

## 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

刘升<sup>1</sup> 张振兴<sup>2</sup> 周庆鹏<sup>1</sup> 王盼盼<sup>1</sup> 杨光<sup>1</sup> 杨雪<sup>1</sup>

(1 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;

2 武汉钢铁集团公司港务公司, 武汉 430082)

**摘要** 按照1:10相似比利用铅试样在实验室轧机上对热轧 U 型钢板桩的轧制过程进行模拟, 通过改变 4 种轧制润滑条件、0.6~1.0 的 5 种辊转速差等轧制条件, 得出轧制条件与 U 型钢板桩头部翘曲之间的关系。试验结果表明, 对于孔型轧制产生的翘曲程度初步由辊速差引起, 但孔型轧制的翘曲程度也随轧制润滑条件不同而变化。为了改善孔型轧制引起的翘曲缺陷, 在其他参数不变下可选用 0.65 的辊速比与未经润滑的轧辊表面参数相配合。

**关键词** U 型钢板桩 轧制润滑 辊速差 头部翘曲

### Simulation Test on Effect of Rolling Lubrication and Velocity Difference on End Bending of Hot-Rolled U-Section Sheet Piling

Liu Sheng<sup>1</sup>, Zhang Zhenxing<sup>2</sup>, Zhou Qingpeng<sup>1</sup>, Wang Panpan<sup>1</sup>, Yang Guang<sup>1</sup> and Yang Xue<sup>1</sup>

(1 Key Lab for Ferrous Metallurgy and Resources Utilization of Ministry of Education, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081; 2 Stevedoring Co, Wuhan Iron and Steel (Group) Corp, Wuhan 430082)

**Abstract** According to similarity ratio 1:10, a simulation on rolling process of hot-rolled U-section steel sheet piling is carried out by using laboratory mill with test stock of lead and the relationship between rolling conditions and end bending of hot-rolled U-section steel sheet piling is obtained by change 4 kinds of rolling lubrication conditions and 5 kinds of velocity difference in 0.6~1.0. Test results show that the bending degree produced in pass rolling is preliminarily caused by roll velocity difference, but the bending degree also changes with different rolling lubrication condition. In order to improve the bending defect caused by pass rolling process, as other rolling parameters keep constant, it is available to select 0.65 roll velocity ratio combined with roller surface parameter in no-lubrication condition.

**Material Index** U-Section Steel Sheet Piling, Rolling Lubrication, Roller velocity difference, End Bending

热轧 U 型钢板桩<sup>[1]</sup>是一种广泛应用于建筑基础设施、地基项目和水利工程的高效、环保型建筑材料。目前国内能生产钢板桩的厂家基本都是采用孔型轧制法, 孔型轧制时由于尺寸的不对称性使得轧制坯料在孔型各处的轧制参量变化复杂, 传统的大变形区域的轧制力距以及轧制线速度的变化, 使得轧制过程中极易产生翘曲现象。为了解决钢厂钢板桩轧制过程中的翘曲缺陷, 针对钢厂设备条件, 在实验室进行了模拟轧制试验, 以探明轧制时头部翘曲程度与轧制润滑条件以及上下辊速差的关系。

### 1 实验设备、轧制孔型及坯料

#### 1.1 轧机及孔型

钢厂的轧机基本参数为轧辊直径 1 200 mm、辊身长度 2 200 mm、轧机功率 1 000 kW、最大轧制力 25 000 kN; 实验室轧机基本参数为轧辊直径 130 mm、辊身长度 365 mm、辊转速 0.55 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。实验室已装配好的热轧 U 型钢板桩的精轧孔型以及进入精轧孔型的轧制坯料现场照片如图 1 所示。

#### 1.2 试样制备及测量说明

胶泥、铅块及热轧钢 3 种材料常用于实验室模拟轧制过程<sup>[2]</sup>。轧制坯料采用铅试样, 试样先通过模具浇铸, 再经过粗轧机架中末机架孔型轧制出的成品为试验坯料如图 1(b) 所示。

