

## 影响热轧轧辊原始辊型精度的因素分析

苏长水, 谢光远, 黄爽, 艾矫健

(首钢京唐钢铁联合有限责任公司, 河北唐山 063200)

摘要: 保证轧辊的原始辊型是计算精确热态辊型的基础。以某钢厂 2 250mm 热轧宽带钢精轧机组轧辊原始辊型保持为研究背景, 研究了轧辊下机温度、磨前强度、磨削热、磨后空冷温度对热轧轧辊原始辊型精度的影响。将研究成果应用到实际生产中后, 磨削后的原始辊型精度得到保障。

关键词: 轧辊原始辊型; 板形; 温度场; 冷却制度

中图分类号: TG333.1

文献标识码: B

文章编号: 1006-5008(2016)11-0048-03

doi: 10.13630/j.cnki.13-1172.2016.1113

## ANALYSIS ABOUT FACTORS TO AFFECT THE ORIGINAL ROLL PROFILE PRECISION OF HOT-ROLLING ROLL

Su Changshui, Xie Guangyuan, Huang Shuang, Ai Jiaojian

(Jingtang Iron and Steel Union Company Limited, Capital Iron and Steel Company, Tangshan, Hebei, 063200)

Abstract: To keep the original roll profile of roll is the base to calculate the hot roll precise profile. With keeping the original roll profile for the rolls of 2 250 mm hot-rolling wide strip steel finish rolling set of some plant as background, it is researched the influence of roll demount temperature, strength before grinding, grinding heat, air cooling temperature after grinding on the original roll profile precision of rolls in hot rolling. After the research achievement is applied into the practice production, the original roll profile precision can be guaranteed after grinding.

Key Words: original roll profile; sheet profile; temperature field; cooling system

### 0 引言

近年来,随着汽车和家电工业的迅猛发展,用户对带钢产品的质量要求不断提高。带钢不仅要有良好的板形(平直度)和表面质量,而且还要有良好的断面形状。为了获得高质量的冷轧成品,对热轧产品的质量指标要求也不断提高;同时,在尽可能降低生产成本的前提下,未来市场需求的主流趋势将是用越来越多的热轧薄带和超薄带代替冷轧产品<sup>[1]</sup>。因此,为了满足市场日益增多和严格的质量要求,进一步深入研究并完善热轧带钢断面形状和板形控制是十分迫切和必要的。

轧辊作为轧钢生产中重要的工艺零件,辊型精度对热轧带钢断面形状和板形控制十分重要。板凸

度和板平直度与精轧机组负载辊缝的形状是等同的,精轧机组负载辊缝是由精轧工作辊的动态辊型决定的,而精轧工作辊的动态辊型是在精轧工作辊原始辊型的基础上,受到磨损、温度变化、动静载荷等方面的影响得来的。因此,保证精轧工作辊的原始辊型精度,是板形控制最基础的工作。

保证轧辊的原始辊型有 2 个方法:一是保证磨床的磨削精度;二是控制温度场对原始辊型的影响。本文仅研究温度场对轧辊原始辊型的影响。

### 1 热轧轧辊原始辊型的影响因素

在热轧带钢生产中,工作辊的热凸度是影响带钢板形的重要因素之一。为提高带钢板形质量,必须对精轧工作辊的热凸度进行准确计算及预报。轧辊温度场的计算是求解轧辊热凸度的前提。对于轧辊温度场的求解,主要有解析法<sup>[2]</sup>、有限元法<sup>[3-6]</sup>、有限条元法<sup>[7]</sup>、有限差分法<sup>[8-11]</sup>。解析法大都采用傅里叶变换和分离变量法对导热微分方程进行求

收稿日期: 2016-08-26

作者简介: 苏长水(1981-),男,工程师,2007年毕业于燕山大学机械设计及及其自动化专业,现在首钢京唐钢铁联合有限责任公司从事轧辊管理工作, E-mail: Waters\_alw@126.com

解。需做大量假设,一般只能解决比较简单的传热问题;有限元法计算量大,很难满足现场设备和实时预测控制的要求;有限差分法计算简便快捷,在满足工程要求的计算精度下,计算速度快,计算也较稳定。但总的来说,目前针对工作辊热凸度的相关研究,均是以良好的轧辊原始辊型为假设进行的。

为了深入研究控制温度场对热轧轧辊原始辊型的影响,认真分析了热轧工作辊使用流程中的几个过程,通过对每个过程中温度对轧辊的影响,分析各个过程温度场对轧辊磨削后原始辊型的影响。

