

钢管“内六方”成因分析及对策

赵晓林, 边勇兴

(天津钢管有限责任公司, 天津 300301)

摘要: 天津钢管有限责任公司引进德国曼内斯曼-德马克公司的 $\Phi 250$ mm三辊微张力减径机, 该机采用14架集中差速传动。对于小直径的厚壁钢管, 定径过程中容易出现“内六方”现象。分析了微张力减径机在生产过程中, 因减径机速度设置不当使钢管产生“内六方”的原因, 提出了合理设计孔型并优化减径机主电机、叠加电机转速的解决对策。经生产实践, 成品管“内六方”度量值变小, 效果良好。

关键词: 无缝钢管; 内六方缺陷; 成因; 分析; 对策

中图分类号: TG355.11 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2004)03-0035-04

Causes for Internal Hexagonal Shape of Steel Tube and Countermeasures

Zhao Xiaolin, Bian Yongxing

(Tianjin Steel Tube Co., Ltd., Tianjin 300301, China)

Abstract: The $\Phi 250$ mm 3-roll, slight-stretch reducing mill of Tianjin Steel Tube Co. is imported from Mannesmann Demag, Germany. It employs a centralized differential drive system for all of its 14 roll stands, which means in case of rolling small-sized heavy-wall tubes, internal hexagonal shape is apt to occur during sizing. It is identified that improper speed setting of the mill is responsible for formation of the said internal hexagonal defect of the tube. Accordingly, corrective actions are proposed and implemented, including more effective groove design and optimizing the speeds of the main motor and the superimposed motor. As a result, the internal hexagonal defect of the final tube has been obviously reduced.

Key words: Seamless steel tube; Internal hexagonal defect; Cause; Analysis; Corrective actions

0 前言

天津钢管有限责任公司(简称天津钢管)引进德国曼内斯曼-德马克公司的 $\Phi 250$ mm三辊微张力减径机, 用作热轧管最终的精轧设备, 该设备采用14架集中差速传动。德马克公司只提供了最初产品大纲中钢管定径的速度制度。在生产薄壁无缝钢管时, 壁厚控制比较理想, 没有发现因减径而使壁厚精度恶化的趋势; 而对减径率较大、壁厚较厚的钢管, 如果减径机速度设置不当, 荒管通过减径机后, 壁厚精度严重恶化。本文以 $\Phi 127$ mm $\times$ 16 mm钢管为例, 分析减径机变形区和速度制度因素对钢

管“内六方”成因的影响, 以制定出合理的速度制度, 从而减轻钢管在减径过程中的“内六方”, 使钢管壁厚满足几何尺寸及公差要求。

1 厚壁管“内六方”成因

1.1 三辊微张力减径机轧制变形区分析

图1为钢管减径时, 出口侧的三辊轧制示意。根据理论, 轧制接触面可分:

(1)前滑区(AC弧段)。此区域钢管线速度大于轧辊线速度, 摩擦力方向与轧制方向相反。

(2)中性线(C点)。此线处钢管线速度等于轧辊线速度, 没有相对滑移, 属于静摩擦。

(3)后滑区(CB弧段)。此区域钢管线速度小于轧辊线速度, 摩擦力方向与轧制方向相同。

赵晓林(1966-), 男, 工艺技术科科长, 高级工程师, 主要从事钢管轧制工艺研究工作。

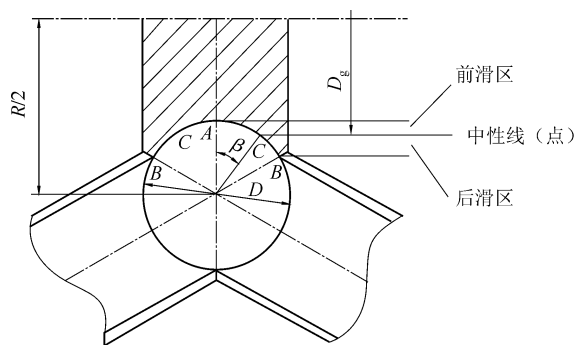


图1 三辊定减径孔型示意

图中 $R/2$ 为轧辊名义半径， D_0 为轧辊工作直径。减径量相对较小时轧辊与钢管的接触区如图2所示。

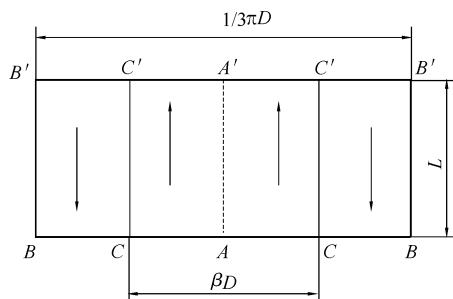


图2 轧辊与钢管的接触

图2中箭头方向为摩擦力方向。在稳定轧制过程中，轧制力始终是平衡的。在轧制接触面中，设 F_t 为前滑区面积， F_h 为后滑区面积， F_z 为总接触面积， β 为分界角，滑移系数为

$$\chi = (F_h - F_t) / F_z$$

$$\chi = 1 - 6\beta / \pi$$

$$\beta = \pi(1 - \chi) / 6$$

χ 与 β 的界面及含义如表1所示。

表1 χ 与 β 的界面及含义

分界面	滑移系数	分界角/(°)	轧制情况
CC'在AA'线上	$\chi=1$	$\beta=0$	全后滑
CC'在AA'与BB'之间	$-1 < \chi < 1$	$0 < \beta < 60$	前滑与后滑同时存在
CC'在BB'线上	$\chi=-1$	$\beta=60$	全前滑

