

文章编号: 1005—8893 (2001) 02—0057—04

# 薄壁方管的高效弯曲工艺分析和模具设计<sup>\*</sup>

徐邦杰, 朱德范

(常州轻工业学校 机械学科, 江苏 常州 213004)

摘要: 对方管弯曲时的应力应变作了分析, 介绍了薄壁方形钢管小曲率半径零件的弯曲工艺试验, 给出了一种实用的高效率、低成本的弯曲工艺及其模具结构。

关键词: 薄壁方管; 小曲率半径; 高效率; 低成本; 弯曲工艺; 模具结构

中图分类号: TG 316.1<sup>+</sup>4

文献标识码: A

在多种健身器材的制造过程中, 经常遇到矩形薄壁钢管小曲率半径的弯曲, 这种弯管零件要求外观美观, 加工时生产效率高, 成本低。为此, 我们在生产中对零件弯曲工艺、弯曲模具结构进行多次试验, 并设计了一系列较合理的弯曲工艺和模具结构 (□50×50 方管、□40×40 方管、□32×32 方管及 30×60 矩形管等的弯曲), 成功地解决了生产中的难题。现就图 1 所示零件简述如下。

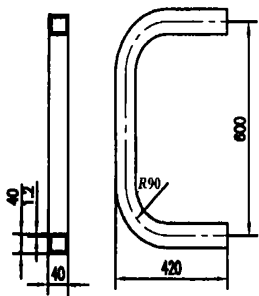
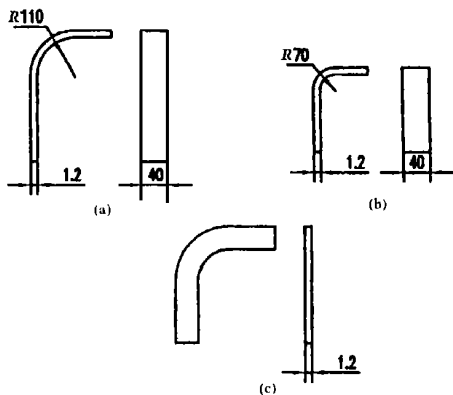


图 1 方形薄壁弯管

## 1 弯曲工艺分析

各种资料对圆管弯曲工艺介绍的较多, 而对方形钢管的弯曲, 尤其是薄壁钢管的小曲率半径弯曲工艺和模具介绍得很少。这种零件的弯曲与圆管的弯曲在工艺上存在较大的区别。弯曲中容易出现外

侧内凹、拉裂和内侧失稳起皱的缺陷。通过分析, 可把图 1 所示零件的弯角部分分解为四个部分的薄板件的弯曲。即外壁的拉伸弯曲、内壁的压缩弯曲和左右侧壁的侧弯 (如图 2 所示)。



a 外壁拉伸弯曲; b. 内壁压缩弯曲; c: 侧壁薄板侧弯

图 2 薄壁方管弯角部分的分解

假定为纯塑性弯曲, 图 2 内、外壁弯曲部分的受力状态和应力应变状态如图 3 所示。

弯曲时, 外壁切向受拉应力伸长, 其切向塑性应变<sup>[1]</sup>为

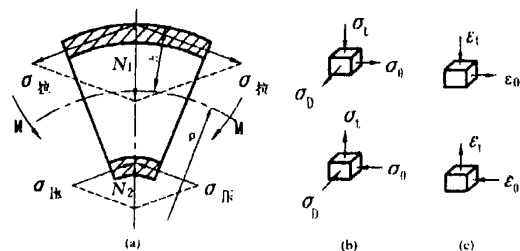
$$\epsilon_0 = \frac{h}{\rho} \times 100\% = \frac{20}{110} \times 100\% = 18.2\%$$

式中:  $\rho$  ——弯曲中性层的曲率半径

$h$  ——弯曲外侧距中性层的距离

\* 收稿日期: 2001—02—28

作者简介: 徐邦杰 (1957—), 男, 江苏常州人, 机械工程师, 讲师。



a. 受力状态; b. 外侧应力应变状态; c. 内侧应力应变状态

图3 内、外侧受力和应力、应变状态

考虑弯曲时的延伸, 实际的弯曲中性层应在截面中心的内侧, 故实际值将大于 18.2%。管坯弯曲时切向应变  $\epsilon_\theta$  为最大的主应变, 根据塑性变形体积不变条件, 在另两个方向上必然产生与  $\epsilon_\theta$  符号相反的应变<sup>[1]</sup>, 假定截面在弯曲过程中保持不变(管坯宽度方向上的应变  $\epsilon_b$  为零)。这时可视为平面应变状态, 从而有  $|\epsilon_\theta| = |\epsilon_t|$ , 其中  $\epsilon_t$  为管壁厚度方向上的变薄应变, 当  $\epsilon_t \geq 18.2\%$  时, 管坯外壁极易发生断裂。内壁的压缩弯曲变形部位的受力状态和应力应变状态(如图3)。其切向压应力  $\sigma_\theta$ (如图3c)导致切向压缩应变  $\epsilon_t$ , 而  $\epsilon_t$  使管壁增厚, 当  $\epsilon_t$  较大时, 极易出现内壁起皱。同时外侧拉应力的合力  $N_1$ (如图3a)使外壁内凹而内侧压应力的合力  $N_2$ (如图3a)使内壁失稳起皱。为了获得满意的弯曲效果, 弯曲工艺和模具设计时必须采取措施防止外壁的内凹和内壁的失稳。同时还必须防止侧壁侧弯时的失稳(分析同上)。