### 1.1 轧辊下机温度的控制

轧辊在机使用时,受到交变的温度变化,在轧辊与带钢接触瞬间,其表面温度与带钢进行热交换,达到温度一致。当轧辊与带钢接触位置旋转以后,及时的受到轧辊冷却水的冷却。周而复始,轧辊辊身上的温度在不断的交互变化。

轧辊在机使用期间,其温度受到带钢在轧机入口温度、轧辊冷却水温度、轧制节奏、天气温度等因素的影响。这些温度导致轧辊在下机之后,体现出不同的轧辊下机温度。但实际上,一个比较稳定的生产线,轧辊下机后的辊身温度是相对恒定的,变化不大。并且在轧辊下机后,首先要经过强制冷却,然后再磨削,因此,可以不考虑轧辊下机温度对轧辊磨后原始辊型的影响,只考虑强制冷却后的轧辊温度即可。

### 1.2 轧辊磨前温度对轧辊磨后原始辊型影响

热轧工作辊在轧制完成之后,由于只有辊身中部与带钢接触,轧辊整个辊身的温度呈中间高,两端低的状态。要使得轧辊在磨削时不受轧辊下机后温度的影响,必须通过强制冷却的方法,将辊身的温度降低到一个合理的温度,在磨削的作用下,最终达到磨后辊身温度的均匀。

将轧辊强制冷却看成是一个稳态温度场,轧辊作为一个轴类零件。在轴类零件的径向变形量的传统公式中,把线膨胀系数用于径向热变形的计算,忽略了轴件的长度对轴径变化量的影响<sup>[2]</sup>。实验证明,轴长对轴件径向热变形有影响,相同直径不同长度的轴在温度变化相同的情况下,其轴径热变形量并不相同。轧辊整个辊身方向上辊径的变化,影响着轧辊最终的辊型,因此需要研究轧辊在稳态温度场中的变形规律。

从格律乃森从晶格振动能的状态方程出发,推导了膨胀系数与定容比热之间的关系<sup>[3]</sup>,最终推导出以下公式:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta D}{D_0} &= \sqrt{\frac{3\alpha\Delta T + 1}{1 + \alpha\Delta T - kH_0\Delta T}} - 1 \\ &\approx \sqrt{1 + (2\alpha + kH_0)\Delta T} - 1 \\ &\approx \alpha\Delta T + \frac{kH_0}{2}\Delta T\end{aligned}$$

式中  $k = \frac{\rho g \alpha_E}{2E_0}$

$D_0$ ——立式放置轴类零件初始直径;

$H_0$ ——立式放置轴类零件初始高;

$\alpha$ ——线膨胀系数;

$\Delta T$ ——温度变化;

$\alpha_E$ ——弹性模量的温度系数;

$E_0$ ——初始弹性模量;

$\rho$ ——材料密度;

$g$ ——重力加速度。

上式很清楚地表示了轴类零件直径的变形量与轴长度之间的关系,由于式中  $k$  值是负值,代表轴越长,其变形量越小。

### 1.3 轧辊磨削热对轧辊原始辊型影响

机械加工时所产生的磨削热,使得工件发生热变形,从而影响工件的表面质量和尺寸精度。热变形的大小,与加工方式,零件形状,材料以及应力等多种因素有关。轧辊磨削时,可以看成是简单形体在非均匀温度场下的加工。通过对轧辊非均匀温度场、表面残余应力以及由此产生的热变形的研究,了解热变形的规律,应用到轧辊的磨削中,有利于提高磨削加工的效率和加工精度。

磨削热是由磨削加工过程中材料的弹、塑性变形及刀具与工件、磨削之间的摩擦而产生的。这些热量分别传递给工件、刀具和切屑。热量的分配是随着加工方法的不同而不同,尤其在磨削加工中,大约80%的热量传递给工件,以致磨削区的温度可达1000℃或更高,即使水溶性磨削也具有很高的温度和很大的温度梯度,形成非均匀温度场,从而产生表面应力和相应的热变形,有可能使得材料表面的金相组织发生变化。因此,磨削热会严重地影响到工件的尺寸精度。

实心长轴(半径为  $r_0$ , 长度为  $L$ ) 的轴类零件磨削时,其内部温度分布是非均匀的(温度与半径  $r$  和轴向位置  $z$  有关),可以认为其表面有一均匀热流  $q$ , 上、下端面的温度均为  $f(r)$  的非均匀温度场。因此建立数学模型:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (0 < z < L) \\ \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=r_0} = \frac{q}{\lambda} \quad (0 < r < r_0) \\ T(r, \varphi, 0) = T(r, \varphi, L) = f(r) \quad (r < \varphi < 2\pi) \end{cases}$$

式中  $T$ ——温度;

