

热轧 U 型钢板桩切深孔型宽展模型的研究

周庆鹏 王盼盼 杨光 杨雪

(武汉科技大学钢铁冶金及资源利用省部共建教育部重点实验室, 武汉 430081)

摘要 利用铅试样在1:10相似比, 轧辊直径130 mm, 辊身长度265 mm, 最大轧制压力150 kN, 电机功率5.5 kW 的实验轧机上对轧辊直径1200 mm, 辊身长度2200 mm, 最大轧制力25000 kN, 轧机功率1000 kW 的钢厂轧机进行孔型轧制模拟试验, 研究0.1~0.5 mm 压下量, 轧辊直径97.72~107.65 mm, 以及轧制润滑系数0.21~0.45 对轧件宽度变化的影响。结果表明, 轧制的型钢宽展随压下量增大, 摩擦系数的增大而增加; 将复杂非对称面进行分部研究后合并影响的模式研究复杂断面型钢的宽展是可行的; 获得的切深孔型宽展计算模型经实验室轧制变形测量证明是有效的。

关键词 U型钢板桩 切深孔型 宽展 轧制润滑 模拟试验

A Study on Model of Cutting Roll Pass Profile Spread for Hot-Rolled U-Steel Sheet Pile

Zhou Qingpeng, Wang Panpan, Yang Guang and Yang Xue

(Key Laboratory for Ferrous Metallurgy and Resources Utilization of Ministry of Education, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

Abstract The test of grooved roll pass rolling process to simulate steel works mill with roll diameter 1200 mm, length of roll body 2200 mm, maximum rolling force 25000 kN and mill power 1000 kW by laboratory mill with roll diameter 130 mm, length of roll body 265 mm, maximum rolling force 150 kN and mill power 5.5 kW is carried out by using geometric similarity 1:10 roller and lead stock to study the effect of reduction 0.1~0.5 mm, roll diameter 97.72~107.65 mm and rolling lubrication coefficient 0.21~0.45 on variation of rolling stock width. Results show that with increasing width of rolling stock and fabrication coefficient the spread of shape steel increases; it is available to study on spread of shape steel with complex section by combined effect model of divided complex non-symmetry face studied results; the obtained cutting pass spread calculated model is qualified by laboratory rolling deformation measuring.

Material Index U-Steel Sheet Pile, Cutting Roll Pass, Spread, Rolling Lubrication, Simulation Test

由于热轧 U 型钢板桩轧制工艺的不稳定性和轧制过程中出现的变形不均匀性使得其生产过程中成材率极低; 关于它的研究工作虽有一些进展^[1-3], 但对钢板桩轧制中缺陷解决方案的帮助仍然不够。正确预算轧制中型钢宽展是保证断面质量的关键, 设计时的宽展如果和实际轧制宽展相差较大则极易出现缺陷甚至是报废^[4-5], 本文针对实验中出现翘曲扭转缺陷较大的切深孔型进行了深入研究来探讨并建立一种宽展模型。

1 热轧 U 型钢板桩宽展的影响因素和确定方法

型钢宽展的变化与板带钢有所不同, 它可由以下轧制因素构成复杂关系的函数表示^[6]:

$$\Delta B = f(h_0, b_0, h_1, \Delta h, L, D, \psi, \varepsilon, \mu, T, m, p, v) \quad (1)$$

式中: h_0, b_0 - 轧件轧前高度和宽度/mm; h_1 - 轧件轧后高度/mm; Δh - 压下量/mm; L - 变形区长度/mm; D - 轧辊工作辊直径/mm; ψ - 变形区内轧件断面形状; ε - 轧件变形程度; μ - 轧件与轧辊之间的接触摩

擦系数; T - 轧制时的温度/°C; m - 轧件的化学成分; p - 轧件自身的金属机械性能; v - 轧辊的线速度/($m \cdot s^{-1}$)。

型钢宽展的复杂性和不均匀性使得型钢宽展确定的方法主要有: 现场加权法、理论推导法、模型修正法。现在常用的宽展模型有: 古布金、巴赫契诺夫、Sibel、艾克伦德、斋藤好弘以及柴里科夫宽展模型^[7-8]等。

2 热轧 U 型钢板桩宽展模型的实验方案

运用相似原理对轧机以及孔型尺寸进行了几何模拟。钢厂的轧机基本参数为轧辊直径1200 mm、辊身长度2200 mm、轧机功率1000 kW、最大轧制力25000 kN; 实验室轧机基本参数为轧辊直径130 mm、辊身长度265 mm、轧辊转速0.5 r/s、最大轧制压力150 kN、电机功率5.5 kW。

