# MINI – MPM 连轧机 Φ242 mm 系列孔型开发*

王 栋, 王增海, 张立志, 张文亮, 李 磊

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司, 内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 气瓶专用管市场越来越广阔, 180作业区原有的Φ238 mm不能轧制出Φ232.0 mm×5.5 mm规格的气瓶管。为了尽早开拓市场, 在现有连轧机孔型参数基础之上, 按照顶部延伸系数分配法, 开发出Φ242 mm系列连轧机孔型, 同时采用原有的Φ230.3 mm芯棒, 实现了Φ232.0 mm×5.5 mm气瓶专用管生产, 并交付客户使用, 收到客户好评。

**关键词:** MINI – MPM; 孔型设计; 连轧机

**中图分类号:** TG333.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 – 5438(2020)06 – 0051 – 05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.06.014

## Development of Φ242 mm Series of Pass for MINI – MPM Tandem Mill

*Wang Dong, Wang Zeng – hai, Zhang Li – zhi, Zhang Wen – liang, Li Lei*

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

**Abstract:** The market of special pipe for gas cylinder is broader and broader, the Φ232.0 mm×5.5 mm gas cylinder cannot be rolled with the original Φ238 mm pass of 180 work zone. In order to expand the market as early as possible, the Φ242 mm series of pass for tandem mill is developed based on the parameters of pass for existing tandem mill and distribution method of top coefficient of elongation as well as the original Φ230.3 mm mandril is applied so that the production of Φ232.0 mm×5.5 mm gas cylinder is realized. It is put into service and received a favorable reception of customer.

**Key words:** MINI – MPM; pass design; tandem mill

包钢钢管公司Φ180 mm机组是从意大利INNSE公司引进的MINI – MPM限动连轧机组, 这套机组采用的是5机架连轧管机。目前, 这套机组共计有三个孔型系列, 分别是Φ194 mm系列、Φ238 mm系列、Φ266 mm系列。其中Φ238 mm系列主要轧制极限规格为219.0 mm×6.0 mm规格, 为了开拓气瓶市场, 成功开发Φ232.0 mm×5.5 mm规格的气瓶专用管, 决定采用Φ245 mm的坯料, 开发Φ242 mm系列连轧机孔型。

## 1 连轧机孔型设计步骤及结果

此次孔型开发主要针对MINI – MPM连轧机以及脱管机进行, 对菌式穿孔机也进行孔型系列开发, 对定径机、张力减径机则只做部分孔型调整。各轧机的极限参数见表1。

* 收稿日期: 2020 – 07 – 13

作者简介: 王 栋(1985 – ), 男, 内蒙古包头市人, 工程师, 主要从事无缝钢管生产质量管理及新产品开发工作。

表1 轧机的极限参数

| 菌式穿孔机 | | 五机架限动芯棒连轧管 | | 12机架定径机 | | 24架减径机 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最大延伸率/% | 最大扩径率/% | 最大延伸率/% | 最大径壁比 | 最大总减径率/% | 最大总减壁率/% | 最大总减径率/% | 最大总减壁率/% |
| ≤6 | ≤30 | ≤3.8 | 43.5 | ≤35 | ≤0 | ≤85 | ≤40 |

### 1.1 连轧机轧管时的变形分析

连轧管机常采用直线或圆弧侧壁的圆孔型，有时也采用椭圆孔型和圆孔型(带侧壁)的组合孔型。在圆孔型(带侧壁)中轧制钢管时抽芯棒困难，而在椭圆孔型中轧管时管体精度差，但较圆孔型抽芯棒容易，为了在连轧机后面机架中使管子内表面和芯棒间形成一定的间隙，必须造成金属在孔型中横向流动的条件。

