

PC 热带钢连轧机弯辊力和交叉角的控制决策

郭剑波¹, 江光彪², 连家创³

[1. 上海宝钢工程技术有限公司, 上海 201900; 2. 上海宝山钢铁(集团)公司热轧部, 上海 201900; 3. 燕山大学轧机研究所, 河北 秦皇岛 066004]

摘 要:提出了 PC 热带钢连轧机板凸度和板形的控制原则,确定了弯辊力与交叉角配合的控制策略,并利用所建立的交叉角优化计算模型和实测数据对上海宝山钢铁(集团)公司 1580 PC 热连轧机现场轧制的 5 块带钢进行了成品板凸度、交叉角及弯辊力最佳设定的计算。计算结果表明,成品板凸度的计算值与实测值吻合很好;交叉角优化后,在仍保持板形良好的情况下,成品板的凸度较优化前有不同程度的减小,这说明交叉角优化效果较明显。

关键词:PC 热连轧机;弯辊力;交叉角;控制决策

中图分类号: TG335.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0963(2001)02-0024-04

Control Strategy of Bending Force and Cross Angle for PC Hot Strip Mill

GUO Jian-bo¹, JIANG Guang-biao² LIAN Jia-chuang³

[1. Shanghai Baoshan Engineering and Technology Co., Shanghai 201900, China;
2. Shanghai Baoshan Iron and Steel (Group) Co., Shanghai 201900, China;
3. Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China]

Abstract: The control principle for profile and flatness of PC hot strip mills was put forward, and the control strategy of bending force and cross angle was established. Using the established cross angle optimal calculation model and measured data, the calculation of profile and optimal setup of bending force and cross angle for five steel strips on the spot of 1580 hot strip mill were conducted. The calculation results showed that the calculation values fit well with the measured one. Under the circumstance of keeping good flatness, the crown of the rolled strip was reduced to some extent compared with non-optimal one, which shows the effectiveness of optimal model.

Key words: PC hot strip mill; bending force; cross angle; control strategy

装备有在线轧辊磨床 ORG 技术的 PC 热带钢连轧机,是由日本三菱重工和新日铁两家公司共同开发的、具有 90 年代世界先进水平的热连轧带钢成套设备。我国宝山钢铁(集团)公司(以下简称宝钢)第三期工程引进了这套设备,并已正式投产^[1]。由于 PC 轧机采用了轧辊成对交叉轧制新技术,使得板形控制时除了弯辊力外又增加了交叉角这一控制手段,为此提出了各机架弯辊力与交叉角如何配合才能最大限度地发挥出 PC 轧机板形控制潜力这一课

题。本文作者针对这一重要课题进行了一些探索性工作。

1 板凸度和板形的控制目标

1.1 板凸度和板形控制原则

对辊缝中金属横向流动状态的研究表明,轧件厚度较大时金属易于横向流动、具有较大的断面凸度调节性能;就热带钢连轧机而言,当轧件厚度小于 6~8 mm 时,很难获得良好的断面凸度调节性能。改

变相对凸度,可能会导致宽度上延伸不均,从而造成板形缺陷。因此,控制热带钢板凸度和平直度的原则是:在轧件厚度较大时,应尽可能利用金属易于横向流动、具有较大凸度调节能力的特性最大限度地减小板凸度,然后在随后的机架中使轧制前后相对凸度差基本保持不变,转入以控制平直度为主。

1.2 各机架控制目标

以宝钢 1580 PC 热连轧精轧机组为例,7 个机架中, F_1 (F 代表精轧,下角数字代表机架号)没有交叉机构, F_2 、 F_3 、 F_4 以控制凸度为主,应最大限度地在这 3 个道次内减小板凸度。其中 F_4 机架虽以调节凸度为主,但兼顾平直度; F_5 则以控制板形为主兼顾调节凸度,防止因横向张力差过大导致不良板形的产品进入后续机架,对以后的平直度控制产生不利影响。对于 F_6 、 F_7 这两个末道次机架,则主要控制平直度,应尽可能使这两个机架的横向张力差最小,尤其是最后一个机架。

2 弯辊力和交叉角的控制决策

弯辊力和交叉角是热连轧精轧机组板凸度和板形的主要控制手段。根据这两种手段的控制特点,交叉角将作为板凸度和板形控制的预设定参数,弯辊力虽主要在轧制过程中调整,但也应参与预设定。因此,存在弯辊力和交叉角在预设定时的配合问题。

