大型H型钢水平矫直压下量的优化*

周 双

(内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁轧钢厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 在型钢矫直过程中,矫直机各矫直辊压下量直接影响型钢的残余应力及弯曲度,为了减少残余应力及弯曲度,达到国家标准,文章对矫直工艺开展了正交实验仿真,根据实验,得出各工作辊对型钢残余应力和弯曲度的影响,从而找出矫直型钢时压下量的最优方案。

关键词: 大型H型钢; 压下; 残余应力; 弯曲度

中图分类号: TG333.2+3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)04-0060-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.04.017

Optimization of Horizontal Straightening Rolling Reduction for Large H-beam

ZHOU Shuang

(*Rail and Beam Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: During the straightening process of H-beam, the rolling reduction of each straightening roll of straightener directly affects the residual stress and bending of H-beam. In order to reduce the residual stress and bending, meeting the national standard, the orthogonal experiment simulation is carried out on straightening process. According to the experiment, the effect of work rolls on the residual stress and bending of H-beam is obtained, and the optimal scheme for rolling reduction during H-beam straightening is found out.

Key words: large H-beam; screw down; residual stress; bending

目前的H型钢生产基本上都受生产工艺的限制,H型钢本身具有的强度性能、尺寸结构的稳定性及使用性能等力学性能都会因残余应力的存在而形成比较大的影响,因此在生产后的H型钢内部基本都存在着残余应力,残余几何形态是判定H型钢在经过矫直工艺后的矫直质量高低的一项重要技术指标,通过各项实验,得出各工作辊对型钢残余应力和弯曲度的影响,限制工件的残余应力,从而提高H型钢矫正质量。

1 正交试验的简介及优点

很显然诸多因素成分试验设计的方式很多,而其中正交试验的设计就是探究多因素多水平的一类可靠地并应用广泛的设计途径,此法凭证正交性从所有的方案中选拔出一些具有典型性的点展开试验,选拔出来有典型性的试验点拥有“平均分散,整齐可比”的特征,具有高经济性、时间快、准确性高、可靠性强的试验设计方式。从而在实际工作中此种试验具有本身的特别含义。因素是指在进行的试验

* 收稿日期: 2017-05-08

作者简介: 周 双(1969-),男,内蒙古赤峰市人,高级工程师,现从事设备管理工作。

设计中对试验结果的可靠性可能产生影响的的指标成分。而在每次试验中因为客观前提的限定也许无法将每一种因素成分都考虑进去，把对试验的指标产生重大影响的成分称为试验因素，把成分在试验中变化的种种状况称为水平[1]。

采用为数不多的试验次数，确定出试验因素成分的最优水平组合，搞清楚各个试验因素成分的关键性及相互作用情况，以便降低进行试验的盲目性进而避免做一些不必要的工作等是正交试验设计的突出性优点，开展数量很少的试验次数制定出可靠性高的生产方案，通过正交设计制定得出的优化组合条件与所有进行的试验所得出的最优组合条件极其具有相似性。正交设计法是探究与分析多因素成分的一类先进性方式。以现场经验和对基本知识的掌握为根本，运用一类布置工整合理的标准化“正交表”来对各设计方案开展计划性探究分析。因为此表的特征是“平均分散，整齐可比”，能在研究的范畴之内，挑选出极具典型性的个别设计条件以便均衡采样。因为是均匀抽样从而可以经过极少的试验次数，得到很好的实际出产及研制环境，即为最优的设计方案。

根据通常的方法开展五因素五水平试验必须开展的试验次数为 $5^5 = 3\ 125$ 次，对正交试验而言仅仅需要开展 25 次试验即可，通过开展四因素成分三水平正交试验会把试验次数大大的减少由 81 次降为 9 次。而正交设计的正交性包括两层含意，其一在正交表的所有列中，各种因素水平都会呈现，且呈现出的数量相当; 其二每两列中各类相异水平的全部组合情况都呈现，且呈现的数量相当。因为正交表具有正交性，使其每一列的所有水平都会呈现，并且部分试验中包含了所有具有因素中的所有可能的水平; 每两列的所有可能的水平组合都包括了，使每两个因素的所有水平及所有水平组合情况没有任何漏掉部分[1]。所以此试验方法的代表性极强、可靠性也很高，所探求的最优组合条件及所有试验次数应有极强的相似性。大多数的正交表已在相关参考书中呈现以便大家需要正交设计时方便采用。

