

## 微张力减径机孔型设计对 45 钢厚壁管“内六方”的影响

李秀莲<sup>1</sup> 苟复钢<sup>2</sup>

(1 青海大学建筑工程系, 西宁 810016; 2 西宁特殊钢集团有限责任公司, 西宁 810005)

**摘要** 通过将 6 机架定径前 45 钢管外径和总减径率分别由 132 mm 和 12.95% 降至 128 mm 和 9.87%, 并降低单机架减径率和改善微张力减径孔型设计参数, 使 3 辊式机组生产的  $\Phi 114 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$  45 钢管“内六方”缺陷指数  $P$  值由 1.40% ~ 1.52% 降至 0.45% ~ 0.67%, 明显减少微张力减径钢管的“内六方”缺陷。

**关键词** 微张力减径机 内六方 减径率 孔型设计参数

## Effect of Roll Pass Design for Stretch Reducing Mill with Faint Tension on Hexagonal Bore of Heavy Walled Tube of 0.45C Steel

Li Xiulian<sup>1</sup> and Gou Fugang<sup>2</sup>

(1 Qinghai University, Xining 810016; 2 Xining Special Steel Co Ltd, Xining 810005)

**Abstract** With decreasing the outside diameter of 0.45C steel tube before 6 stands reducing and the total reducing rate respectively from 132 mm and 12.95% to 128 mm and 9.87%, decreasing single stand reducing rate and improving roll pass design parameters for faint tension reducing, the hexagonal bore index  $P$  value of  $\Phi 114 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$  0.45C steel tube produced by three roll mill decreases to 0.45% ~ 0.67% from original 1.40% ~ 1.52%, therefore the deformity of hexagonal bore of faint tension-stretched reducing steel tube is obviously decreasing.

**Material Index** Stretch Reducing Mill with Faint Tension, Hexagonal Bore, Reducing Rate, Roll Pass Design Parameters

钢管在经过微张力减径机定径时, 由于金属的横向变形(沿径向流动)导致钢管管壁不均匀增厚, 使其横截面的内孔呈“六方形”, 俗称“内六方”。“内六方”是金属横向不均匀变形的结果<sup>[1]</sup>, 也是钢管壁厚不均匀的一种特殊表现形式。

西宁特殊钢集团有限责任公司(简称西宁特钢)生产的热轧钢管, 轧机单机架最大减径率为 3.5%, 平均张力系数小于 0.48, 采用微张力轧制, 三辊式十四架两电机集中差速传动微张力减径机定径, 能使钢管的直径和壁厚达到最终成品尺寸。但这套设备在轧制小直径的厚壁钢管时, 易出现“内六方”缺陷<sup>[2]</sup>, 严重影响壁厚和内径精度, 本工作主要通过调整减径率和修改减径机孔型参数, 制定的生产工艺能有效降低“内六方”缺陷。

### 1 生产工艺流程及工艺要点

生产工艺流程为: 坯料锯切→坯料加热→穿孔→轧管→微张力减径→冷却→矫直→切管→包装→上交。

$\Phi 114 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$  管 45 钢的化学成分为 (%): 0.42 ~ 0.50C, 0.17 ~ 0.37Si, 0.50 ~ 0.80Mn,  $P \leq 0.035$ ,  $S \leq 0.035$ 。钢管生产的主要参数为加热

温度 1 200 ~ 1 250 °C、穿孔规格  $\Phi 132 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ , 轧管定径前规格  $\Phi 128 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$ 。

### 2 工艺参数的确定及孔型设计

#### 2.1 目前存在的问题

该厂使用  $\Phi 120 \text{ mm}$  连铸坯料轧制生产  $\Phi 114 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$  钢管时, 钢管的壁厚系数较大, 使定径后的钢管横向壁厚不均, 造成钢管的内表面出现的“内六方”程度较为严重(图 1a, b)。

