较大时会导致模型自学习过程紊乱,从而出现模型设定误差增大;当同一块带钢的速度变化较大时,模型动态调整的时间有限,会导致带钢卷取温度控制不精确。

(3)长时间停车后,一般第一块带钢的卷取温

度都偏低,主要原因是起车后设备的环境温度较低,带钢通过时热量损失比后续带钢要多。因此,建议长时间停车后轧制第一块带钢时,安排较厚的轧制计划,例如 7~8 mm 的带钢,比轧制薄规格时热量损失得会少一些,有助于改善卷取温度控制。

(4)新钢种新规格首次轧制,模型计算没有足够的自学习,导致卷取温度超出目标温度范围。

#### 4.2 层流冷却水流量、水压设置不当

当层流冷却水量不够或过足时,会出现带钢实际温降与模型计算的温降不同,导致卷取温度超出目标范围。此时可采取的措施为:通过手动微调开关增加或减少层流冷却水冷却段数,以调整卷取温度;确认水泵工作泵数,如泵数不够,增加 1 台水泵;如水流不足,则打开流量阀,增加水流量;如果冷却水水压不够,则打开压力阀增加水压。

#### 4.3 侧喷效果不好

如卷取温度检测过低但实际不低,由于带钢出层流冷却后,带钢表面存在残余冷却水,使得仪表测量的数据不能准确反映出带钢的实际状况,影响卷取温度的控制精度。此时应检查喷嘴角度及喷水压力,查找原因并做相应处理,保证其正常工作条件。

冬季轧制时由于气温低,也可能会导致 CT 高温计前雾气太大而影响测量精度,由于反馈功能打开,从而会影响实际带钢的卷取温度控制精度,此时应当增加风机,及时将雾气吹走以免影响测量结果。

#### 4.4 板型问题

由于带钢存在边浪和中浪,带钢存在冷却不均匀的现象,而测量的数据参与反馈控制会导致带钢后续部分温度波动较大的现象。以某卷带钢 SPHC 厚度 3.0 mm 为例,平直度曲线和卷取温度曲线如图 4 所示。

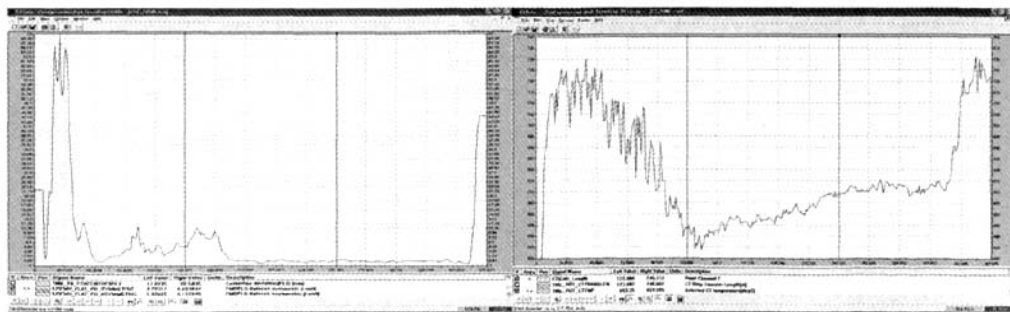


图 4 厚度 3.0 mm 卷带钢 SPHC 的 FDT 和 CT 温度曲线

FDT 对称平直度曲线显示:带钢头部 50 m 处存在严重的边浪,从 50~160 m 之间的浪形稍小,尾部也起较大的边浪。因此,带钢头部通过 CT 高温计时,测量数据波动较大且普遍偏高。由于测量的数

据高出目标值很多,反馈控制将增加水量来补偿温度差值,曲线中最后温度陡然升高也是受带钢尾部的浪形或其他现象影响。类似的曲线在轧制薄规格带钢时经常会出现。

(下转第 29 页)

转炉加萤石试验 1 200 炉的平均生产数据如表 4 所示。

表 4 转炉加萤石的平均生产数据(1 200 炉)

石灰/kg	萤石/kg	矿石/kg	来渣时间	终点磷/%
5 500	300	3200	4'12"	0.011

## 2.2 试验分析

(1)从加转炉化渣助熔剂 1 200 炉平均加化渣剂 600 kg 和矿石 1 900 kg,和 1 200 炉不加化渣剂而加萤石的炉次对比结果来看,平均加矿石 3 200 kg 来看,转炉化渣助熔剂降温明显,和相当品位的矿石降温相当。