2　试验方案的制定

大型 H 型钢在矫直形变过程中将会发生来回相反方向的弯曲形变，为了开展对 HN1 000 mm × 300 mm 大型 H 型钢的九辊水平矫直形变过程的有限元计算仿真，把上面四个排列的矫直辊压下量作为所要进行正交试验的四个因素，而对每一个因素采用五个水平开展试验设计。而要开展所有的试验，全部完成上面的四因素五水平试验需进行 3 125 次(5^5)，很显然要开展所有的试验是非常浪费时间并且不符合现实条件的，而正交试验设计方法对上面的四因素五水平试验方案只需开展 25 次即可，大大的减少了试验次数及时间，又因其正交性而在进行少量的试验次数的同时其试验可靠性和准确性依旧较高，从而其本身的少量试验成果与所有的试验成果仍有相同的趋向，所以在本课题中选择正交试验对矫直压下量和矫直速度开展相关研制工作[2]。将相关因素参数值与水平参数值输入到统计软件 SPSS 中自动生成正交设计模块，如图 1 所示。



图 1　SPSS 中的正交设计

3　残余应力最优方案的确定

目前，国内外大多数 H 型钢生产厂家都受 H 型钢的生产工艺的限制，生产后 H 型钢内部存在残余应力是不可避免的，判定 H 型钢在经过矫直工艺后的矫直质量高低的一项重要技术指标是残余几何形态，然而伴随着 H 型钢适应范畴的持续展开，进一步的探究在矫直工艺过程中及矫后 H 型钢材内残留应力的演变状态和分布形态是关键性问题所在。而工件本身具有的强度性能、尺寸结构的稳定性及使用性能等力学性能都会因残余应力的存在而形成关键性的影响[3-4]。因此，必须对残余应力的大小加以限制。

根据所制订的正交表中的试验组合方案对 H 型钢开展 5 组矫直工艺过程的计算仿真，借助收集到的试验数据得出各个方案的 HN1 000 mm × 300 mm型钢矫后残余应力值大小如表 1 所示，按照

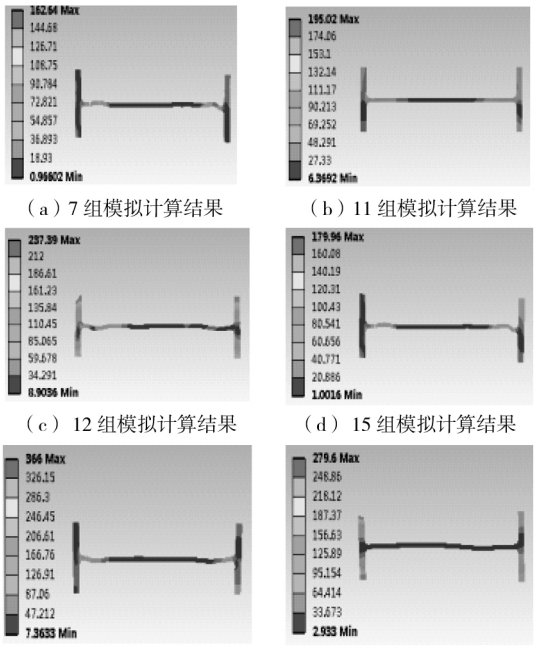
试验中获得的矫直工艺过程后提取出的残余应力值对正交表(如表 2 所示)开展详细深入地分析研究。按照四因素五水平试验方案共需开展 25 次模拟计算,现提取其中的 6 组计算数据如图 2 所示。