连轧机轧管时分为一次咬入和二次咬入，其中一次咬入为属于减径工序，二次咬入属于减壁工序。毛管在连轧机中进行一次咬入时，由于毛管的外径大于孔型直径，毛管最先与孔型接触点是在侧壁的4个点上，假定接触点位于侧壁角处，可推导出咬入角与轧辊直径、侧壁角和毛管直径的关系(式1)，在摩擦系数确定的情况下，轧辊工作直径越大，侧壁角越大，或毛管的直径越小，越有利于一次咬入。实现一次咬入后，二次咬入是轧辊、芯棒共同作用的区域，毛管除在轧辊之间摩擦力作用下有咬入力外，同时还受到芯棒与管子内表面摩擦力的作用阻止其咬入，其咬入角按孔型顶部进行计算咬入角(式2)。在进行连轧机孔型设计时，可事先计算一下最大允许咬入角和最大允许减壁量，作为确定各架孔型分配减壁量和孔型高度尺寸的参考。

$$\tan\alpha = \left(\left(D - a\sin\theta\right)^2 - \left(D - \left(d^2 - a^2\cos^2\theta\right)^{1/2}\right)^2\right) / \left(3\left(D - a\sin\theta\right)^2 + \left(D - \left(d^2 - a^2\cos^2\theta\right)^{1/2}\right)^2\right)^{1/2} \quad (1)$$

$$\tan\alpha = \left(\left(D - a\right)^2 - \left(D - d\right)^2\right) / \left(\left(D - d\right)^2\right)^{1/2} \quad (2)$$

式中：$\alpha$——咬入角，(°)；

$D$——轧辊工作直径，mm；

$\theta$——孔型侧壁角，(°)；

$a$——孔型高度，mm；

$d$——毛管直径，mm。

以上咬入条件的推导主要是针对第一架，连轧机除第一架外，以后各架都存在前架给与轧件后推力的作用，可以帮助实现一次、二次咬入。

通过对咬入条件的校核，本次设计的Φ242 mm孔型系列选择椭圆孔型与圆孔型组合。第一架的压下量大，毛管较厚，不存在钢管抱芯棒的问题，而且为了更好的咬入选择椭圆孔型。第2—5架选用带圆弧侧壁的圆孔型，其中第4—5架为精轧机架，采用相同的孔型[1]。

### 1.2 确定设计常量

选用芯棒直径为230.3 mm，连轧壁厚为5.5 mm，毛管壁厚为15.5 mm、选用芯棒插棒间隙为10 mm。根据以上各参数计算出连轧机出口外径为242 mm(2×连轧机壁厚+1.001 1×芯棒直径)。见表2。

表2 Φ242 mm孔型设计常数 mm

| 连轧机出口外径 | 连轧机出口壁厚 | 芯棒直径 | 穿孔机毛管壁厚 | 穿孔机毛管外径 |
|---|---|---|---|---|
| 242.0 | 5.5 | 230.3 | 15.5 | 273.0 |

### 1.3 孔型设计及计算过程

根据毛管以及荒管的尺寸计算出MINI－MPM连轧机的总延伸系数$\mu_z$及顶部延伸系数$\mu\delta_z$。并将总延伸系数和顶部延伸系数合理分配到5个机架上。

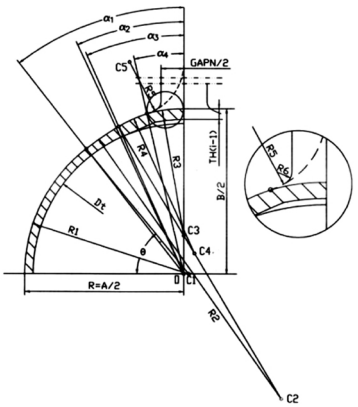
分配原则如下

(1)第一架的延伸系数较大，可以补偿由于穿孔机设定不当引起的毛管尺寸偏差。第二架可包容第一架的延伸。第四架的延伸系数一般在1.12左右。每架的平均延伸系数应小于1.55。MPM孔型示意图见图1。