对于减径机，在轧制过程中，第1架前滑区面积大于后滑区面积， $\chi < 0$ ；末架后滑区面积大于前滑面积， $\chi > 0$ ；中间机架前后滑区面积相近， $\chi \rightarrow 0$ ， $\beta \rightarrow 30^\circ$ 。

对于微张力减径机，各架前后滑区面积受张力

影响较大。与多机架张力减径机（24架或28架）相比，微张力减径机由于第1架只受前张力作用，所以前滑区面积要大些；而末架只受后张力作用，所以后滑区面积要大些。

通过对其轧制表的分析表明，除 $\Phi 114 \text{ mm} \times 4.5 \text{ mm}$ 外，轧制其他规格钢管时各架均存在前后滑区，且 χ 、 β 范围如表2所示。

表2 χ 与 β 的范围

架次	χ	β
第1架	0.033~0.47	29~44
末架	0.20~0.60	12~24

正是由于在定径过程中前滑区和后滑区的存在，使由摩擦引起的钢管沿圆周向的附加轴向应力分布不均匀。由于前、后滑区的影响，附加轴向应力沿孔型的分布如图3所示。由图可见，前滑区形成附加轴向压应力，后滑区形成附加轴向拉应力，造成壁厚变化不均。

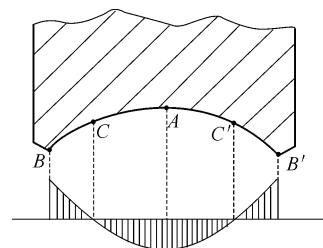


图3 附加轴向应力沿孔型周向的分布

1.2 减径过程中金属变形分析

在减径过程中，因金属沿周向（孔型宽度上）的流动是不均匀的，所以沿孔型宽度上的壁厚增厚也是不均匀的，如图4所示。

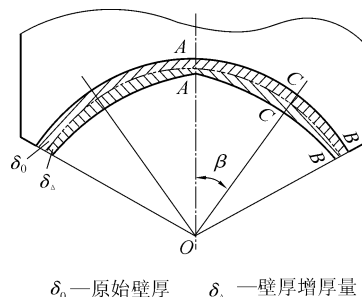


图4 壁厚不均的分布

对单一机架孔型顶部A点进行变形分析：A点承受的单位压应力最大，该点轧辊转速最低，轴向

拉应力最小。B点承受的单位压力最小,该点轧辊转速最高,轴向拉应力最大,壁厚增厚的趋势相对最小。C点的应力状态及壁厚增厚趋势较大。由于减径机相邻架中3个轧辊的布置相错60°,当张力达到一定量时,B点壁厚总体呈减薄趋势,C点壁厚总体呈增厚趋势,该区域金属形成一段增厚段,由此形成了“内六方”。

对于中等壁厚及薄壁管,附加轴向应力对于壁厚变化的附加影响较小,“内六方”现象不明显,壁厚精度能够满足要求;但是对于厚壁管,附加轴向应力对于壁厚的影响较大,“内六方”现象较为明显,致使壁厚精度不能满足要求。

2 减轻“内六方”的对策

通过对“内六方”产生原因的分析,要减轻“内六方”,就要改善轧制过程中沿管子周向附加轴向应力的分布,使该应力沿管子周向均匀分布。

2.1 优化减径孔型设计

合理的孔型设计可以减轻“内六方”,在孔型设计时可采取以下措施:

(1)合理分配单机架减径率,单机架减径率不可过大;

(2)在保证脱管的前提下,采用较小的椭圆度。

以上措施可以改善轧辊与轧件的接触弧长度,保证管子周向的轴向应力分布均匀。

2.2 优化减径机速度制度

通过设定合理的减径机主电机、叠加电机转速及轧件入口速度、出口速度,调节前滑区和后滑区的分布,即增大前滑区,使轴向应力沿钢管周向均匀分布,减轻“内六方”。

3 减径速度制度优化实例

3.1 “内六方”的量度

量度“内六方”的方法如图5所示。

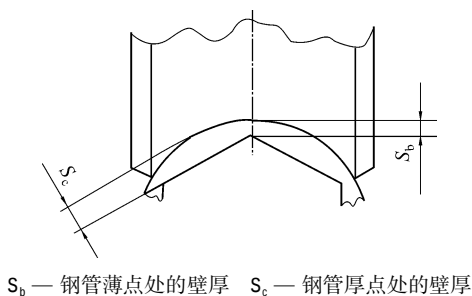


图5 内六方的量度

三辊微张力减径机“内六方”量度参数为P,即

$$P = (S_{cm} - S_{bm}) / (S_{cm} + S_{bm})$$

式中 $S_{cm} = \sum S_c / 6$, $S_{bm} = \sum S_b / 6$ 。

3.2 减径机速度制度的优化

生产Φ127 mm×16 mm的钢管,前8架采用A0100~A0800的通用机架,紧随其后的3架采用A0811、A0812、A0813精轧机架。这套孔型的特点是通用单机架的减径率和椭圆度均较小,精轧机架的减径率分别为3.08%、1.65%和0.29%,椭圆度分别为1.034、1.008和1.000;荒管来料尺寸为Φ171.70 mm×15.7 mm。