表 1 四因素五水平正交设计方案与矫后残余应力值

试验编号	2#辊 A	4#辊 B	6#辊 C	8#辊 D	矫后应力值/MPa
1	8.1	4.7	4.5	3.0	200.46
2	8.1	5.2	5.0	4.5	214.23
3	8.1	5.7	5.5	5.0	190.46
4	8.1	6.2	5.8	3.5	187.06
5	8.1	6.7	6.1	5.2	185.43

表 2 应力值正交试验极差分析表

项目	2#辊 A	4#辊 B	6#辊 C	8#辊 D	试验结果
$\overline{K}_1$	195.53	256.91	216.12	212.50	$\sum$ =200.4
$\overline{K}_2$	162.22	216.23	192.61	198.23	
$\overline{K}_3$	177.80	183.33	179.68	191.49	
$\overline{K}_4$	212.35	171.95	186.21	209.66	
$\overline{K}_5$	254.09	173.57	227.39	190.31	
极差	91.87	84.96	47.71	22.19	
因素主次	2#	4#	6#	8#	
优水平	A5	B5	C1	D1	
优组合	A5B5C1D1				



(a) 7 组模拟计算结果 (b) 11 组模拟计算结果

(c) 12 组模拟计算结果 (d) 15 组模拟计算结果

(e) 21 组模拟计算结果 (f) 22 组模拟计算结果

图 2 模拟计算结果图

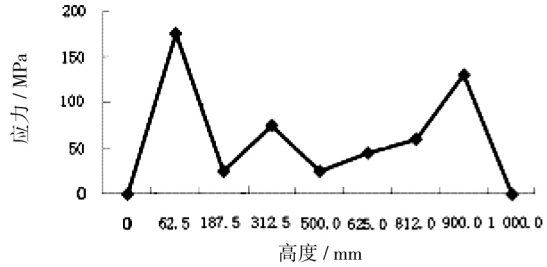
先看 2#辊在第一列,其中一水平共出现 5 次,其对应的残余应力值分别为 200.04 MPa、214.23 MPa、190.46 MPa、187.06 MPa 和185.43 MPa,将其相加记作 K_1,从而得: K_1 =977.64

因为第一个水平共呈现了 5 次,故取其均匀值记为 $\overline{K}_1$,从而得:

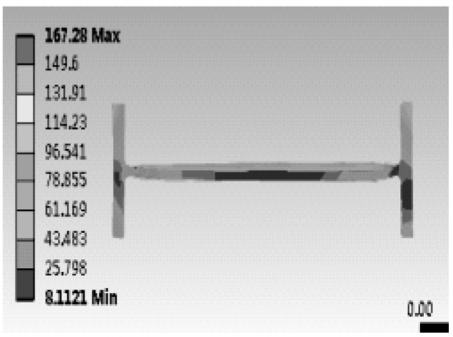
$$K_1 = \frac{\overline{K}_1}{5}$$

根据相同的计算方式能够得出其他另外的 K 值和 $\overline{K}$ 值,将极差值记为 R,其表现为各列中平均值 $\overline{K}_1$、$\overline{K}_2$、$\overline{K}_3$、$\overline{K}_4$、$\overline{K}_5$ 的最大值与最小值之差所获得的结果[5-6]。把计算仿真获得的数据值输入表 1 中。

由表 2 中演算获得的极差值 R 得知,上四个矫直辊的矫直压下量对 HN1 000 mm×300 mm 型钢材矫后残余应力值的影响水平由高到低依次排列为 2#辊、4#辊、6#辊、8#辊。经过正交试验分析后的大型 H 型钢矫后残余应力值相应的最佳组合为 A5B5C1D1 其矫直压下量组合为 10.1 -6.7 -4.5 -3.0。经过严格的仿真模拟计算表明,根据组合方案 A5B5C1D1 的矫直压下量对 HN1 000 mm×300 mm 型钢材混合计算仿真后得出腹板残余应力值的极大值为 167.28 MPa,其截断面及沿对称线等效应力散布如图 3 所示。