(2)MINI－MPM连轧机是由五机架组成，1#、3#、5#架是横辊，2#、4#架是立辊，横立辊互成90°，交替布置。所以设计顶部延伸系数时，1#、3#、5#架总延伸系数等于2#、4#架总延伸系数。MINI－MPM连轧机Φ242 mm孔型各机架延伸系数见表3。

表 3　MINI – MPM 连轧机 Φ194 mm 孔型各机架延伸系数

| 项目 | 1# | 2# | 3# | 4# | 5# | 总延伸系数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 平均延伸系数 | 1.51 | 1.47 | 1.19 | 1.09 | 1.01 | 3.25 |
| 顶部延伸系数 | 1.79 | 2.23 | 1.61 | 1.34 | 1.04 | |




$R_1$ – 槽底弧半径; $R_2$ – 第一脱离弧半径; $R_4$ – 第二脱离弧半径; $R_5$ – 连接弧半径; GAPN – 额定辊缝; $R_6$ – 连接弧和辊缝的过渡圆角; $D_t$ – 芯棒直径(热); TH(i – 1) – 前机架槽底厚度; $\alpha_1$ – 第一脱离角; $\alpha_2$ – 轧件与芯棒脱离角; $\alpha_3$ – 第二脱离角; $\alpha_4$ – 连接弧角; B – 孔型宽; A – 孔型高; $C_1 \sim C_5$ – 槽底弧圆心、第一脱离弧圆心、第二脱离弧圆心、辊缝处钢管圆弧圆心、连接弧圆心

图 1　孔型示意图

根据孔型结构及各机架孔型顶部延伸系数,计算出各机架孔型半径,进而计算出孔型的其他参数。轧辊孔型以使金属在轧机中有一个非常好的流动状态为参考标准。其中部分系数为经验参数,见表 4。经计算得出 MINI – MPM 连轧机 Φ242 mm 孔型各参数见表 5。

## 2　孔型校核

(1) 孔型理论截面积计算方法如下。图 2 为孔型中钢管截面积计算示意图。

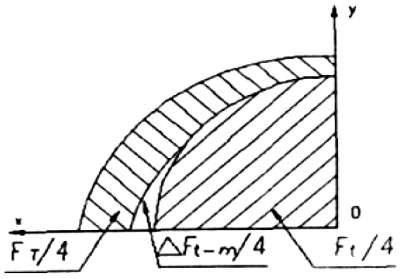



图 2　孔型中钢管截面积计算示意

$$F_i = F_{i-1}/\mu_i \tag{3}$$

式中: $F_i$—— 第 $i$ 架机架的截面积,$mm^2$;

$F_{i-1}$—— 第 $i-1$ 架机架截面积,$mm^2$;

$\mu_i$—— 第 $i$ 架机架的延伸系数。

孔型实际截面积计算方法如下:

$$F_T = (F_p - F_t - \Delta F_{t-m}) \tag{4}$$

式中: $F_T$—— 孔型中钢管断面积,$mm^2$;

$F_p$—— 孔型断面积,$mm^2$;

$F_t$—— 芯棒断面积,$F_t = \pi D_t^2/4$,$mm^2$;

$D_t$—— 芯棒热状态直径,$D_t = 1.001\ 1\ D_{t0}$,mm;

$D_{t0}$—— 芯棒冷态直径,mm;

$\Delta F_{t-m}$—— 辊缝处棒管间的间隙面积,$mm^2$。

经校核,钢管的理论截面积与实际截面积相差在误差允许范围内。

(2) 把设计好的孔型参数输入到 mpmmod 程序中计算顶部延伸系数和平均延伸系数,计算结果与原孔型的计算结果相比较,相差在误差允许范围内。经校核,最终确定了孔型的合理性。

表 4　MINI – MPM 连轧机 Φ242 mm 孔型计算的经验参数[2]

| 序号 | 参数名称 | 1# | 2# | 3# | 4# | 5# |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 偏心系数 | 1.03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 第一脱离角/(°) | 35.00 | 35.00 | 38.00 | 40.00 | 40.00 |
| 3 | 第一脱离比例 | 2.50 | 2.50 | 2.00 | 1.75 | 1.75 |
| 4 | 第二脱离比例 | | | 1.12 | 1.20 | 1.20 |
| 5 | 连接角/(°) | 16.50 | 13.00 | 13.00 | 8.50 | 8.50 |
| 6 | 宽展系数 | 1.000 | 1.030 | 1.025 | 1.020 | 1.020 |