对于翘曲程度, 一般多可用曲率来描述。为了使测量和计算简便且数据不失真, 试验中将曲率定义为单位弦长上的翘曲高度及翘曲高度与翘曲弦长的比值。在本试验中, 由于钢板桩属型钢类, 其断面为异型, 将单位弦长的选取定在其中心轴上, 依次测量的翘曲高度也选在中心轴面上(图 2a)。

### 2 试验方案

现场型钢轧制上下工作辊分别各由 1 台电机驱动, 当上下辊转速不一致时会导致坯料头部翘曲程度的不同, 因此上下辊速比也必须考虑。为了考察该因素对翘曲的影响, 由于孔型轧制过程与坯料接

触的轧辊辊径处尺寸各异,所以试验采用异径变速的方式调整。设定轧制过程中坯料局部的轧制速度相等,依据形变较大部位的孔型尺寸选取上下辊的辊速,如图 2(b)所示,结合实验室轧机辊速可调范围<sup>[3]</sup>,大致选取辊速比。综合考虑,选取如表 1 试验方案。

由于来料厚度是浇铸后经过轧制获得,为保持数据的准确性,其厚度不采用同一均值;上下辊转速比的选取是结合了实验室轧机的齿轮减速箱的调节范围。在制定试验方案之前,选用长方体铅块,在本台轧机上进行了摩擦系数测定试验,通过测量长方体铅块轧制润滑前后的压下率、咬入角、前滑值,然后通过 STONE 公式<sup>[46]</sup>计算出本次试验的摩擦系数。

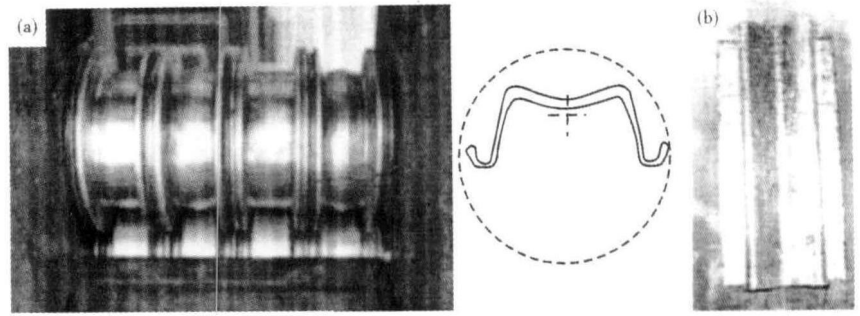


图 1 精轧孔型(a)及试样坯料(b)  
Fig. 1 Pass of finishing rolling (a) and test stock (b)

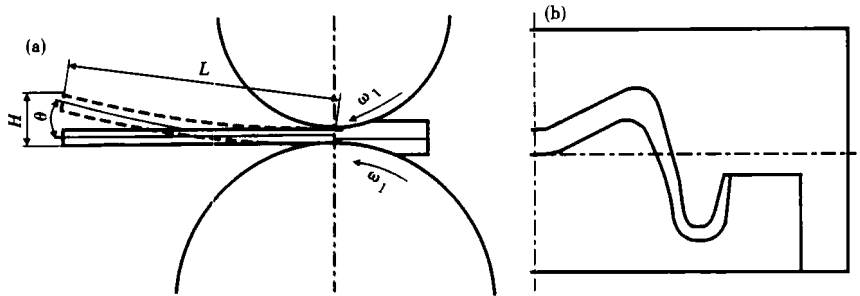


图 2 中心面翘曲测量(a)和孔型中大变形区域(b)示意图  
Fig. 2 Schematics of measurement of bending center surface (a) and area of large deformation in pass (b)

表 1 试验方案  
Table 1 Test schemes

轧件材料	轧制咬入	沿轧制方向轧件中心处辊径/mm		上下辊转速比	轧辊涂润滑剂
		上辊	下辊		上辊-下辊
铅	自然咬入	97.72	107.65	0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0	涂-涂
					不涂-不涂
					涂-不涂
					不涂-涂