考虑到弯辊力主要在轧制过程中调整,预设定弯辊力时,一是要保证弯辊力在轧制过程中有足够的上下调节量,二是要尽可能避免使用较大的弯辊力,以提高工作辊轴承的使用寿命。根据此原则,弯辊力预设定值取为最大弯辊力的 $1/3$ 左右。在已确定弯辊力预设定值的条件下,根据上述精轧机组各机架板凸度和板形的控制目标,计算确定各机架交叉角的预设定值。

3 弯辊力和交叉角配合的优化计算

由于宝钢 1580 PC 热连轧机精轧机组在 F_1 入口前及粗轧第二机架 R_2 出口后都没有安装凸度仪,因此 F_1 前入口板凸度的确定方法是通过 R_2 最后一个道次的实测工艺参数,利用数学模型计算轧件出口厚度横向分布。这样,弯辊力和交叉角的设定值计算实际上是从粗轧最后一个道次开始,将求出的 R_2 轧件的出口厚度横向分布 $h(y)$ 作为 F_1 轧件入口处厚度横向分布的初始值,然后从 F_1 开始,一个机架

接一个机架,一直计算到 F_7 为止。在每个机架的计算过程中,都充分考虑了轧制时金属的横向流动,并将轧件的塑性变形与辊系的弹性变形进行迭代求解^[2~5]。计算流程见图 1。

在各个机架的计算过程中,首先预设定弯辊力值,然后比较不同交叉角下计算出的板凸度和前张力横向分布结果,根据各机架的板凸度和平直度控制方案确定优化目标及约束条件,采用优化方法,最终确定最佳交叉角。

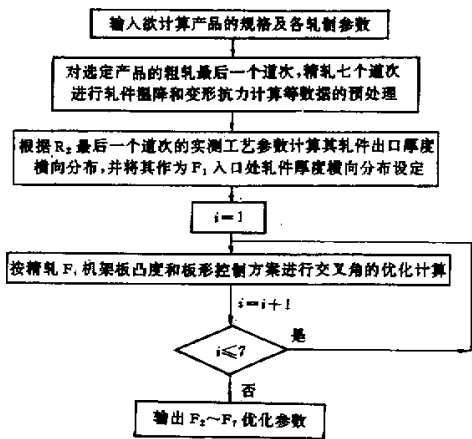


图 1 最佳弯辊力和交叉角的计算流程图

Fig. 1 Calculation flowchart of optimal bending force and cross angle

4 交叉角优化计算值与实际使用值的对比

为了验证上述交叉角优化计算效果,在宝钢 1580 PC 热轧厂进行了一系列带卷跟踪测试,并从中选择精轧成品机架 F_7 出口平直度情况良好的 5 块带钢进行交叉角优化计算值与实际使用值的对比。这 5 块带钢钢种均为 SPCE,成品规格分别为:① $1\ 276\text{ mm}\times 3.02\text{ mm}$;② $1\ 274\text{ mm}\times 3.17\text{ mm}$;③ $1\ 271\text{ mm}\times 3.06\text{ mm}$;④ $1\ 342\text{ mm}\times 3.05\text{ mm}$;⑤ $1\ 347\text{ mm}\times 3.06\text{ mm}$,以下分别简称带钢 1、带钢 2、带钢 3、带钢 4 和带钢 5,其基本轧制参数如表 1 所示。上述 5 块实验带钢精轧各道次弯辊力和交叉角的实际使用值及在此设置下实测和计算出的成品板凸度见表 2。使表 2 中 5 块实验带钢轧制时各道次的弯辊力保持不变,按照图 1 中的交叉角最佳设定计算流程计算出的各机架交叉角优化值及 F_7 出口处

表 1 基本轧制参数

Table 1 Basic rolling parameters of samples

实验 带钢号	参 数	机 架 号						
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇
1	轧件出口厚度/mm	22.23	13.46	8.70	6.12	4.57	3.6	3.02
	工作辊线速度/mm·s ⁻¹	1 350	2 230	3 450	4 900	6 560	8 320	9 940
	轧件温度/℃	930	911	895	882	869	855	840
2	轧件出口厚度/mm	23.87	14.59	9.41	6.50	4.89	3.80	3.17
	工作辊线速度/mm·s ⁻¹	1 320	2 160	3 350	4 850	6 440	8 290	9 940
	轧件温度/℃	934	915	898	885	872	858	842
3	轧件出口厚度/mm	23.01	14.00	9.07	6.30	4.68	3.65	3.06
	工作辊线速度/mm·s ⁻¹	1 320	2 170	3 350	4 820	6 490	8 320	9 930
	轧件温度/℃	941	921	905	891	878	863	846
4	轧件出口厚度/mm	20.87	12.89	8.45	5.80	4.36	3.51	3.50
	工作辊线速度/mm·s ⁻¹	1 470	2 380	3 630	5 290	7 030	8 730	10 060
	轧件温度/℃	958	938	923	909	896	883	869
5	轧件出口厚度/mm	20.59	12.79	8.39	5.76	4.34	3.52	3.06
	工作辊线速度/mm·s ⁻¹	1 410	2 270	3 460	5 040	6 690	8 250	9 490
	轧件温度/℃	949	929	912	897	883	870	856