表5 MINI－MPM连轧机Φ242 mm孔型各参数

| 参数名称 | 1# | 2# | 3# | 4# | 5# |
|---|---|---|---|---|---|
| 各架槽底壁厚/mm | 9.19 | 7.40 | 5.71 | 5.50 | 5.50 |
| 孔型直径/mm | 249.38 | 245.80 | 242.43 | 242.00 | 242.00 |
| 槽底弧半径/mm | 128.43 | 122.90 | 121.21 | 121.00 | 121.00 |
| 偏心距/mm | 3.01 | | | | |
| 第一脱离角/(°) | 35 | 35 | 38 | 40 | 40 |
| 第一脱离弧半径/mm | 321.08 | 307.25 | 242.43 | 211.75 | 211.75 |
| 第二脱离弧半径/mm | 321.08 | 307.25 | 110.82 | 136.25 | 136.12 |
| 连接角/(°) | 16.5 | 13.0 | 13.0 | 8.50 | 8.50 |
| 连接弧半径/mm | 72.22 | 51.23 | 40.95 | 24.19 | 24.15 |
| 辊缝/mm | 33 | 33 | 33 | 19 | 19 |
| 最大辊径/mm | 680 | 680 | 680 | 572 | 572 |
| 最小辊径/mm | 610 | 610 | 610 | 512 | 512 |

## 3 脱管机孔型设计步骤及结果

### 3.1 确定总减径率

实践中，脱管机的总减径率为3% ~6%。为了得到良好的脱管效果，脱管机减径率需控制到3.5% ~4.5%，并分配到3个机架上。连轧后钢管直径较大时取较小值，钢管直径较小时取较大值[3]。

### 3.2 各机架减径率的确定

通常所说的减径率均指相对减径率，其定义式如下：

$$\rho_i = (D_{i-1} - D_i)/D_{i-1} \quad (5)$$

式中：$\rho_i$——第$i$机架的单机架减径率，也称相对减径率；

$D_{i-1}$——第$i-1$机架的孔型直径(钢管出口外径)，mm；

$D_i$——第$i$机架的孔型直径(钢管出口外径)，mm。

对数减径率的定义式为：

$$\rho D_i = \ln(D_{i-1}/D_i) \quad (6)$$

式中：$\rho D_i$——第$i$机架的单机架对数减径率。

### 3.3 减径率的分配

为了适应来料的外径波动和钢管不圆，并有利于咬入，第一机架的减径率取小值，通常应小于第二机架的减径率。每架的对数减径率占总对数减径率的比例分别是：第一架为41% ~42%，第二架为50%，第三架为7.5% ~8.3%[4]。

### 3.4 确定后的孔型尺寸

脱管机孔型尺寸见表6。

表6 脱管机孔型尺寸 mm

| 编号 | 孔型直径$D$ | 短半轴$b$ | 长半轴$a$ |
|---|---|---|---|
| EN1 | 239.03 | 118.28 | 120.75 |
| EN2 | 235.51 | 117.50 | 118.03 |
| EN3 | 235.00 | 117.50 | 117.50 |

## 4 生产数据验证

孔型设计结束投入使用的Φ242 mm系列，生产了Φ232.0 mm×5.5 mm规格气瓶专用管，产品的外观质量及尺寸精度都能满足标准要求。抽取10组样进行分析，见表7。

