

CSP 热轧 CVC 工作辊磨损模型优化

李立新 范进 熊文涛 何亚元
(武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081)

摘要 通过对钢厂 CSP 生产线 CVC 工作辊磨损的实测, 得到工作辊的磨损曲线。在此基础上考虑影响轧辊磨损的主要因素, 建立了适合 CSP 生产线的工作辊磨损模型, 并且借助 MATLAB 软件全局优化算法确定了模型中的关键参数。该模型计算结果表明, 回归磨损曲线面积与实际磨损曲线面积的相对误差为 3.78%, 计算值与实测值之间的相关系数 0.932 8, 可用于轧辊磨损的在线预报。

关键词 CSP CVC 工作辊 磨损曲线 模型 优化

Optimization of Wear Model of CSP Hot Rolling CVC Work Roll

Li Lixin, Fan Jin, Xiong Wentao and He Yayuan
(College of Material Science and Metallurgical Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

Abstract The wear curve of work roll is obtained by measuring CVC work roll wear condition in CSP line at steel works. On this basis with considering main factors to influence roll wear, the work roll wear model suited to CSP line is established and the key parameters of model are defined by MATLAB software overall situation optimized calculating-method. Calculated results by the model show that relative error between regression wear curve area and real wear curve area is 3.78%, the correlation coefficient between measured value and calculated value is 0.932 8, so the model is available to predict the roll wear on line.

Material Index CSP, CVC Work Roll, Wear Curve, Model, Optimization

板形是带钢质量的重要指标, 而轧辊磨损是影响带钢最终板形的主要因素之一。轧辊磨损包括支撑辊的磨损和工作辊的磨损, 支撑辊的磨损影响工作辊的弯曲变形, 从而也影响带钢的板形, 工作辊的磨损则直接影响带钢的板形^[1]。轧辊磨损还会加剧薄板轧制的边部减薄和中厚板轧制的平面形状不良现象, 严重地影响着成材率^[2]。在实际生产中, 轧辊在轧役期内的磨损是通过磨损模型来预报的, 其预报数值为合理施加弯辊力以及控制轧辊热凸度的重要依据。提高轧辊磨损预报精度的有效方法是通过实际测量磨损情况, 对模型进行合理解析, 再重新修正磨损模型中的相关参数^[3]。

深入研究工作辊磨损可为板厚板形自动控制系统提供精确的轧辊磨损预报模型, 提高板厚板形自动控制水平和轧制产品质量^[4]。本文根据现有模型, 将其应用于实际生产。并结合现场轧辊磨损实测数据, 用 MATLAB 遗传算法对模型参数进行优化。

1 轧辊磨损机理及影响因素

从摩擦学的角度来讲, 根据材料磨损失效形式分类主要有疲劳、腐蚀、粘着、磨粒和微动磨损等。一般认为磨粒磨损和疲劳磨损是轧辊磨损的主要形

式^[5]。但是, 在实际生产过程中, 各种磨损形式总是同时存在, 相互影响, 共同对轧辊的磨损起作用。根据轧辊磨损产生原因分类, 又可分为 3 种^[6]:

(1) 机械磨损或摩擦磨损。这是由于工作辊同被轧制金属及被动的支承辊表面相互作用而引起的摩擦所造成的;

(2) 化学磨损。由于辊面与其周围介质的相互作用, 表面膜的形成和破坏的结果;

(3) 热磨损。由于高温作用和轧辊在工作状态下表面层温度剧烈变化而引起的。

轧辊磨损的机制复杂, 形式多样, 影响轧辊磨损的因素主要包括轧件的厚度、宽度、材质; 轧辊的直径、材质、表面状态、辊型以及轧制速度、轧制长度、轧制温度、润滑状态等轧制工艺条件。在轧制过程中, 各种因素共同作用、相互影响, 并且各种影响因素多具有时变性, 加剧了轧辊磨损现象的复杂性^[7]。