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 未涂与涂润滑剂的轧辊面摩擦系数的测量

采用长方体铅块,在热轧 U 型钢板桩模拟试验轧机上选取平辊部位进行轧制,分别测量轧制前后铅块厚度、轧辊辊径、轧辊上做上标记的两个小坑间距离以及做上标记的铅块表面两个小凸点间的距离,测量数据及计算辊面摩擦系数<sup>[7-8]</sup>如表 2 所示。

表 2 摩擦系数的测定  
Table 2 Measurement of friction coefficient

轧制润滑因素	铅块轧前厚度	平轧处辊径 D/mm	轧前轧辊坑距 L/mm	铅块轧后厚度	轧后铅块凸距 l/mm	咬入角 $\alpha/^\circ$	压下率 ( $\eta$ )	摩擦系数 ( $f$ )
	H/mm	mm	L/mm	h/mm	l/mm			
未涂剂	5.01	105.02	30.06	3.82	31.21	0.11	0.236	0.21
已涂剂	5.01	105.02	30.06	3.93	31.61	0.10	0.214	0.45

#### 3.2 不同转速比以及不同轧制润滑条件与轧制翘曲率的变化关系

通过调速档选定辊速比后,将准备好的铅块试样,经过如下情况的孔缝:上下辊均不涂油、只有上辊涂油、上下辊都涂油和只有下辊涂油 4 种轧制润滑情况,而后依次改变调速档,分别记录各个转速比情况下的不同润滑条件时的翘曲程度的测量值,并计算出相应影响因子下的翘曲率,见图 3。

#### 3.3 试验结果与分析

##### 3.3.1 转速比与翘曲程度变化关系的分析

图 3(a)中翘曲零面表示沿轧制方向不发生翘曲时的水平面,上辊侧表示翘曲方向倾向上辊,同样下辊侧表示翘曲方向倾向下辊。由图 3 看出,上下辊不同轧制润滑条件产生的翘曲变化差距甚大,上下辊在相同润滑条件下的翘曲变化有规律可循:

(1)在同一轧制润滑条件下,钢板桩的翘曲率随着上下辊转速差的变化而变化;在不同轧制润滑条件下,钢板桩翘曲率变化相差很大。图 3 中可以清晰看出,在上辊侧,则是向上翘曲;在下辊侧,则是向下翘曲,不同轧制润滑条件和不同转速比下,翘曲方向不同,翘曲的大小也不同。

(2)上辊不添加润滑油,下辊添加润滑油时,坯

料是上翘且翘曲程度随辊速比变化不是呈现单调性变化,而是增减交替变化,使得轧制过程不稳定。上辊添加润滑油,下辊不添加润滑油时,坯料出现下翘且翘曲程度很大,其随着转速比的增加呈现出先增后减的趋势。

(3) 上下辊表面摩擦均为 0.21 时,钢板桩翘曲程度随着辊速差的增大而减小,并且与翘曲零面有交点,此时如果调整辊速比为 0.84,则钢板桩的翘曲可能接近 0;上下辊表面摩擦系数均为 0.45 时,钢板桩的翘曲程度也是随着上下辊速差的增加而减小,且与翘曲零面有交点,此时若调整上下辊速比为 0.65,则钢板桩的翘曲可能接近为 0;据图 3 中曲线可知,上下辊轧制润滑一致时,翘曲变化稳定,且一定的轧制润滑条件需要与一定的辊速比相匹配。

### 3.3.2 轧制润滑与翘曲程度变化关系的分析

图 3(b) 中的翘曲零面与图 3(a) 中一致,翘曲零面线以上是上翘曲,零面线以下是下翘曲。为分析轧辊表面摩擦系数与轧制翘曲程度的关系,结合试验测得数据,选用下辊表面摩擦系数为 0.21 时,上辊表面摩擦系数分别为 0.21 和 0.45 时的翘曲程度变化曲线。

由图 3(b) 可以看出,所有转速比情况下,翘曲程度是随着轧辊表面摩擦系数的增加而增加。转速比为 0.6 和 0.7、0.7 和 0.8 以及 0.9 和 1.0 时,两者有交点表明调整辊面摩擦系数和转速比时可以产生同样程度的翘曲。由图 3(b) 可以看出,当轧辊表面摩擦系数调整一定时,选用较大的上下辊速差,同样可以有效降低轧件的翘曲程度。