钢管“内六方”程度通常用  $P$  值(%)表示<sup>[3]</sup>。其计算公式为:

$$P = [(S_{BM} - S_{AM}) / (S_{BM} + S_{AM})] \quad (1)$$

式中:  $S_{AM} = \sum S_A / 6$ ;  $S_{BM} = \sum S_B / 6$ ;  $S_{AM}$ - 对应孔型顶部或辊缝处的 6 个壁厚值;  $S_{BM}$ - 对应孔型顶部到辊缝的中点处的 6 个壁厚值。

当  $P = 0$  时, 钢管内为圆形, 无“内六方”;  $P$  值愈大, 表示“内六方”的程度愈严重。 $\Phi 114 \text{ mm}$  机组生产  $\Phi 114 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$  管材时, 通过实测“内六方”钢管的壁厚值, 即在成品管同一截面上分别测取点  $S_A$  和  $S_B$  各 6 个数值(图 1a), 然后由公式(1)计算得出  $P$  值(%) (表 1)。结果表明“内六方”程度较为严重。

2.2 影响“内六方”的因素

微张力减径时,减径率是产生“内六方”的最主要因素,总减径率和单机架减径率的影响机理相同。减径率过大,张力系数增大,致使金属变形时轴向流动加剧,而径向流动减弱,径向壁厚不均。即单机架减径率大,意味着顶部和辊缝处的高度压缩量不均匀性和金属流动差异愈大,会加剧内多边形的产生。总减径率越大,这种不均匀性越严重,“内六

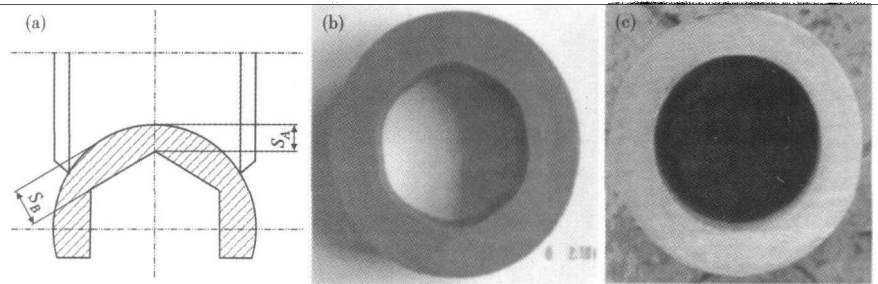


图1 (a)钢管“内六方”示意图;(b)优化前钢管“内六方”形貌;(c)优化后钢管内孔形貌

Fig. 1 (a) Schematic of hexagonal bore of steel tube; (b) morphology of hexagonal bore of steel tube before process optimization; (c) morphology of bore of steel tube after process optimization

表1 优化前Φ114 mm×22 mm“内六方”钢管壁厚值和P值  
Table 1 Wall thickness of Φ114 mm×22 mm steel tube with hexagonal bore and P value before process optimization

组号	壁厚值/mm						P 值/%	
1	S <sub>11</sub>	22.15	22.16	22.57	21.97	22.11	21.82	1.42
	S <sub>11</sub>	22.77	22.96	22.89	22.66	22.51	22.81	
2	S <sub>12</sub>	22.03	22.13	21.96	22.34	22.02	22.01	1.40
	S <sub>12</sub>	22.51	22.65	22.58	22.95	22.78	22.78	
3	S <sub>13</sub>	21.93	21.87	22.15	22.32	21.97	22.14	1.52
	S <sub>13</sub>	22.40	22.65	22.85	22.98	22.65	22.95	

方”产生的可能性就越大。总之,总减径率和单机架减径率过大,则P值较大,“内六方”较严重;那么可以通过合理分配单机架减径率和总减径率,减轻钢管“内六方”程度。

总减径率计算公式如下<sup>[4]</sup>:

$$\rho \sum = (D_{外} - D_{平}) / D_{外} \times 100\% \quad (2)$$

式中:D<sub>平</sub>-成品孔型平均直径;D<sub>外</sub>-定径前外径。

由公式(2)得知,减小总减径率可以利用增大成品孔型平均直径和减小定径前外径两种途径,通过减小定径前外径可以明显减小总减径率。轧管机通过选用小芯棒和调整轧管机轧制参数的办法,控制减径前外径,达到减小总减径率。具体措施见表2。