(a) HN1 000 mm×300 mm 型钢截断面矫后纵向残余应力值曲线图



(b) HN1 000 mm×300 mm 型钢截断面残余应力云图

图 3 HN1 000 mm×300 mm 型钢截断面残余应力散布曲线及云图

由表 2 可知，采取优组合 A5B5C1D1 仿真模拟获得的最优组合开展矫正工艺后的残余应力值为 167H28 MPa，所以试验 A5B5C1D1 为降低残余应力的最优方案。

4　仿真弯曲度最优方案的确定

弯曲度是权衡 HN1 000 mm × 300 mm 型钢材矫正效果水平的一项关键性量化指标，其涉及到 HN1 000 mm × 300 mm型钢材的出产成品率及应用性[7,8]。按照国家标准 GB/T 11263—2010，热轧 H 型钢和剖分 T 型钢[9]，H 型钢经矫直工艺后应趋于平直，决不允许出现海浪弯和硬弯，而平均弯曲不可以大于全长 1/1 000。因为在矫正工艺过程中有一部分矫正盲区，现对距离 HN1 000 mm × 300 mm 型钢材端面长度为 2 500 ~ 4 500 mm 的一段进行弯曲度探究处理，并借助 SPSS 统计软件计算大型H 型钢矫直仿真后的弯曲度，并将仿真模拟提取到的相关应力值输入表 3 中，然后对水平矫正后HN1000 × 300 型钢材的弯曲度依据正交表(如表 4 所示) 展开直观性分析，按照 R 值从而能够得出对大型 H 型钢腹板弯曲度影响水平的大小由高到低顺次为 8#辊、2#辊、6#辊、4#辊的压下量。

表 3　四因素五水平正交设计组合方案与弯曲度情况

试验编号	2#辊 A	4#辊 B	6#辊 C	8#辊 D	弯曲度 /(mm · m^{-1})
1	8.1	4.7	4.5	3.0	0.85
2	8.1	5.2	5.0	4.5	0.64
3	8.1	5.7	5.5	5.0	0.69
4	8.1	6.2	5.8	3.5	0.35
5	8.1	6.7	6.1	5.2	0.76

表 4　正交试验极差分析表

项目	2#辊 A	4#辊 B	6#辊 C	8#辊 D	试验结果
$\overline{K}_1$	0.66	1.04	1.16	1.06	总平均值
$\overline{K}_2$	0.81	0.93	1,01	0.71	0.90
$\overline{K}_3$	1.27	1.03	0.72	0.64	
$\overline{K}_4$	0.90	0.61	0.56	1.41	
$\overline{K}_5$	0.84	0.87	1.12	0.66	
极差	0.61	0.43	0.60	0.77	
因素主次	8#	2#	6#	4#	
优水平	A1	B4	C4	D3	
优组合	A1B4C4D3				

从表 4 中可获得 HN1 000 mm × 300 mm 型钢材腹板弯曲度值相应的最佳组合为优组合 A1B4C4D3 即矫直压下量为 8.1 - 6.2 - 5.8 - 4.5，通过计算，根据正交试验得出优组合 A1B4C4D3 的矫直压下量对大型 H 型钢开展水平矫直过程的仿真模拟得出矫后腹板弯曲度值为 0.57 mm/m，满足国家相应的标准要求。

从全面角度考虑，为减小 HN1 000 mm × 300 mm型钢材残余应力为目标所制定出的最优组合和增大腹部弯曲度为目标所制定出的最优组合达不到相同的效果，这就必须按照实际生产要求，同时考虑残余应力和弯曲度的最优性来制订对增大 HN1 000 mm × 300 mm 型钢材矫正效果更好的最优组合方案[10]。

5　结论

(1) 上四辊的压下量对 HN1 000 mm × 300 mm 型钢材矫后残余应力的影响水平大小顺次为 2#辊、4#辊、6#辊、8#辊，得到的降低残余应力最优方案为 A5B5C1D1。