结合图 3 和现场的实际生产情况,轧制润滑条件的调整不会达到试验现有的精度,且实现精确轧制润滑条件的成本较高,但对于一定轧制润滑要求下做出合适的轧制转速配比也是一种简单有效的解决翘曲缺陷的办法。结合现场综合考虑,若轧制润滑条件容易调整,在调整一定的轧制润滑情况下可选用较大的轧制速度差;若现场轧制润滑条件难以实现调整,则可选用合适的较小的轧制速度差来进行轧制,一般未经过润滑工艺处理的情况下进行轧制,建议选用上下辊转速比为 0.65 左右,其刚好为孔型的极限辊速比,由此可确保翘曲率最小,还可避

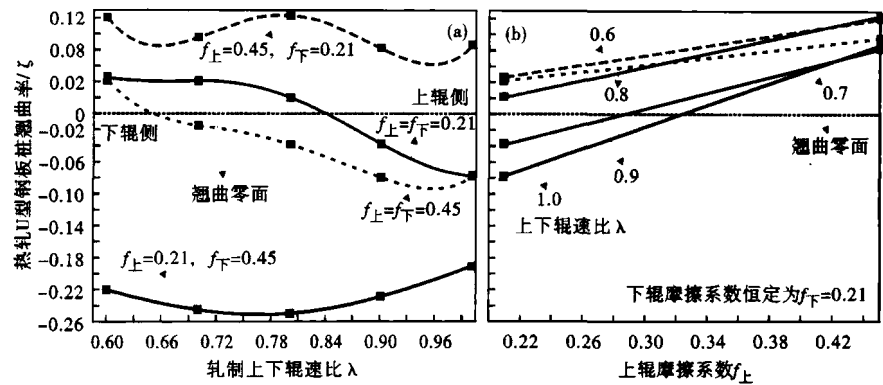


图3 转速比与翘曲率(a)以及轧制润滑与翘曲率(b)的关系

Fig. 3 Relationship between rolling velocity ratio and bending curvature (a) and between rolling lubrication and bending curvature (b)

免上下电机由转速差而引起的力矩差等负面影响。

## 4 结论

(1) 对于孔型轧制产生的翘曲程度初步由辊速差引起,但孔型轧制的翘曲程度也随轧制润滑条件不同而变化。

(2) 为了改善孔型轧制引起的翘曲缺陷,在其他参数不变下可选用 0.65 的辊速比与未经润滑的轧辊表面参数相配合。

武汉科技大学青年科技骨干培育计划资助(2011xz005)

### 参考文献

- [1] 任安超,桂美文,周桂峰,等. 热轧钢板桩 SY390BZ 的低温冲击韧性[J]. 特殊钢, 2011, 32(1): 55-57.
- [2] 金晓光,刘玉礼,赵立新,等. H 型钢万能连轧过程的综合实验研究[J]. 燕山大学学报, 1998, 22(2): 105-108.
- [3] 胡衍生,程晓茹,李虎兴,等. 中厚板轧制头部弯曲的试验研究[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2003, 26(1): 3-4.
- [4] Byfield M P, Crawford R J. Oblique Bending in U-section Steel Sheet Piles. Structures and Buildings, 2003, 156(3): 254-255.
- [5] Byfield M P, Mawer R W. Analysis of Reduced Modulus Action in U-section Steel Sheet Pile. Journal of Constructional Steel Research, 2004, 60(3-5): 401.
- [6] 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: 58, 72-74.
- [7] 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.
- [8] Crawford R J, Byfield M P. A Number Model for Predicting the Bending Strength of Larssen Steel Sheet Piles. Journal of Constructional Steel Research, 2002, 58(10): 1361-1362.

刘升(1984-),男,硕士,工程师,2010年武汉科技大学毕业,材料加工数值模拟及产品质量控制、轧钢工艺优化及设计。

收稿日期:2012-12-18