

# 矩形扁钢管空拔模设计

韩 波, 周金苗

(江苏华程工业制管股份有限公司, 江苏 张家港 215611)

**摘 要:** 介绍了改进的矩形扁钢管空拔模的设计方法, 即空拔模长边面由平直面改进设计为弧形面, 同时在入口过渡段和定径带衔接中心设计一定的椭球凹陷曲面, 从而起到有效防止空拔模因热处理产生向外突变的作用, 同时减小矩形扁钢管长边面在拔制过程中承受的压力和摩擦力, 避免空拔后的矩形扁钢管出现长边面凹陷现象。

**关键词:** 矩形扁钢管; 空拔模设计; 凹陷; 弧形面; 椭球曲面

**中图分类号:** TG355<sup>+</sup>.4; TH12 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2014)02-0079-04

## Design of Sinking Die of Rectangular Flat Steel Tube

HAN Bo, ZHOU Jinmiao

(Jiangsu Huacheng Industrial Pipe Manufacture Co., Ltd., Zhangjiagang 215611, China)

**Abstract:** Described in the paper is the method for designing the modified sinking die of the rectangular flat steel tube. The design involves major modifications of the die, i.e., turning the original flat long-edge face into a curved one, and getting connecting part between the inlet transitional zone and the sizing zone having an oval-shaped concave curved surface. These modifications can not only prevent sudden outward change of the die itself due to the negative effect by heat treatment, but also reduce the pressure and friction imposed upon the long-edge face of the rectangular flat tube during the sinking process so as to avoid defective concavities on the long-edge faces of the tube after sinking.

**Key words:** rectangular flat steel tube; design of sinking die; concavity; curved surface; oval concave surface

在采用空拔模具生产矩形扁钢管的生产实践中, 常常出现拉拔钢管长边面凹陷的现象, 不利于使用。矩形扁钢管的凹陷程度, 与钢管长宽比、变形工艺、圆管径壁比以及模具设计等多方面因素相关。本文将从模具设计的角度对此问题进行分析 and 解决。

### 1 现有矩形扁钢管拔制方法缺陷

(1) 拉拔钢管外表面凹陷严重。由于矩形扁钢管的成型与模具的入口圆弧型式复杂, 因此矩形扁钢管空拔模具选材受到一定限制, 通常情况下, 大规格选用 45 钢, 较小规格选用 Cr12 高碳合金钢或硬质合金钨钴类 YG 系列。45 钢或 Cr12 高碳合金

钢空拔模经过热处理后, 定径段和入口段圆弧都会产生一定的形变<sup>[1]</sup>, 在钢管拉拔产生金属横向滑移时, 受模具和钢管形变后存在应力释放现象等影响, 钢管变形系数将远远大于模具变形系数, 而不再是 1:1 的关系, 从而导致钢管几何尺寸与模具孔型出现较大的差异, 钢管外表面凹陷严重。

(2) 拉拔钢管尺寸精度和表面平整度不佳。矩形扁钢管经过空拔模产生形变时, 四周压力和摩擦力落差过大, 长边所受压力和摩擦力远远大于短边, 而钢管形变后又存在应力释放不均现象<sup>[2]</sup>, 因此通过空拔模拉拔后的钢管, 总是存在长边凹陷度严重的现象, 尺寸精度和表面平整度都难以达到设计要求。

(3) 45 钢空拔模修正后表面硬度下降<sup>[3]</sup>。45 钢空拔模经过热处理渗碳后, 定径段和入口段圆弧会产生形变, 通常采用修正办法来获取原设计尺寸。

韩 波(1975-), 男, 工程师, 主要从事金属材料加工工艺的研究工作。

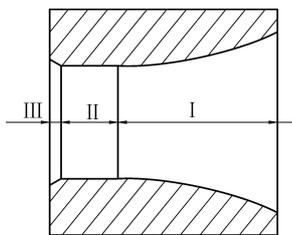
由于该材质模具渗碳层深度一般在 0.8~1.0 mm, 在此深度以下, 钢的基体硬度、强度以及耐磨性均较差, 因此修正后的模具表面硬度无法满足空拔模表面硬度设计要求。拉拔矩形扁钢管时, 模具表面光洁度以及硬度低, 钢管与模具之间摩擦力增加, 钢管表面容易出现拉伤和划丝等缺陷; 同时, 由于模具表面硬度降低, 使用寿命大大缩短<sup>[4]</sup>。