采用不同的减径速度制度生产该规格钢管,若速度制度不合理就会产生严重的“内六方”。

3.2.1 优化前的减径速度制度

最初生产Φ127 mm×16 mm钢管采用的减径速度制度为:

主电机转速	550 r/min
叠加电机转速	165 r/min
入口速度	0.98 m/s
出口速度	1.31 m/s

按以上速度制度生产的钢管,出现了严重的“内六方”现象,断面如图6(a)所示,多边形量化度P值达到0.18,壁厚公差不能满足用户要求。各架的转速、入口速度、出口速度、分界角及滑移系数见表3。可以看出,由于该速度制度下的分界角较小,滑移系数大,导致前滑区面积小,使沿钢管周向附加的轴向应力分布严重不均,故而产生“内六方”。



(a) 优化前

(b) 优化后

图6 不同减径速度制度生产的Φ127 mm×16 mm钢管断面

3.2.2 优化后的减径速度制度

通过对钢管产生“内六方”的减径速度制度的分析,要改善附加轴向应力沿钢管周向的均匀分布,减轻“内六方”,就应增大前滑区的面积,增大分界角,减小滑移系数。为此,采取了以下减径

表3 优化前的速度制度下各机架的参数(Φ127 mm×16 mm钢管)

机架位置 (以入口计)	转速 /(r·min ⁻¹)	入口速度 /(m·s ⁻¹)	出口速度 /(m·s ⁻¹)	工作辊径 /mm	分界角 /(°)	滑移系数
1	49.05	0.98	1.02	397.3	25.24	0.16
2	49.95	1.02	1.05	401.7	24.93	0.17
3	50.95	1.05	1.08	405.1	23.88	0.20
4	52.02	1.08	1.12	411.4	25.54	0.15
5	53.09	1.12	1.15	413.9	23.88	0.20
6	54.18	1.15	1.18	416.2	21.86	0.27
7	55.30	1.18	1.22	421.5	23.19	0.23
8	56.39	1.22	1.25	423.6	21.03	0.30
9	57.50	1.25	1.28	425.4	18.46	0.38
10	58.48	1.28	1.30	424.8	14.34	0.52
11	59.23	1.30	1.31	422.6	8.60	0.71

速度制度:

主电机转速 **550 r/min**
叠加电机转速 **105 r/min**
入口速度 **1.00 m/s**
出口速度 **1.25 m/s**

按以上优化的减径速度制度轧制钢管,其“内六方”现象大大减轻,断面如图6(b)所示,多边形量化度P值只有**0.06**,壁厚公差能够满足用户要求。各架转速、入口速度、出口速度、分界角及滑移系数如表4所示。

表4 优化后的速度制度下各机架的参数(Φ127 mm×16 mm钢管)

机架位置 (以入口计)	各架转速 /(r·min ⁻¹)	入口速度 /(m·s ⁻¹)	出口速度 /(m·s ⁻¹)	工作辊径 /mm	分界角 /(°)	滑移系数
1	48.69	1.00	1.02	400.3	27.55	0.08
2	49.26	1.02	1.04	403.4	26.38	0.12
3	49.89	1.04	1.06	406.0	24.69	0.18
4	50.57	1.06	1.09	411.8	25.92	0.14
5	51.25	1.09	1.12	417.5	27.15	0.10
6	51.95	1.12	1.14	419.3	25.04	0.17
7	52.66	1.14	1.17	424.5	26.14	0.13
8	53.35	1.17	1.19	426.2	23.92	0.20
9	54.06	1.19	1.21	427.7	21.42	0.29
10	54.68	1.21	1.24	433.3	25.46	0.15
11	55.16	1.24	1.25	433.0	24.77	0.17

由表3、4可以看出,该速度制度下的分界角较优化前的速度制度明显增大,滑移系数减小,有效地增大了前滑区面积,使钢管周向附加轴向应力分布较为均匀,减轻了“内六方”。

4 结 语

“内六方”是Φ250 mm三辊微张力减径机生产小直径、大壁厚规格钢管的一种常见缺陷,在不对

现有孔型进行改进的前提下,通过调节减径机的速度制度,改善前滑区、后滑区的分布是可以减轻钢管“内六方”,使壁厚偏差满足有关标准的要求。

5 参考文献

1 王廷溥. 轧钢工艺学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981.
(收稿日期: 2003-06-24)
(修定日期: 2003-12-22)