依照钢厂现有的钢板桩轧制机架结构, 结合武汉科技大学轧钢实验室现有轧机的牌坊窗口和万向接轴摆角情况, 试验时按照相似比为1:10来制作轧

辊和坯料。实验仪器和设备主要有坩埚、Φ130 mm 异型孔轧机、划针、铅块、单次孔型小模具、橡皮泥、模具小配件、游标卡尺以及螺旋测微器等。为研究宽展的变化情况,现将坯料分区浇铸,胶泥、铅块及热轧钢 3 种材料常用于实验室模拟轧制过程,只研究变形故可将轧制坯料采用铅材质^[9-10],试样为通过模具浇铸成型,宽展试验轧机和试样如图 1 所示,实验参数如表 1 所示。

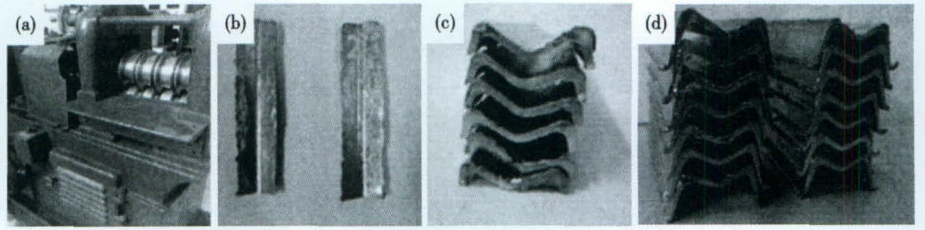


图 1 宽展试验轧机(a)和腹板(b)、翼缘(c)、锁口(d)轧制试样
Fig. 1 Spread test mill (a), rolling sample for belly plate (b), flange (c) and locking plate (d)

3 试验结果分析

根据表 1 所安排的试验方案,在主电机转速恒定条件下,测量了轧件原始腹板和翼缘厚度和宽展、轧件轧后厚度和宽度。钢板桩截面为轴对称断面,可将其复杂对称截面划分为简单的腹板、翼缘和锁口断面,分别将划分后的 3 部分按照实验测量数据计算出压下量,结合宽展测量数据进行比对,找到与实测宽展影响密切相关的因素主要有压下量、轧辊直径、来料厚度以及轧制润滑条件,由移动体积与变形消耗功建立了简单函数关系,求出修正系数后并进行误差分析,建立轧制宽展的数学模型。本试验将研究的轧制润滑条件和辊缝压下量与宽展之间的测量数据,经数学软件分析后获得如图 2 所示的变化规律图。

根据图 2(a)可知,随着相对压下量的增加,宽展也是在逐渐增加的,根据体积不变定律,有压下量才有宽展,而在压下量增加时,会导致截面变形区的接触弧长和接触面积均增加,使得纵向塑性流动阻力增加,再根据最小阻力定律可知,纵向压缩主应力增加,金属沿横向运动的趋势变大,使得宽展也就增加。据图 2(b)可知,当其他条件不变时,随着摩擦系数的增加宽展也增加,在大辊径的宽展增加趋势

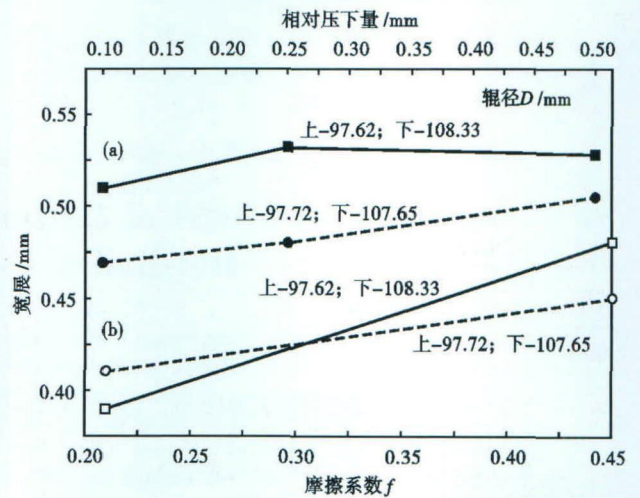


图 2 相对压下量(a)和摩擦系数(b)对轧件宽展的影响
Fig. 2 Effect of relative reduction (a) and fabricant coefficient (b) on spread of rolling stock

表 2 不同压下量轧制的轧件宽展实验数据 /mm

Table 2 Experimental data of spread of rolling stock with different reduction /mm