(4) Cr12 高碳合金钢空拔模修正困难。Cr12 高碳合金钢空拔模经过热处理后, 定径段和入口段圆弧同样会产生形变, 通常采用修正模具办法来获取原设计尺寸。由于该材质属于微变形、高碳合金模具钢, 模具材料内外硬度、强度、耐磨性基本一致, 所以难以采用机械加工方式修正, 只能依靠人工, 工作强度高、难度大, 且效率低, 甚至还是无法修正到设计尺寸<sup>[5]</sup>。

(5) 由于空拔工艺没有内模支撑, 因此采用空拔模拔制钢管时, 钢管变形仅仅借助金属塑性成型原理和外模工作面的引导, 凹陷程度难以控制<sup>[6]</sup>。

## 2 矩形扁钢管空拔模的改进设计

矩形扁钢管空拔模的工作面主要由入口过渡段、定径段和出口段 3 部分组成<sup>[7]</sup>, 其各自长度分别占模具的 68%~74%、24%~26%、4%~5%。矩形扁钢管空拔模纵剖面如图 1 所示。



I — 入口过渡段 II — 一定径段 III — 出口段

图 1 矩形扁钢管空拔模纵剖面示意

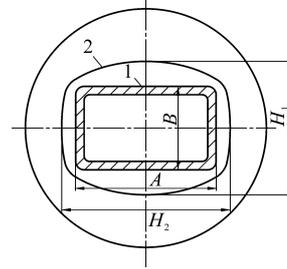
### 2.1 入口过渡段改进设计

矩形扁钢管空拔模的入口过渡段由 4 个导入曲面以及连接两两相邻导入曲面的入口转角曲面组成, 导入曲面和转角曲面均为二次曲面<sup>[8]</sup>。

#### 2.1.1 入口平面弧方形设计

矩形扁钢管空拔模的入口平面如图 2 所示。为了防止模孔边部刮伤钢管表面, 将入口平面设计为由 4 个圆弧组成的弧方形<sup>[9]</sup>; 同时为了避免钢管入口变形量过大, 外沿口两条长圆弧顶点之间距离

$H_1$  应等于(或略小于)需要变形的圆钢管直径  $D$ , 外沿口两条短圆弧顶点间  $H_2$  约等于矩形扁钢管长边  $A$  的 1.1~1.2 倍; 即  $H_1 \leq D$ ,  $H_2 = (1.1 \sim 1.2)A$ 。



1 — 矩形扁钢管 2 — 弧方形

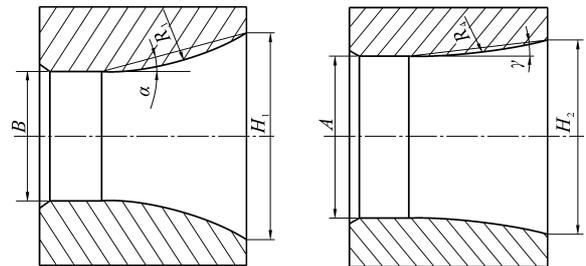
图 2 矩形扁钢管空拔模入口平面示意

#### 2.1.2 导入曲面的轴向曲面半径

导入曲面的轴向曲面半径如图 3 所示。轴向曲面半径  $R_1$  和  $R_4$  可分别由式(1)和式(2)计算确定:

$$R_1 = (H_1 - B) / (4 \sin^2 \alpha) \quad (1)$$

$$R_4 = (H_2 - A) / (4 \sin^2 \gamma) \quad (2)$$



(a) 轴向曲面半径  $R_1$

(b) 轴向曲面半径  $R_4$

图 3 导入曲面的轴向曲面半径示意

#### 2.1.3 导入曲面的周向曲面半径

导入曲面的周向曲面半径, 即钢管进入模具的入口周向圆弧半径, 如图 4 所示。

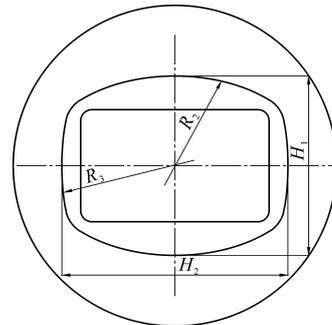
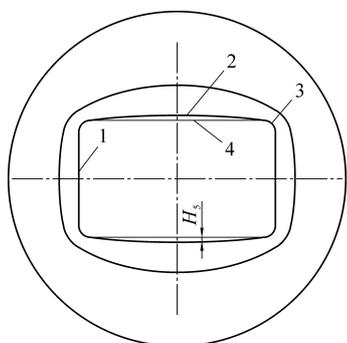