表2 Φ114 mm×22 mm 钢管微张力减径工艺优化前后参数  
Table 2 Parameters of faint tension-stretched reducing for Φ114 mm×22 mm steel tube before and after process optimization

工艺	坯料		轧管规格/mm		实选芯棒/mm	轧辊距离/mm	导盘距离/mm	孔型平均直径/mm	总减径率/%
	直径/mm	定径前外径	壁厚	壁厚					
优化前	120	132	22	22	82	126	144	114.91	12.95
优化后	120	128	22	22	78	122	139	115.37	9.87

单架减径率计算公式如下<sup>[4]</sup>:

$$\rho = (D_{i-1} - D_i) / D_{i-1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:i-机架序号;D<sub>i</sub>-第i架孔型平均直径;D<sub>i-1</sub>-前一机架孔型平均直径。

在总减径率不变的情况下,增加成品机架数,即可减小单架减径率。优化前使用5架定径机,优化后使用6架定径机。由公式(3)可以计算得出各机架单架减径率(表3),第1架减径率取决于定径前外径的大小,实际生产中此数为一个范围值,所以第1架减径率为一不确定值。

表3 Φ114 mm×22 mm 钢管微张力减径工艺优化前后单架减径率/%

Table 3 Single stand reducing rate of faint tension-stretched reducing for Φ114 mm×22 mm steel tube before and after process optimization /%

定径机架次	优化前	优化后
1	-	-
2	3.35	2.50
3	3.35	2.50
4	2.01	2.47
5	0.70	1.40
6	-	0.60

2.3 工艺参数的确定

微张力减径机传统孔型的主要参数包括:宽展系数、孔型平均直径、孔型长半轴、孔型短半轴、椭圆度系数。

宽展系数θ<sub>i</sub>是微张力减径机孔型设计中的核心参数,当宽展系数确定后其它孔型参数随之确定。目前选定宽展系数θ<sub>i</sub>主要还是根据经验,根据原北京钢铁学院和宝山钢铁总厂1980年合编的短期培训班讲义《140 钢管连轧机组生产工艺》介绍,当S/D≥0.12时,宽展系数θ<sub>i</sub>与单架减径率ρ<sub>i</sub>的经验

关系见表 4<sup>[4]</sup>。其它计算公式如下:

$$D_i = A_i + B_i$$

$$A_i = D_i / [1 + (1/\xi_i)]$$

$$B_i = D_i / (1/\xi_i)$$

$$\xi_i = 1 / [\theta_i (1 - \rho_i)]$$

表 4 宽展系数  $\theta_i$  与单架减径率  $\rho_i$  的经验关系  
Table 4 Experience Relation between spread coefficient  $\theta_i$  and single stand reducing rate  $\rho_i$

单架减径率/%	宽展系数( $\theta_i$ )
3.0	0.990
4.0	0.989
5.0	0.988
6.0	0.978
7.0	0.986
9.0	0.984
11.0	0.981

刀具直径:

$$W_D = (B - B^2/D_s - A/2 + A^2/D_s) + 0.75A^2 / (B - B^2/D_s - A/2 + A^2/D_s)$$

式中: $D_s$ - 轧辊理论直径,  $D_s = 380$  mm;  $A$ 、 $B$ - 分别为孔型长半轴和短半轴。根据计算出的刀具直径和距离,在专用机床上进行加工,即可得到相应尺寸和椭圆度的孔型。

$$W_A = [(D_s/2 - B)^2 - (D_s/2 - W_D/2)^2]^{1/2}$$

### 2.4 孔型设计

增加了微张力减径机定径机架后,根据以上计算式,对原有孔型参数进行了重新设计。优化前和优化后的孔型参数见表 5。

表 5 优化前后的  $\Phi 114$  mm  $\times$  22 mm 钢管减径孔型参数对比

Table 5 Comparison of pass parameters of reducing for  $\Phi 114$  mm  $\times$  22 mm steel tube before and after process optimization