编号	原始厚度	轧前厚度	轧后厚度	轧前宽度	轧后宽度	实测宽展	压下量	宽展模型	偏差
腹板									
A1	3.41	115.38	3.28	20.55	21.47	0.92	0.13	0.08	0.84
A2	3.41	115.38	3.14	20.51	21.89	1.38	0.27	0.24	1.14
A3	3.41	115.38	3.13	20.52	22.05	1.53	0.28	0.25	1.28
A4	3.41	115.38	2.84	20.75	23.92	3.17	0.57	0.70	2.47
A5	3.41	115.38	3.03	21.07	22.80	1.73	0.38	0.39	1.34
翼缘									
A6	3.17	118.98	2.55	39.24	39.53	0.29	0.62	0.87	0.58
A7	3.17	118.98	2.42	39.47	39.69	0.22	0.75	1.14	0.92
A8	3.17	118.98	2.17	39.31	39.77	0.46	1.00	1.72	1.26
A9	3.17	118.98	1.91	39.21	39.92	0.71	1.26	2.39	1.68
A10	3.17	118.98	1.71	39.46	39.92	0.46	1.46	2.94	2.48
锁口									
A11	2.84	128.86	2.19	50.65	46.98	3.67	0.65	1.08	4.75
A12	2.84	128.86	2.17	50.66	47.08	3.58	0.67	1.13	4.71
A13	2.84	128.86	2.01	50.71	47.53	3.18	0.83	1.54	4.72
A14	2.84	128.86	1.57	50.67	47.81	2.86	1.27	2.82	5.68
A15	2.84	128.86	1.44	49.67	46.09	3.58	1.40	3.24	6.82

表 1 实验参数
Table 1 Experimental Parameters

试验方案的因子	水平	备注
咬入角	水平咬入	轧机之间的弹跳忽略不计
轧制润滑条件系数	0.21;0.45	按照轧辊表面是否涂上润滑油
轧辊压下量/mm	0.1;0.25;0.5	以此 3 段为范围界定
轧辊辊径/mm	D1 = 97.72, D2 = 107.65	修模后 D1 = 97.62, D2 = 108.33
轧件测量部位	腹板,翼缘,锁口	腹板与厚板轧制相似,翼缘与薄板轧制相似
轧制材料	铅	采用压铸方式浇注,制样后经粗轧末道次完成

更加明显,这是由于切深孔型中使得坯料产生延伸的拉压应力系数变化的增加而减弱,就反使得宽展增加,同时上下辊径差增大即孔型形状变化增大,也会导致宽展的增大。

实验时结合压下量、辊径以及轧制润滑的改变

表3 不同辊径轧制的轧件宽展实验数据/mm

Table 3 Experimental data of spread of rolling stock with different roller diameter/mm

编号	原始厚度	辊径	轧后厚度	轧前宽度	轧后宽度	实测宽展	宽展模型	偏差	
腹板	B1	3.39	115.38	2.91	22.80	24.05	1.25	0.55	0.70
	B2	3.39	116.56	1.96	22.12	24.55	2.43	2.64	0.21
	B3	3.39	117.82	1.65	20.92	24.41	3.49	3.49	0
	B4	3.39	117.18	1.77	23.67	23.13	0.54	3.15	3.69
翼缘	B5	3.13	118.98	2.17	39.50	39.64	0.14	1.64	1.50
	B6	3.13	121.93	2.01	39.33	39.07	0.26	2.08	2.34
	B7	3.13	122.22	1.41	39.27	38.77	0.50	3.80	3.30
	B8	3.13	121.81	1.19	39.31	39.34	0.03	4.49	4.46
锁口	B9	2.64	128.86	1.47	51.49	47.73	3.76	2.70	6.46
	B10	2.64	137.96	0.98	51.34	50.85	0.49	4.61	5.10
	B11	2.64	138.78	1.16	50.99	45.25	5.74	3.94	9.68
	B12	2.64	137.98	2.25	50.85	46.83	4.02	0.58	4.60

表4 不同润滑条件轧制的轧件宽展实验数据/mm

Table 4 Experimental data of spread of rolling stock with different lubricant coefficient

编号	原始厚度	辊径	轧后厚度	轧前宽度	轧后宽度	实测宽展	润滑系数	宽展模型	偏差	
腹板	C1	3.22	115.38	2.84	20.75	23.92	3.17	0.35	0.41	2.76
	C2	3.22	115.38	3.01	20.72	21.27	0.55	0.25	0.17	0.38
翼缘	C3	3.18	118.98	1.91	39.21	39.92	0.71	0.35	2.41	1.70
	C4	3.18	118.98	2.15	39.23	39.73	0.50	0.25	1.68	1.18
锁口	C5	2.73	128.86	1.57	50.67	47.81	2.86	0.35	2.58	5.44
	C6	2.73	128.86	1.83	49.40	46.83	2.57	0.25	1.70	4.27

