

一种热带精轧温度控制的简便计算方法

龚殿尧¹ 徐建忠¹ 郑 晖^{1,2} 刘相华¹ 王国栋¹

(1 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 沈阳 110004; 2 沈阳航空工业学院, 沈阳 113800)

摘 要 通过所建立的热带终轧过程计算的简化模型和确定的当量间距基本值, 计算热带在精轧各机架间的温度。简便计算结果和理论模型计算结果的对比表明, 简便计算方法能较精确地计算热带在精轧区的温度。当目标温度发生变化时, 用简便算法可以调整机架间喷嘴状态以适应新的目标值。

关键词 热带 精轧温度控制 简便计算方法

A Short-cut Calculation Method for Finishing Rolling Temperature Control of Hot Rolled Strip

Gong Dianyao¹, Xu Jianzhong¹, Zheng Hui^{1,2}, Liu Xianghua¹ and Wang Guodong¹

(1 State Key laboratory of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004;
2 Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang 113800)

Abstract The temperature of hot strip at finishing rolling interstand has been calculated by established short-cut calculation model and defined concept of equivalent interstand distance and fundamental value. The comparison between short-cut method calculated results and theory model calculated results showed that the temperature of hot strip at finishing rolling region could be calculated accurately. As target temperature is changed the status of cooling jet at interstand can be adjusted by short-cut calculation method to fit in with new target temperature.

Material Index Hot Rolled Strip, Finishing Rolling Temperature Control, Short-cut Calculation Method

热带终轧温度控制是轧制过程控制的重要内容, 其精度对轧后层流冷却过程控制精度及热带产品的组织性能有直接影响^[1-5]。由于热带精轧过程的大滞后特点, 精轧温度设定计算模型精度是终轧温度控制的核心和关键。本文提出一种简便的热带精轧区温度计算方法。

1 基本理论

热带在精轧区的冷却过程是一个复杂的过程, 包含除鳞水冷、一般水冷、空冷和轧制中传热等复杂的过程。采用理论模型计算热带在精轧区的温度变化时, 因为模型与实际情况之间的误差而产生计算时的累计偏差。为了避免这种累计偏差, 可以通过一种简便的方法, 在已知热带精轧入口温度、厚度和轧制速度的条件下, 简便迅速地计算热带精轧出口温度及机架间水冷状态。

这种简便方法是建立在“卡两头分配中间法”的基础上的, “卡两头分配中间法”主要考虑到精轧机组的连续性和前后设有测温仪的特点, 利用精轧机组两头的测温仪的实测温度不断校正综合换热系数, 而用较简单的温降公式来“分配”精轧机组总温降, 以确定各机架的温度^[6]。该方法简便, 不仅可以分配热带机架间温度, 还可以确定机架间冷却状

态并根据目标温度作出调整。

这种方法把轧制时塑性变形热和接触导热损失假设为互相抵消, 机架间辐射冷却和喷水冷却可以合并看作一个等效冷却系统, 并把精轧机组分为 8 段, 见图 1。

各机架处的轧件温度 $t_i (i = 1 \sim 7)$ 为:

$$\frac{t_i + t_w}{t_0 - t_w} = \exp\left(-K_\alpha \frac{\sum_{j=1}^i L_j}{h_n v_n}\right) \quad (1)$$

式中: K_α - 机架间综合换热系数; h_n - 带钢精轧出口厚度/m; v_n - 带钢精轧出口速度/(m · s⁻¹); L_i - 机架间液压缸中心距/m; t_i - 带钢精轧出口温度/°C; t_0 - 带钢精轧入口温度/°C; t_w - 冷却水温度/°C。

K_α 值可利用现场实测的 t_1^* 和 T_{rc}^* 反推得到:

$$K_\alpha = \frac{h_n v_n \ln \frac{t_1^* - t_w}{t_0^* - t_w}}{L} \quad (2)$$

式中: L - 精轧入口高温计处到精轧出口高温计处的距离/m; t_1^* - 带钢精轧出口温度实测值/°C; t_0^* - 带钢精轧入口温度实测值/°C。

2 当量间距基本值的确定

在精轧 F1 至 F7 的 7 机架间均匀布置 6 个水冷

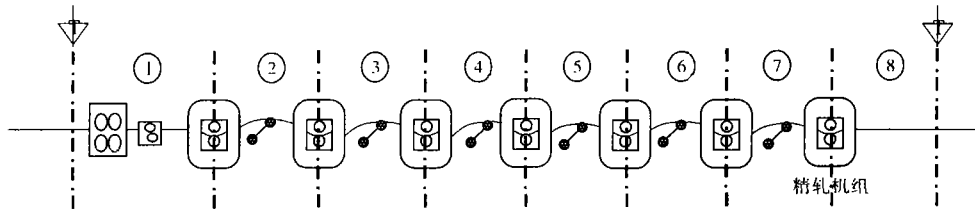


图 1 机架间水冷间距的划分
Fig. 1 Schematic of cooling space plot of interstand

集管。为了消除精轧时二次氧化铁皮,提高带钢表面质量及延长轧辊寿命,在 F1 和 F2 之后将普通集管改为机架间除鳞集管。前 4 个冷却集管主要用于体现终轧温度设定结果,而后 2 个集管作为微调集管,基础自动化系统依据精轧出口温度测量值,根据过程控制模型计算的传递函数,通过微调集管进行反馈控制。