工艺	孔型系列	机架序号	孔型平均直径 ( $D_i$ )/mm	宽展系数 ( $\theta_i$ )	孔型长半轴 ( $A_i$ )/mm	孔型短半轴 ( $B_i$ )/mm	椭圆度 ( $\xi_i$ )	轧辊理论直径 ( $D_s$ )/mm	刀具直径 ( $W_D$ )/mm	刀具距离 ( $W_A$ )/mm
优化前	B	100	126.43	0.987 0	64.51	61.92	1.041 8	380	132.76	33.52
	B	200	122.19	0.997 0	62.23	59.96	1.037 8	380	127.77	31.69
	B	300	118.10	0.997 4	60.13	57.97	1.037 4	380	123.48	31.35
	B	301	115.72	1.006 2	58.27	57.45	1.014 2	380	117.71	19.23
	B	302	114.91	1.007 0	57.46	57.46	1.000 0	380	114.91	0
优化后	B	100	126.88	0.990 0	64.53	62.35	1.034 9	380	132.17	30.64
	B	200	123.71	0.993 0	62.85	60.85	1.032 9	380	128.59	29.61
	B	300	120.62	0.993 3	61.27	59.34	1.032 6	380	125.36	29.35
	B	301	117.71	1.002 6	59.51	58.20	1.022 6	380	120.93	24.34
	B	302	116.07	1.002 2	58.38	57.69	1.012 0	380	117.74	17.65
B	303	115.37	1.006 0	57.68	57.68	1.000 0	380	115.37	0	

### 3 实际生产效果

减小总减径率和单架减径率以及优化孔型参数后,对  $\Phi 114$  mm  $\times$  22 mm 成品钢管进行实物取样,通过实际测量数据(表 6),表明“内六方”程度显著降低,达到了国家标准,并完全满足用户需求。通过对优化前后所测的数据比较,可以得知,应用优化后的  $\Phi 114$  mm 孔型所生产出的钢管“内六方”度量值明显减小(图 1c)。

表 6 优化后  $\Phi 114$  mm  $\times$  22 mm “内六方”钢管壁厚值和 P 值  
Table 6 Wall thickness of  $\Phi 114$  mm  $\times$  22 mm steel tube with hexagonal bore and P value after process optimization

组号	壁厚值/mm							P 值/%
1	$S_{A1}$	22.10	22.45	22.56	22.48	22.41	22.41	0.45
	$S_{B1}$	22.50	22.65	22.81	22.57	22.63	22.47	
2	$S_{A2}$	22.01	22.54	22.57	22.02	22.18	22.27	0.67
	$S_{B2}$	22.23	22.68	22.69	22.65	22.54	22.59	
3	$S_{A3}$	21.98	22.23	22.21	22.34	22.68	22.18	0.55
	$S_{B3}$	22.34	22.54	22.45	22.56	22.72	22.49	

### 4 结论

生产实践证明,  $\Phi 114$  mm 机组三辊式十四架两电机集中差速传动微张力减径机,可以通过减小总减径率和单机架减径率以及选择合理的孔型设计,来减少直至消除微张力减径钢管的“内六方”缺陷。

#### 参考文献

- 于 辉, 臧新良, 杜凤山, 等. 无缝钢管张力减径过程内六方产生的模拟分析. 钢铁, 2008, 43(3): 53
- 成海涛. 无缝钢管缺陷与预防. 成都: 四川科学技术出版社, 2007
- 李超颖, 张新民. 中厚壁钢管微张力减径时内不规则的研究. 钢管, 2004, 33(10): 25
- 邱永泰. 集中差速传动微张力减径机的生产工艺设计. 钢管, 2007, 36(6): 21

李秀莲(1968-), 女, 副教授, 1990 年 7 月毕业于西安冶金建筑学院, 钢铁冶金及镁合金材料的研究。

收稿日期: 2009-06-03