(2) 各矫直压下辊的压下量对大型 H 型钢弯曲度的影响水平大小顺次为 8#辊、2#辊、6#辊、4#辊，即弯曲度最优方案为 A1B4C4D3。

(3) 即满足矫后残余应力最小又符合弯曲度的国标要求前提下大型 H 型钢水平矫直上四辊压下量的取值范围分别为 8.1 ~ 10.1 mm，6.2 ~ 6.7 mm，4.5 ~ 5.8 mm，3.0 ~ 4.5 mm，从而确保矫后得到最小的残余应力值，同时弯曲度值达到国家相应标准。

参　考　文　献

[1] 董志洪. 世界 H 型钢与钢轨生产技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社，1999.

[2] 杨文景. 固定不等辊距型钢矫直机的优化设计 [D]. 秦皇岛: 燕山大学，2006.

[3] 王会刚. H 型钢矫直机理及有限元动态仿真研究 [D]. 北京: 北京科技大学，2005.

[4] 张鹏. 弹塑性力学基础理论与解析应用 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社，2014.

[5] G. Schleinzer，F. D. Fischer. Residual stress formation during the roller straightening of railway rails [J]. International Journal of Mechanical Sciences，2001，(43): 2281 - 2295.

(下转第 76 页)

抖动现象。

故障处理过程：①首先从传动系统考虑产生抖动源，对床头箱轴瓦、轴承进行检查，对轴瓦进行重新刮研，轴承进行更换，无效果。②对主轴直流电机进行更换，优化，无效果。③对伺服电机联轴器进行检查、背紧；对 x、z 轴滚珠丝杠进行检查，背紧；对伺服电机进行增益，无效果。④对刀架进行拆解，对导轨面进行刮研、溜板箱进行齿轮传动检查，对镶条进行重新安装、调整，无效果。⑤对尾座套筒及轴承进行检查，轴承间隙大，更换轴承后，回装振动消除。

故障原因分析：由于床头箱与刀架异响，尾座没有明显抖动造成判断失误，轴瓦系统自身精度不足，但床头是动力源，由于尾座轴承精度不够，对机床整体稳定性没有起到辅助作用，对工件产生颤动，引起车床发生共振。在 x 轴横切或斜切时，尾座轴承精度不足对工件颤动影响几乎很小，所以车床产生抖动不明显。

处理方法：对尾座轴承进行更换为精度较高的P5轴承，保证不因为尾座轴承精度不够，引起工件的颤动。

6 结束语

诊断处理数控车床抖动原则：先外部后内部；先机械后电气；先静后动；先简单后复杂；先一般后特殊。在实际生产加工中车床产生抖动，通常是几个因素共同作用引起振动，并可能产生共振现象，故障判断不能单一考虑，要结合具体情况，结合数控车床本身的特点，综合全面考虑各方面情况，作出准确的判断，才能有效排除抖动现象。

参 考 文 献

[1] 王金城，数控机床实训技术 [M]. 北京：电子工业出版社，2006.

[2] 韩志宏，揭晓. 数控加工技术基础教程 [M]. 北京：电子工业出版社，2007.

（上接第63页）

[6] G. Schleinzer，F. D. Fischer. Residual stress in new rails [J]. Materials Science and Engineering，2000，(A228)：280－283.

[7] K. H. Lo，P. Mummery，D. J. Buttle. Characterisation of residual principal stresses and their implications on failure of railway rails [J]. Engineering Failure Analysis，2010，(17)：1273－1284.

[8] Yi Yali，Jin Herong. The Roller Curvature Scotch Straightening Mechanism Study and System Design [J]. Energy Peocedia，2012，(16)：38－44.

[9] GB/T 11263—2010，热轧 H 型钢和剖分 T 型钢 [S].

[10] Y. D. Li，C. B. Liu，N. Xu，X. F. Wu，W. M. Guo，J. B. Shi. A failure study of the railway rail serviced for heavy cargo trains [J]. Case Studies in Engineering Failure Analysis，2013，(1)：243－248.