热带在精轧区的冷却,不仅包括机架间集管水冷和空冷以及轧制区的传热,还包括在精轧机组之前的除鳞箱水冷。因为精轧区条件限制,只能在除鳞箱及飞剪之前和精轧出口处布置高温计,所以必须将轧前除鳞水冷计算在内。这样就必须考虑各部分水冷能力不同的问题,虽然事实上是各部分水冷能力不同,体现为水冷换热系数不同,但是这一点在前述模型中并没有得到充分体现。为了解决这一问题,采用“当量间距”,即机架间距离或冷却距离根据机架间冷却能力不同而采用“当量间距”,来反映每个冷却区对后续冷却的不同影响。

当采用当量间距概念时,是将机架间不同的冷却能力通过间距 L_i 的不同表现出来。在介绍机架间水冷设备配置时,已指出除鳞水冷、机架间除鳞水冷和普通机架间水冷存在差异,除了这些差别之外,在模型设定时,还存在机架间完全空冷的情况。

因此,可以采用定量的比例关系描述当量间距的变化。以普通集管水冷时机架间距(液压缸中心距)为基数,其它水冷区当量间距在基数基础上乘以比例系数。比例系数需要根据现场实际情况通过计算和比较来确定。

通过模拟计算验证这种简便方法计算热带精轧温度的效果,首先将普通集管冷却区当量间距系数设定为 1,机架间除鳞冷却区当量间距系数设定为 $1/1.5$,轧前除鳞冷却区当量间距系数设定为 $1/3$,空冷机架间当量间距系数设定为 $1/0.2$ 。这种假定的比例关系是根据经验确定的简单比例关系,可以通过现场试验进行修正和最后确定。按照上述比例系数,精轧入口和出口高温计之间的基准当量间距为:

$$\Sigma L_e = 1/3L_0 + 2 \times 1/1.5L_0 + a \times L_0 + b \times 10/2L_0 \quad (3)$$

式中: L_0 - 机架间物理距离/m; ΣL_e - 精轧入口和出口高温计之间的当量间距/m; a - 开启的水冷集管个数; b - 关闭的水冷集管个数。

对于给定的钢种,在其精轧出口厚度和精轧出口速度均已确定时,分别记录其精轧入口温度和精轧出口温度,采用式(2)计算其综合换热系数,即综合换热系数基本值。

3 计算验证

采用简便计算方法确定的综合换热系数并采用该系数,考虑当量间距所分配的热带在机架间各位置的温度和采用理论方法计算^[7]的机架间各处温度进行了对比,计算采用钢种 Q235B,中间坯厚度为 40.7 mm,宽度为 1 300 mm,成品厚度 4.5 mm,精轧末机架穿带速度 7.4 m/s,前 4 个机架间冷却集管为开,粗轧出口温度为 1 076 °C,精轧出口目标温度为 860 °C。计算结果见图 2。在相同条件下,即带钢出口速度、精轧出口厚度、精轧入口温度和精轧出口目标温度均相同,分别使用理论模型和简便算法进行计算,计算结果在 F2、F3、F4 机架有较大差别,其最大差值在 F2 处,温度相差 21.309 °C。

计算过程中也验证了简便算法在目标温度发生变化时对机架间喷嘴状态的调节能力。如图 3,当精轧出口目标温度由 860 °C 变为 850 °C 时,原来计算的机架间喷水状态已不能满足要求,简便计算方法程序通过改变当量间距的大小来改变机架间综合换热系数,即式(3)中 a 和 b 的增减,最终体现为增开一个机架间喷嘴集管,使带钢终轧温度满足目标要求。