图 4 导入曲面的周向曲面半径示意

金属平稳流动直接决定钢管空拔成型效果<sup>[10]</sup>, 为了实现圆截面钢管经过空拔模具形成异型钢管, 模具设计的核心就是平稳自然过渡; 因此, 周向长边面对应的曲面半径  $R_2$  近似等于将变形的圆截面钢管直径  $D$  (长宽比值越小, 近似值越大), 周向短边面对应的曲面半径  $R_3$  为外沿口两条短圆弧顶点之间距离  $H_2$  的 0.90~1.15 倍; 即  $R_2 \approx D$ ,  $R_3 = (0.90 \sim 1.15)H_2$ 。

### 2.2 定径段设计方法

定径段设计为由一对平直短面、一对弧形长面以及 4 个连接转角圆弧面组成, 如图 5 所示。弧形长面的顶点到该弧形长面对应端线所在平面直线的距离  $H_5$  是矩形扁钢管壁厚  $t$  的 3%~5%, 即  $H_5 = (0.03 \sim 0.05)t$ 。



1—平直短面 2—弧形长面 3—连接转角圆弧 4—端线

图 5 定径段设计示意

### 2.3 定径段与入口过渡段衔接处的椭球凹陷面设计

定径段与入口过渡段衔接边界线的中心处设计成表面为椭球面的凹陷  $M$ , 如图 6 所示。

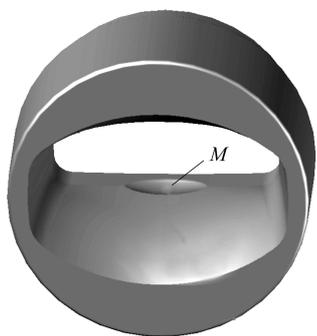


图 6 椭球面凹陷  $M$  示意

椭球面长半轴  $H_4$  为矩形扁钢管长边  $A$  的  $2/3 \sim 3/4$ , 椭球面的长( $H_4$ )、短( $H_3$ )半轴之比为 5:1, 椭球面凹陷的深度  $H_6$  为矩形扁钢管壁厚  $t$  的 8%~10%;

即  $H_4 = (2/3 \sim 3/4)A$ ,  $H_3 = H_4/5$ ,  $H_6 = (0.08 \sim 0.10)t$ 。定径段与入口过渡段衔接处的椭球凹陷面设计如图 7 所示。

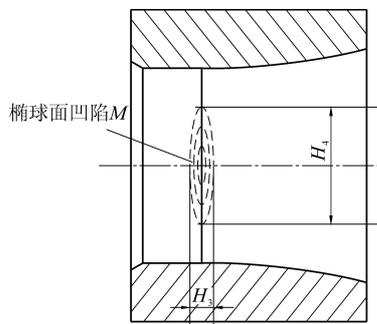


图 7 定径段与入口过渡段衔接处的椭球凹陷面设计示意

### 2.4 出口段设计方法

定径段的外侧为与定径段相通的模孔, 形成拉拔模孔的出口段, 该出口段由 4 个与平直短面和弧形长面相衔接的出口斜面, 以及 4 个连接两两相邻出口斜面的出口转角曲面组成, 出口斜面与定径段的相应面之间的夹角为  $30^\circ \sim 45^\circ$ <sup>[11]</sup>。

## 3 空拔模改进设计效果

根据上述设计方法, 以  $\Phi 245 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$  圆钢管拔制  $300 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times R25 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$  矩形扁钢管为例, 采用改进后的矩形扁钢管空拔模的设计参数如下(取值范围按照平均值):

- (1) 设定坯厚度 250 mm, 则入口过渡段为 175 mm、定径段为 60 mm、出口段为 15 mm。
- (2) 外沿口两条长圆弧顶点之间距离  $H_1 = 245$  (mm), 两条短圆弧顶点之间距离  $H_2 = 300 \times (1.1 + 1.2)/2 = 345$  (mm)。
- (3) 导入曲面周向曲面半径  $R_2 \approx 245$  (mm)、 $R_3 = 345 \times (0.9 + 1.15)/2 \approx 350$  (mm)。
- (4) 导入曲面的轴向曲面半径  $R_1 = (245 - 100)/4 \sin^2 23^\circ = 237$  (mm),  $R_4 = (345 - 300)/4 \sin^2 7^\circ = 757$  (mm)。
- (5) 定径段弧形长边面顶点到该弧形长边面对应端线所在平面直线的距离  $H_5 = 12 \times (3\% + 5\%)/2 = 0.48$  (mm)。
- (6) 定径段与入口过渡段衔接边界线中心设置的椭球面凹陷, 其长半轴  $H_4 = 300 \times 2/3 \approx 200$  (mm), 短半轴  $H_3 = 200/5 = 40$  (mm); 凹陷深度  $H_6 = 12 \times (0.08 + 0.10)/2 \approx 1.1$  (mm)。