2 轧辊磨损模型

由于轧辊磨损机制的复杂性, 影响因素的多样性和时变性, 以及现场生产条件的不确定性, 从磨损机制上严密推导轧辊磨损的数学模型是难以实现的^[8]。因此, 一般采用统计模型进行计算, 考虑各

种磨损影响因素的作用,结合生产实测数据回归得到。

2.1 磨损模型的建立

根据 CSP (Compact Strip Production) 生产线现场的轧辊磨损实验,本文对 CVC (Continuously Variable Crown) 工作辊磨损预报模型采用离散化切片法,假想沿工作辊辊身方向将半个轧辊辊身均匀切分成 80 片,每片长 25 mm,根据实际工艺参数,计算各切片磨损量,将各切片磨损量进行叠加,便可得到整个工作辊的磨损分布曲线。

轧制 1 卷带钢后,第 i 架轧机工作辊直径上的磨损量 $\Delta W_i^{[9]}$ 为:

$$\Delta W_i = (a_u D + b_u) A^\alpha B^\beta C \quad (1)$$

式中: A - 轧制负荷作用项; B - 磨损距离作用项; C - 轧制长度作用项; D - 轧辊直径,其他参数为常数。

轧辊磨损区域可以做以下划分:由 0 到 1,1 到 2,2 到 3,3 到 4,4 到 5,5 到 6,6 到 7,沿辊身将磨损区域划分为 7 部分^[4],如图 1 所示。在此基础上,文献[10]又对该 7 个区域做了定量的划分,其模型能够较好地反映各个磨损区域的磨损情况,但模型也较为复杂,处理数据效率不高。为了克服这一问题,本文从简化模型及提高运算效率角度出发,尝试将磨损区域划分为 3 个部分,分别为工作辊辊身中部和两个边部区域。其中,辊身中部区域为图 1 中的 3 到 4,两个边部区域分别为从 0 到 3 和从 4 到 7。考虑到轧辊横向磨损的不均性,引入函数 $f(x)$ 来表示工作辊辊身不均匀程度,辊身中部为定常部分,对边部磨损区域分别采用三次曲线拟合,如式(2):

$$f(x) = \begin{cases} a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 & (0 \leq x < x_1) \\ 1 & (x_1 \leq x < x_2) \\ b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 & (x_2 \leq x < x_3) \end{cases} \quad (2)$$

式中: x - 沿辊身方向横坐标,其中 x_1 、 x_2 及 x_3 的坐标确定方式如下: $x_1 = L/2 - S - B/2 + L_1 + L_2 + O$; $x_2 = L/2 - S + B/2 - L_2 + O$; $x_3 = L$ 。 L_1 - 通常取 10 ~ 30 mm; L_2 - 通常取 10 mm 左右; L - 工作辊辊身长度; B - 带钢宽度; S - 工作辊轴向窜动量; O - 带钢的跑偏量。

因此,可建立沿工作辊辊身磨损模型如式(3)所示:

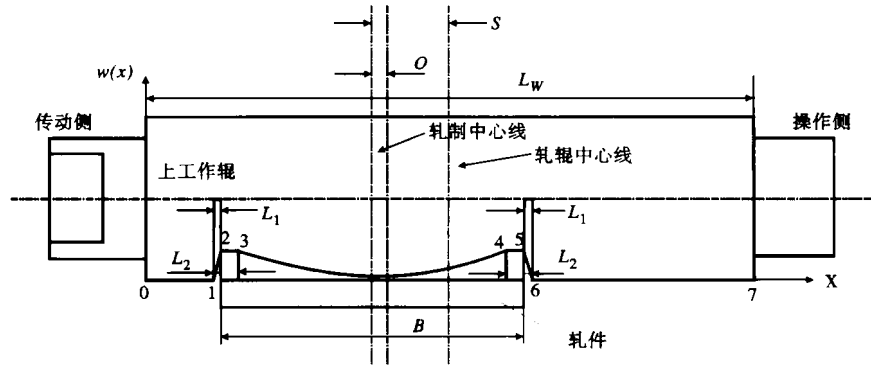


图 1 工作辊磨损示意图
Fig.1 Schematics of work roll wear

$$W = f(x) \sum_{i=1}^n (a_u D + b_u) A^\alpha B^\beta C \quad (3)$$

2.2 模型参数的确定

根据现场 F5 机架下工作辊在一个轧辊服役期内得到的磨损数据,可以得到它沿辊身的磨损曲线,如图 2 测量磨损曲线所示。

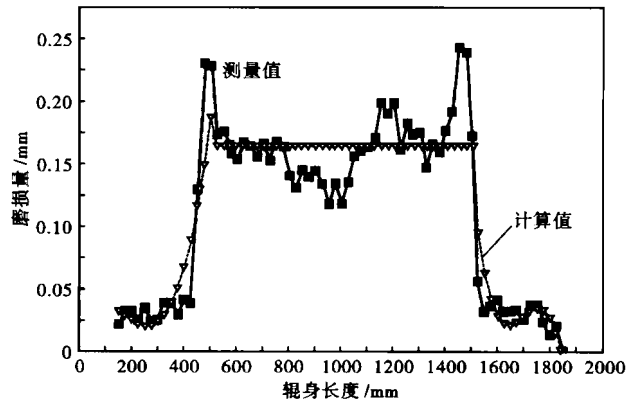


图 2 实际测量的和模型计算的 F5 工作辊磨损曲线
Fig.2 Curves of F5 bottom roll actual-measured wear and calculated wear by model

为了得到 F5 机架下工作辊的磨损模型及磨损预报曲线,通过 MATLAB 遗传算法寻优的方法可以确定模型中的主要参数。遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机搜索算法。它作为一种优化搜索方法,适用于像轧辊磨损这样的离散变量、多峰值、多参数空间、高度非线性问题,具有较强的全局寻优能力,可用于确定轧辊磨损模型的各个待求参数。

轧辊磨损模型各参数取值范围:磨损量换算系数工作辊直径项 a_u 、轧制力影响指数 α 、磨损距离影响指数 β 以及磨损量换算系数工作辊常数项 b_u 的

取值范围均在 0 到 1 之间。

优化过程中,目标函数的函数值变化情况如图 3 所示。经过寻优处理之后,得到了 F5 机架下工作辊的磨损模型中的主要参数:

$$a_w = 1.781 \times 10^{-8}, b_w = 3.235 \times 10^{-7}, \\ \alpha = 0.00222, \beta = 0.00512$$

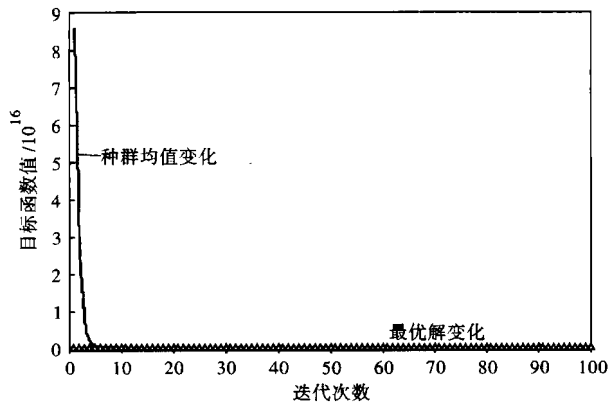


图 3 F5 下工作辊目标函数值的变化情况

Fig. 3 Objective function value change condition of F5 bottom work roll

在辊身中部磨损的基础上,计算工作辊辊身磨损不均匀程度参数。根据式(2)确定 3 部分磨损区域,通过 Origin 三次多项式拟合工作辊边部的两部分区域,得到辊身不均匀系数:

$$a_0 = 0.23837, a_1 = 0.00125, \\ a_2 = -1.458 \times 10^{-5}, a_3 = 3.135 \times 10^{-8}, \\ b_0 = 542.34567, b_1 = -0.95905, \\ b_2 = 5.649 \times 10^{-4}, b_3 = -1.108 \times 10^{-7}$$