$\lambda$ ——导热系数。

求解可以得出,温度的分布与径向和轴向的温度有关,由此产生的应力和变形也不同。

#### 1.4 轧辊磨后空冷温度场

精轧工作辊磨后的温度受到轧辊磨前温度、磨削过程中的轧辊冷却液温度以及托瓦摩擦和大气温度的影响。为提高带钢质量,必须对精轧工作辊的热凸度进行精确的计算和预报,但前提是要保证轧辊的原始凸度。温度对轧辊的原始凸度也有着重要的影响。

轧辊温度场的计算是求解轧辊原始凸度变化的基础,在轧辊磨削完成之后,需要在空气中放置一段时间,才会再次上机使用。在厂房内,空气的流动、湿度、温度等可以看作在短时间内没有变化,因此,轧辊在磨削后的空气冷却温度场仍然可以看作是一个稳态温度场。随着时间的推移,轧辊沿着轴向的温度下降是均匀的。

## 2 结语

通过大量的测量轧辊各种情况下的温度(表1),研究了对整个轧辊使用流程中各个环节的温度对轧辊原始辊型的影响,找出造成某钢厂2250生产线轧辊磨削后原始辊型精度不良的主要原因。通过有效的改进措施,改善磨削后原始辊型精度不良的状况。

表1 轧辊中间温度和两侧温度对比

Tab. 1 Contrast of middle and both sides temperatures of roll

轧辊	测量点	磨前温度/℃	磨后温度/℃	差值/℃
F5 - F7WR	传动	22.4	23.8	-1.4
	中间	22	23.1	-1.1
	操作	22.6	25.3	-2.7
F1 - F4WR	传动	23.5	26.1	-2.6
	中间	28.6	26.8	1.8
	操作	23.3	25.9	-2.6
F1 - F4WR	传动	25.8	28.3	-2.5
	中间	40.8	34.6	6.2
	操作	28.2	33.4	-5.2

经过多支轧辊的温度数据测量结果分析,轧辊在磨削时,两边温度一定会升高,当轧辊磨前温度较高时,中间温度会降低;当磨前温度较低时,中间温度趋于一定值,没有太大变化。磨削时,尽量保持中间温度不变,中间的温度为25~26℃。摸索达到该温度的冷却时间,建立了轧辊下机后的冷却制度。

在冷却制度的控制下,保证轧辊磨削时中间温度在25~26℃时,轧辊磨削后的辊身温度均匀,并且磨削完成之后,在轧辊放置一段时间后,进行辊型误差曲线的重合度检查,效果良好,再次检查每支轧辊的辊型精度都控制在±10 μm以内,并且与磨后的辊型误差曲线对比,没有明显的趋势变化。

#### 参考文献

- [1] Paolo Bobig, Roberto Borsi, Francesco Stella. 高质量板带生产工艺和设备的创新发展趋势[J]. 冶金管理, 2003, 10(10): 49~51.
- [2] Tseng A A, Tong S X, Raudensky M. Thermalexpansion and crown evaluations in rolling processes [J]. Steel Research, 1996, 67(5): 188~199.
- [3] 陈宝官, 陈先霖. 用有限元法预测板带轧机工作辊热变形[J]. 钢铁, 1991, 26(8): 40~44.
- [4] Li C S, Liu X H, Wang G D. Three-dimensional FEM analysis of work roll temperature field in hot strip rolling [J]. Materials Science and Technology, 2002, 18(10): 1147~1150.
- [5] 包仲南. 带钢连轧机工作辊瞬态温度场的有限元仿真[J]. 北京科技大学学报, 1991, 21(1): 60~63.
- [6] 孔祥伟, 徐建忠, 龚殿尧, 等. 采用平辊实现自由程序轧制最优横移方案新方法[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2002, 23(12): 1166~1169.
- [7] 李俊洪, 连家创, 岳晓丽. 热带钢连轧机工作辊温度场和热凸度预报模型[J]. 钢铁研究学报, 2003, 15(6): 25~28.
- [8] Lenard J G. Predictive capabilities of a thermal model of flat rolling [J]. Steel Research, 1989, 60(9): 403~406.
- [9] Attack P A, Robinson I S. Control of thermal camber by spray cooling when hot rolling aluminum [J]. Iron Making and Steel Making, 1996, 23(1): 69~73.
- [10] Vladimir B G. Application of coolflex model for analysis of work roll thermal condition in hot strip mills [J]. Iron and Steel Engineer, 1997, 11(11): 38~45.
- [11] Yang L P, Peng Y, Liu H M. Two-dimensional transient temperature field of finish rolling section in hot tandem rolling [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2004, 11(4): 29~33.
- [12] 严镇军. 数学物理方法[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996: 133~155.