表 7　Φ232.0 mm × 5.5 mm 气瓶专用管几何尺寸取样结果　　mm

| 样号 | 壁厚 | | | | | | 外径 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_{平均}$ | $S_{max} - S_{min}$ | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $D_{平均}$ | $D_{max} - D_{min}$ |
| 1 | 5.82 | 5.96 | 6.41 | 6.65 | 6.21 | 0.83 | 231.8 | 232.7 | 232.6 | 232.9 | 232.50 | 1.1 |
| 2 | 5.68 | 5.91 | 6.49 | 6.71 | 6.20 | 1.03 | 231.5 | 231.9 | 232.7 | 232.9 | 232.25 | 1.4 |
| 3 | 5.69 | 5.85 | 6.51 | 6.83 | 6.22 | 1.14 | 231.6 | 231.4 | 232.1 | 232.5 | 231.90 | 0.9 |
| 4 | 5.77 | 5.93 | 6.23 | 6.61 | 6.14 | 0.84 | 231.4 | 231.8 | 232.2 | 232.5 | 231.98 | 1.1 |
| 5 | 5.72 | 5.96 | 6.48 | 6.79 | 6.24 | 1.07 | 231.7 | 231.9 | 232.4 | 232.6 | 232.15 | 0.9 |
| 6 | 5.84 | 5.96 | 6.57 | 6.88 | 6.31 | 1.04 | 231.4 | 231.6 | 232.2 | 232.4 | 231.90 | 1.0 |
| 7 | 5.71 | 5.89 | 6.39 | 6.74 | 6.18 | 1.03 | 231.6 | 232.1 | 232.7 | 232.8 | 232.30 | 1.2 |
| 8 | 5.67 | 5.94 | 6.75 | 6.37 | 6.18 | 0.70 | 231.3 | 231.7 | 232.0 | 232.4 | 231.85 | 1.1 |
| 9 | 5.64 | 5.79 | 6.63 | 6.79 | 6.21 | 1.15 | 231.5 | 231.8 | 232.2 | 232.4 | 231.98 | 0.9 |
| 10 | 5.74 | 5.89 | 6.56 | 6.80 | 6.25 | 1.06 | 231.7 | 231.9 | 232.6 | 232.6 | 232.20 | 0.9 |

注：壁厚要求：5.50 ~ 6.90 mm；外径要求：229.7 ~ 234.3 mm。

从表 7 中可知，采用 Φ242 mm 系列轧制 Φ232.0 mm × 5.5 mm 气瓶专用管几何尺寸全部满足客户要求，且壁厚、外径均匀度较好。

## 5　结论

(1) 在连轧机孔型设计过程中，总结出按各机架的顶部延伸系数分配法计算轧机的孔型高度，并综合各项经验参数计算其他各段圆弧的孔型计算方法，该方法可行，在今后连轧孔型设计中可借鉴。

(2) Φ242 mm 系列的开发，工艺设计合理，产品质量稳定，成材率高。

(3) 通过对新孔型开发，为今后超原设计要求的新产品提供了更有利的开发思路。

## 参　考　文　献


[1] 王廷溥，齐克敏. 金属塑性加工学 [M]. 北京：冶金工业出版社，2001.

[2] 张桉. 无缝钢管生产技术 [M]. 重庆：重庆大学出版社，1997.

[3] 李国祯. 现代钢管轧制与工具设计原理 [M]. 北京：冶金工业出版社，2006.

[4] 赵志业. 金属塑性变形与轧制理论 [M]. 北京：冶金工业出版社，1980.


(上接第 40 页)

发黑的因素。酸洗工艺参数控制较为稳定，酸洗效果良好；使用抑制剂后可有效提升板面白色度；氧化铁皮控制已见成效，后期仍要继续研究并改进；防锈油问题及板面粗糙度是接下来要研究的重点，随之，酸洗产品表面等级也将得到更高的提升。

## 参　考　文　献


[1] 傅作宝. 冷轧薄钢板生产 [M]. 北京：冶金工艺出版社，2016.

[2] 周从锐，陈小龙，周明科，等. SPHC 热轧带钢酸洗表面发黑原因分析 [J]. 物理测试，2020，(3)：41 – 45.