图 2 和图 3 中,位置标号 0 和 8 分别为精轧入口和出口处,标号 1~7 分别为 F1 至 F7 机架出口处。

4 讨论

采用简便计算方法编制的带钢精轧温度计算程序,可根据目标温度调整机架间喷嘴状态的能力,可

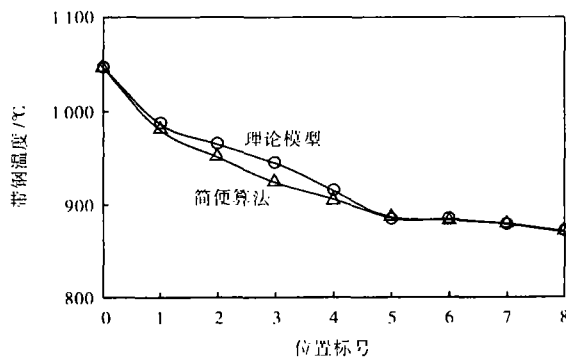


图2 简便算法与理论模型计算结果的对比

Fig.2 Comparison of calculated results between short-cut calculation and theory model

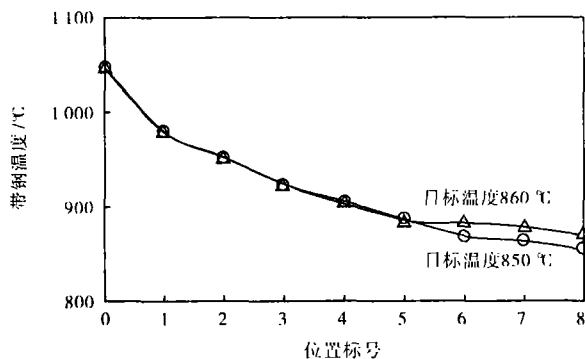


图3 简便算法的喷嘴调整能力

Fig.3 Jet adjust ability by short-cut calculation method

以用于精轧温度控制的计算。其计算精度依赖于各种冷却方式下当量间距的确定,即各种冷却方式所造成的温降效果之间的关系确定,而这种关系只能通过不断的实测和计算来校验。

简便计算方法的实质内容为将机架间的冷却状态归结为当量间距的变化,进而归结为综合热交换系数的变化。其基准综合换热系数的确定与带钢的精轧出口厚度、精轧出口速度有直接关系。所以在进行模型系数自学习时,需将自学习系数置于由钢种、厚度和速度组成的索引坐标系内。这无疑相对于理论模型的钢种、厚度为索引坐标的学习机制更

为复杂。因为当量间距是与综合热交换系数最为密切的量,所以应对当量间距进行自学习,因为总的当量间距因自学习而变化后,直接造成水冷与空冷对于总的温降所做出的贡献发生变化,从而达到提高模型精度的目的。

5 结论

(1) 简便计算方法可以在温度精度要求不特别高的情况下作热带终轧温度控制计算模型使用。

(2) 当采用简便计算方法进行终轧温度控制计算时,应经常通过实测数据修正当量间距并制定合理的自学习策略。

(3) 采用简便计算方法时,其热带温度的机架间分配完全依赖于经验数据,不能精确描述热带在机架间的温度变化过程。

国家自然科学基金重点资助项目(编号:50534020)

辽宁省博士启动基金资助项目(编号:20041009)

参考文献

- 1 Patricia M, Guillan B, Jonas J. Effect of Finishing Temperature on Hot Band Textures in an IF Steel. *ISIJ International*, 1996, 36(1): 68
- 2 Suehiro M. Kinetic Model for Phase Transformations of Low Carbon Steels during Continuous Cooling. *Tetsu-to-Hagané*, 1987, 73(8): 1026
- 3 Ouchi C. Development of Steel Plates by Intensive Use of TMCP and Direct Quenching Processes. *ISIJ International*, 2001, 41(6): 542
- 4 Henrich L, Holz R, Knepp G. Physically Based Cooling Line Model to Meet Growing Demand in Temperature and Flexibility. *Ironmaking and Steelmaking*, 1996, 23(1): 79
- 5 Lawrence W J, MacAlister A F, Reeve P J. On Line Modelling and Control of Strip Cooling. *Ironmaking and Steelmaking*, 1996, 23(1): 74
- 6 孙一康. 带钢热连轧的模型与控制. 北京:冶金工业出版社, 2002
- 7 龚殿尧, 徐建忠, 刘相华, 等. 热连轧带钢终轧温度影响因素的研究. *东北大学学报*, 2006, 27(7): 763

龚殿尧(1976-),男,讲师,2003年东北大学材料加工工程专业毕业,从事热连轧带钢精轧温度、层流冷却温度控制模型和热连轧带钢精轧板形控制模型研究。

收稿日期:2006-10-08

欢迎订阅 2007 年《特殊钢》杂志

《特殊钢》是全国特殊钢行业的综合性技术类刊物(双月刊)

邮发代号:38-183

定价:16.00元/期 96.00元/年

全国各地邮局均可订阅(可破订)

如漏订可汇款至杂志社补订,收款后即寄杂志

地址:湖北省黄石市黄石大道316号大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社(邮编435001)