表 2 精轧各道次弯辊力、交叉角的实际使用值及实测与计算出的成品板凸度

Table 2 Actual bending force, cross angle for each pass and measured, calculated crown of samples

实验 带钢号	参 数	机 架 号							成品板凸度/ μm	
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	实测值	计算值
1	弯辊力/t	90.1	43.6	44.4	22.8	49.1	38.3	40.6	52	48.4
	交叉角/°		0.61	0.67	0.32	0.08	0.17	0.31		
2	弯辊力/t	94.9	45.1	42.2	21.4	49.0	35.6	43.4	46	44.2
	交叉角/°		0.62	0.69	0.35	0.00	0.25	0.31		
3	弯辊力/t	89.6	45.7	44.7	26.2	51.5	38.5	40.1	47	50.6
	交叉角/°		0.54	0.64	0.29	0.00	0.09	0.23		
4	弯辊力/t	104.5	42.3	38.8	33.2	37.3	34.2	44.5	46	53.1
	交叉角/°		0.46	0.42	0.26	0.00	0.00	0.00		
5	弯辊力/t	103.5	40.8	42.7	34.2	40.9	37.0	47.5	43	46.5
	交叉角/°		0.47	0.43	0.26	0.00	0.00	0.00		

表 3 优化交叉角及此优化交叉角下成品板凸度计算值

Table 3 Optimal cross angle and calculated crown under the condition

实验 带钢号	优化交叉角/°						成品板凸度 计算值/ μm
	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	
1	0.72	0.64	0.39	0.09	0.21	0.37	34.4
2	0.70	0.62	0.42	0.08	0.26	0.36	32.2
3	0.74	0.65	0.36	0.04	0.14	0.33	36.4
4	0.57	0.47	0.31	0.16	0.15	0.27	38.7
5	0.58	0.46	0.30	0.13	0.12	0.24	35.5

板凸度值如表 3 所示。

分析实测和计算的各道次弯辊力和交叉角可以发现,现场使用的弯辊力和交叉角设定值存在一些不尽合理之处: F_1 的弯辊力高达 100 t 以上,距上限 120 t 相当接近,长时间在此高负荷下工作必然会使工作辊轴承的寿命受影响。较合理的方法应是降低 F_1 的弯辊力值(可配合对 F_1 的工作辊原始磨削辊型作适度调整),使 F_1 的降凸负荷由 F_2 、 F_3 适当分担。此外, F_4 的弯辊力设定值普遍偏低,最低约 21 t,使得向下调节的余量过小。

5 结 论

(1)实验所用带钢成品板凸度的计算值与实测值比较接近,这为后续的交叉角计算奠定了可靠的模型基础。

(2)优化计算得出的交叉角与实际使用的交叉

角在总体上吻合很好,优化交叉角更强调在最上游机架尽可能减小板凸度,然后在下游机架保持板形。

(3)实验所用带钢成品板凸度比未优化时小,平均减小幅度约 13 μm ,这说明交叉角优化效果比较明显。

参考文献:

- [1] 于世果,俞修明. 宝钢三期工程 1580 mm 热轧带钢轧机简介[J]. 宝钢技术,1995,(5):57-63.
- [2] 连家创. 变分法求解辊缝中金属横向流动的问题[J]. 东北重型机械学院学报,1980,4(1):1-10.
- [3] 连家创,刘宏民. 板厚板形控制[M]. 北京:兵器工业出版社,1996.
- [4] 郭剑波,连家创,江光彪,等. PC 热带钢连轧机力能参数研究之一——轧制力的计算[J]. 钢铁研究学报,1998,10(1):23-26.
- [5] 郭剑波,连家创,焦景明,等. 热带钢连轧机精轧机组板凸度仿真与实验研究[J]. 钢铁,1999,34(5):42-45.