2.3 磨损模型结果分析

在各个模型参数确定后,可以通过该模型计算得到 F5 机架下工作辊的磨损曲线,并且将其与实际磨损曲线进行对比,如图 2 所示。在沿整个工作辊辊身方向,通过该模型计算得到的值与实测值进行比较,分别用辊身各点的相对误差平均值反映计算值与实测值的波动情况,用曲线面积相对误差反映其逼近程度。经过计算,辊身各点相对误差绝对值的平均值为 20.6%,回归的磨损曲线与实测的磨损曲线面积相对误差为 3.78%,整个辊身的实测值与计算值的相关系数为 0.9328。

为了进一步验证该模型的可行性,本文还对 F2、F3、F4 机架下工作辊磨损模型的主要参数进行了计算,并对实测值与计算值进行了比较,如表 1 所

示。表 1 中给出了模型中的 4 个主要参数,还给出了整个辊身方向的实测值与计算值的相关系数。由此可见,通过该寻优方法得到的模型的精度较好,与实测值能够较好的吻合,表明了基于本文划分的 3 个磨损区域上所建立的工作辊磨损模型,能够在保证计算精度的情况下反映轧辊实际的磨损状况。

表 1 模型的主要参数及相关系数

Table 1 Main parameters and correlation coefficient of model

机架	a_w	b_w	α	β	相关系数
F2	4.016×10^{-9}	1.839×10^{-5}	0.01279	0.00587	0.7636
F3	2.680×10^{-8}	8.508×10^{-7}	0.04848	0.00064	0.9180
F4	2.372×10^{-8}	2.996×10^{-6}	0.00498	0.00154	0.9542

3 结语

(1) 将轧机的工作辊的磨损区域划分为 3 个部分,在此基础上引入了辊身磨损不均匀函数并建立了工作辊辊身的磨损模型。

(2) 根据现场实测所得到的轧机下工作辊磨损数据,对磨损模型采用遗传算法优化,得到了模型的主要参数。

(3) 将优化后的模型所得到的计算值与实测值进行比较,它们之间的相关系数较高,基本能够与实测情况相吻合,验证了在划分的 3 个磨损区域上建立的磨损模型是可行的,能够满足计算精度要求。

参考文献

- 1 王国栋. 板形控制和板形理论. 北京:冶金工业出版社,1986
- 2 郭忠峰,龚殿尧,荆涛,等. 1700 热连轧机 CVC 轧辊的磨损. 钢铁研究学报,2008,20(1):21
- 3 陈连生,黄传清,连家创. 热带钢连轧机轧辊磨损数值测量及分析. 轧钢,2002,19(1):23
- 4 孔祥伟,史静,徐建忠,等. 热带钢轧机轧辊磨损预测. 东北大学学报,2002,23(8):790
- 5 肖刚,胡秋. 轧辊磨损及其预报. 润滑与密封,2002,27(5):60
- 6 陈连生,连家创. 热带钢轧机轧辊磨损研究. 钢铁,2001,36(1):66
- 7 吴海森,董建荣,刘志民,等. 轧辊磨损数学模型研究. 润滑与密封,2009,34(8):60
- 8 邹家祥. 轧辊磨损预报计算. 钢铁,1986,21(7):23
- 9 曹燕,钱春风,刘相华,等. 1780mm 热连轧机组轧辊磨损模型参数的优化. 轧钢,2010,27(2):24
- 10 郝建伟,陈曦,胡典章,等. 2250CVC 热连轧机工作辊磨损模型及参数的研究. 冶金设备,2008(4):13

李立新(1963-),男,博士,教授,武汉科技大学毕业,计算机辅助材料成型工程研究。

收稿日期:2011-06-22