改进前后的 300 mm×100 mm×R25 mm 矩形扁钢管空拔模设计对比如图 8 所示。分别对采用改进

前后空拔模拔制的 300 mm×100 mm×R25 mm×12 mm 矩形扁钢管进行了尺寸精度检测, 结果见表 1。

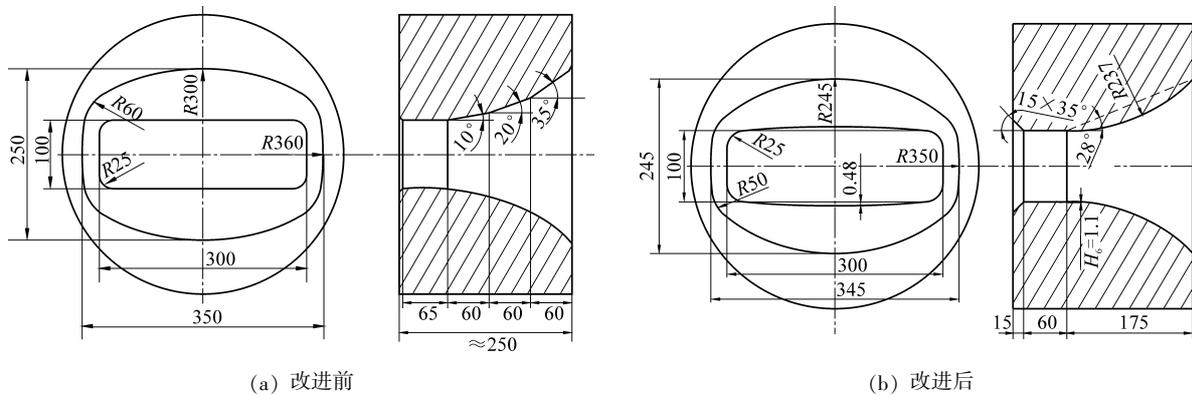


图 8 改进前后的 300 mm×100 mm×R25 mm 矩形扁钢管空拔模设计示意

表 1 采用改进前后空拔模拔制的矩形扁钢管尺寸精度检测结果

空拔模	空拔模尺寸偏差		空拔模平面度偏差		钢管外径平均偏差		钢管平面度平均偏差	
	长边	短边	长边面	短边面	长边	短边	长边面	短边面
改进前	-0.5	-0.1	±0.1	±0.1	-1.1	-0.7	-2.0	-1.2
改进后	-0.4	-0.2	-0.48	-0.48	-0.6	-0.3	-0.5	-0.3

通过上述数据进行分析: 采用两种不同设计方法制造的矩形扁钢管空拔模, 虽然模具精度基本一致, 但是由于新设计方法采取了将定径带由平直面设计成弧形面, 以及定径段与入口过渡段衔接处设计成椭球凹陷面等独特设计措施, 有效减小了矩形扁钢管在空拔过程中所受的压力和摩擦力, 不仅提高了钢管的尺寸精度, 也使钢管的表面凹陷现象得到显著改善。

#### 4 结 语

通过改进矩形扁钢管的空拔模设计, 可以有效避免矩形扁钢管长边面凹陷现象。改进设计主要包括将定径段平直面改变设计成弧形面, 以及改进设计在定径段与入口过渡段衔接处增加椭球面凹陷。生产实践证明: 经改进设计的空拔模不需修正, 既降低了制造成本, 又保证了模具表面硬度; 拉拔出的矩形扁钢管, 其尺寸精度和表面凹陷现象均得到了显著改善。

#### 5 参考文献

[1] 李红英. 金属塑性加工模具设计与制造[M]. 北京: 化学

工业出版社, 2009.

- [2] 傅建军. 模具制造工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [3] 崔忠圻. 金属学与热处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [4] 李连诗. 异型管制造方法[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994.
- [5] 克劳斯 G. 钢的热处理原理[M]. 李崇谟, 谢希文, 刘钊馥, 译. 北京: 冶金工业出版社, 1987.
- [6] 上海异型钢管厂, 上海冶金专科学校. 异型钢管生产[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986.
- [7] 高强. 异型钢管生产新工艺新技术与最新技术标准规范实务全书[M]. 北京: 中国冶金出版社, 2007.
- [8] 温景林. 金属挤压与拉拔工艺学[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1996.
- [9] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [10] 肖景容, 李尚建. 塑性成形模拟理论[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1994.
- [11] 古恩 Г Я. 金属压力加工理论基础[M]. 赵志业, 王国栋, 译. 北京: 冶金工业出版社, 1989.

(收稿日期: 2012-11-02; 修定日期: 2013-11-18)