(2)从冶炼过程来看,转炉化渣助熔剂助溶效果好,可以代替萤石,无氟炼钢。

(3)因转炉化渣助熔剂含有大量氧化铁有利于化渣,加转炉化渣助熔剂的炉次,化渣渣快,平均可提前 20 s,有利于前期脱磷,终点磷平均降低了 0.002%。

(4)转炉化渣助熔剂对钢水无污染。

(5)转炉化渣剂干燥无粉子,而矿石潮湿,含粉多,尤其雨季,矿石更加潮湿,严重影响钢水质量

## 3 转炉化渣助熔剂对炉渣的影响分析

### 3.1 转炉化渣助熔剂对炉渣化渣快的分析

萤石中的  $\text{CaF}_2$  可使炉渣中的  $(\text{CaO})$  熔点降低,  $\text{CaF}_2$  和  $\text{CaO}$  可形成熔点为 1 635 k 的共晶体;直接促进石灰石融化;另外,萤石能使  $\text{CaO}$  和阻碍石灰熔解的  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  外壳的熔点显著降低,使炉渣在高碱度下有较低的熔化温度。而三炼钢是含锰量较高的铁水(一般  $>0.50\%$ ),固相当于  $\text{MnO}$  基的转炉化渣助熔剂,采用  $\text{MnO}$  基复合造渣剂提高了前期炉渣中  $\text{MnO}$  的含量。另外,我们开发的转炉化渣助熔剂的主要成分是氧化铁,  $(\text{FeO})$  能使冶炼初期石灰表面难熔的  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  熔点下降,对阻碍石灰熔解的  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  外壳也有显著的效果,由  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{FeO}$  渣系可知  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  的液相线温度随着  $\text{FeO}$  的增加而降低,渣况不好时加入能够

迅速化渣,能够保证吹炼中期的渣中氧势降低不会降低太快,减少返干几率。由于氧化铁皮的矿相结构比较疏松,能够迅速化渣;在吹炼中期,相比  $(\text{FeO})$  而言  $(\text{MnO})$  被还原的少,即渣中  $(\text{MnO})$  下降速度比较慢,减少了返干机会,造渣加入转炉化渣助熔剂可以加速石灰的熔解,改善炉渣的流动性。

### 3.2 转炉化渣助熔剂对炉渣脱[P]的影响分析

如前所述由于转炉化渣助熔剂可以使炉渣具有良好的流动性,提前化渣有利于冶炼前期脱磷。另外,决定磷氧化反应的驱动力是氧的活度梯度,当钢液和铁离子含量高  $(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  高)的炉渣接触时,渣中氧向钢液传递非常快,能够顺利的完成脱磷反应。在吹炼过程中,由于转炉化渣助熔剂降温明显,可以使钢液温度上升均匀,有利于脱磷反应的进行。随着吹炼的进行渣中的  $(\text{FeO})$  逐渐减少,导致炉渣“返干”现象,这时候加入转炉化渣助熔剂可以快速增加渣中的  $(\text{FeO})$ ,提高渣中氧的活度梯度,促进脱磷反应,改善渣的流动性,减少回磷的发生,降低终点磷。

## 4 无氟助熔剂对环保的影响

根据市环境监测站每月取第三炼钢厂转炉除尘水进行三次化验分析,从 2008 年 7 月份起,第三炼钢厂取消萤石造渣而代之以无氟助熔剂造渣,氟化物含量降低了 96%,基本低于标准  $(10 \text{ mg/L})$ ,取得了良好的环保效益。

## 5 结论

(1)转炉助熔剂助溶效果好,提前化渣,可以代替萤石,实现无氟炼钢。

(2)降温效果明显,和矿石降温相当。

(3)化渣助熔剂比矿石干燥,含粉少,对提高钢水质量有一定的好处,减少裂纹的产生。

(4)可以减少氟化物的排放,减少了对大气和水的污染,取得了显著的环境效益。

### 参考文献

- [1]黄志勇,等.  $\text{MnO}$  基无氟复合造渣剂在转炉冶炼中的试验研究[J]. 江苏冶金,2006,(12):8~10.

(上接第 34 页)

## 5 结语

当带钢卷取温度超出目标温度范围时,采用上述方法进行检查和处理,能够保证卷取温度精度,不会因卷取温度问题而影响产品性能,能实现卷取工

序作业状态稳定,避免因卷取温度异常而引起的卷取打滑、堆钢等事故。

### 参考文献

- [1]刘玠,杨卫东,等. 热轧生产自动化技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.