进行测量轧制宽展的变化情况(表2)。

由表2看出,腹板处的宽展变化和所建立宽展模型之间的误差较小,而锁口处的误差则较大,这主要是锁口处的变形剧烈以及锁口中性面确定存在误差等引起。表3中记录的数据为不同轧辊辊径时的轧制宽展的变化情况,选用不同辊径仍然对腹板、翼缘及锁口处的宽展进行测量,发现变化规律与压下量变化时的规律类似,腹板处的变化误差最小而锁口处的误差变化最大,翼缘处为两者之间。由表4可更加清晰的看出腹板的变化与所建立模型基本是

参考文献

- [1] 李浩进,杭乃勤,孙志亮,等. 钢板桩轧制过程充型模拟及轧制力有限元分析[J]. 特殊钢,2012,33(1):5-8.
- [2] 刘升,张振兴,周庆鹏,等. 轧制润滑和辊速差对热轧U型钢板桩轧制头部翘曲影响的模拟实验[J]. 特殊钢,2013,34(3):11-13.
- [3] 刘升,张振兴,龚娜,等. 热轧U型钢板桩精轧过程金属流动行为的有限元分析[J]. 特殊钢,2013,34(5):1-4.
- [4] 王廷溥,齐克敏. 金属塑性加工学—轧制理论与工艺[M]. 北京:冶金工业出版社,2006:132-155.
- [5] 鞍钢中型厂编写组. 中型钢材生产[M]. 北京:冶金工业出版社,1980:3-17,115-121.
- [6] 王有铭. 型钢生产理论与工艺[M]. 北京:冶金工业出版社,1996:27-169.
- [7] 董永刚,张文志,宗家富,等. 轧制板坯成型异型坯的宽展公式研究[J]. 燕山大学学报,2003,27(4):352-354.

吻合的,翼缘处的误差可在修正范围内,锁口处的误差较大,但对于整个宽展量而言腹板由于尺寸较大金属流动相对较少,翼缘处对轧辊孔型方向是成一定倾角而挤压变形,唯有锁口处变形时在孔型内填充,这3部分综合变形有相互补偿的过程,因此在建立宽展模型时可将分布宽展模型进行几何叠加。

为探索钢板桩在孔型轧制中产生翘曲缺陷的机理,同时又不重复工艺参数的影响,本试验方案主要测定轧件不同部位在同一轧制条件下轧件表面宽展的变化情况。

由已有的数据和图表可知,轧件之所以会产生翘曲是因为在轧制方向上不同位置的宽展不同,根据移动体积与消耗功成正比的关系采用巴赫契诺夫经验模式,结合实验数据的线性回归,可得实际宽展模型如下:

$$\Delta b = 3.45 \frac{\Delta h}{2H} \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) - 10.46 \Delta h + 0.4 \quad (2)$$

式中: Δb -宽展; Δh -压下量; R -轧辊辊径; H -轧制前坯料厚度; f -轧制润滑系数。

依据模型分析如果能控制轧机的相关参数将宽展系数平缓化,则可有效减小轧件的翘曲变形。

5 结论

(1)型钢轧制宽展随压下量增大、摩擦系数增大而增加。

(2)获得一种切深孔型的宽展计算模型 $\Delta b = 3.45 \frac{\Delta h}{2H} \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) - 10.46 \Delta h + 0.4$,经实验室轧制变形测量证明是有效的。

国家级大学生创新训练计算项目(201210488024)

- [8] 奚铁,钱奕峰,章静. H型钢开坯轧制变形分析[J]. 轧钢,2004,21(6):47-49.
- [9] 赵刚,胡衍生. 材料成型及控制工程综合实验指导书[M]. 北京:冶金工业出版社,2008:96-97,105-106.
- [10] Crawford R J, Byfield M P. A Number Model for Predicting the Bending Strength of Larssen Steel Sheet Piles[J]. Journal of Constructional Steel Research,2002,58(10):1361-1362.

周庆鹏(1989-),男,武汉科技大学(本科),轧制工艺与模具制造。

联系人:刘升(1984-),男,博士生,工程师。

E-mail:Liu.sh2008@163.com

收稿日期:2013-12-02