## 2 工艺条件的选择与试验

在以上分析的基础上, 对该制件的材料供应、弯曲方式、弯曲参数和模具结构等方面进行了分析和试验。

### 2.1 坯料管材的选择

当时企业能提供的管材是高频焊管, 材质为 Q215B-F, 硬度变化较大, 有些管材表面留有锈迹, 外形尺寸、形状精度也很低(如  $\square 40 \times 1.2$  的方管, 芯棒尺寸为不大于  $\square 35.5 \times 35.5$  才能插入其中)。经试验管材应选择 HRB60~70 的软钢材料(即材料的延伸率  $\delta > \epsilon$ ), 外形尺寸、形状应尽可能地一致, 管材宜用无锈迹的新材料, 一旦有了锈迹, 即使采用酸洗、磷化等工艺处理, 效果仍不理想。

## 2.2 弯曲方式的选择

根据该零件的实际使用特点, 主要要求弯头外形美观, 对管壁薄壁要求不高。这样解决弯曲时的内侧失稳的难度比外侧成形的难度更大。故采用拉弯的方法比其他方法有利。通过弯曲试验发现灌砂冷拉弯曲和灌砂热拉弯曲这两种弯曲方式不仅工艺复杂、生产率低, 成本高, 而且弯曲质量不稳定, 生产率低, 故不适宜采用, 合适的弯曲方式是有芯冷拉弯曲方式。

在有芯冷拉弯的弯曲过程中, 利用芯棒对管坯强大的摩擦力, 使管子出现一定的延伸, 这在很大程度上降低了弯头的失稳起皱的条件。管壁弯曲的支撑是由芯棒提供的, 要获得理想的弯曲效果, 芯棒必须保证管子四壁在弯曲过程中良好的支撑, 以保证外壁不内凹(外壁的内支撑)、断裂和内壁不失稳起皱(内壁的内支撑)和侧壁既不断裂也不失稳(侧壁内支撑, 外支撑由模板提供)。为此必须保证管子内壁与芯棒表面、管子侧壁与模板之间的合理间隙和芯棒在模具中放置的合理位置, 才能使管壁的各部分得到良好的支撑。

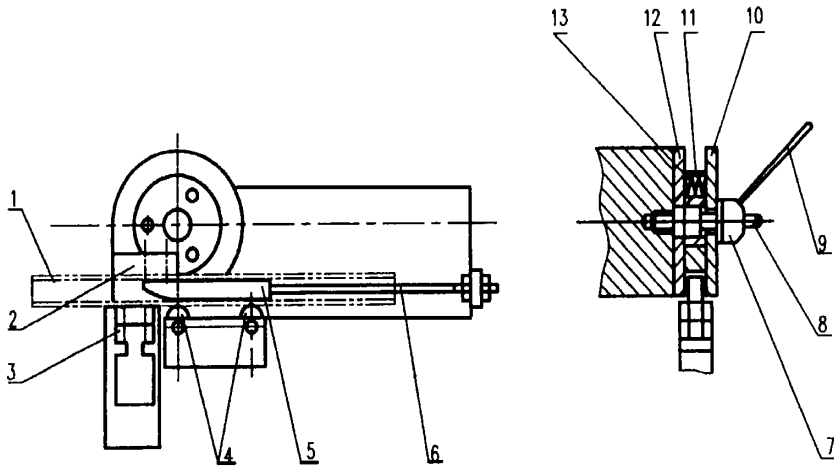
## 3 模具结构设计

有芯冷拉弯曲模由中心轮组件、芯棒组件、夹紧装置和导向装置等组成(如图4)。其中中心轮组件由上、下模板和轮芯及其镶块组成, 上模板在沿中心轮的轴向是可移动的。工作时管坯套入芯棒并定位后用加压手柄拧紧螺母(7), 再由夹紧块夹紧, 使管坯紧压在中心轮上, 同时导向轮也压向管坯, 最后中心轮带动管坯旋转而使弯头加工成形。弯曲结束, 松开螺母, 抽出弯头。这时上模板有三个弹簧(13)顶住, 以便下一次管坯的插入。

### 3.1 中心轮的设计

为了有效地缩小管子侧壁与芯棒之间的间隙, 同时减少辅助时间提高生产率, 把模具中心轮的上模板与轮芯设计成活动结构, 不仅方便管子的装卸, 而且当管子套入芯棒后, 用螺母将上模板压紧在轮芯上就消除了管子侧壁和模具侧壁之间的间隙, 在一定程度上弥补了管材对边尺寸误差和形状误差, 保证了管坯侧壁薄板侧弯(如图2c)的良好支撑, 管子的外壁支撑通过芯棒形式的选择和前伸量的调整来控制, 内壁的起皱也通过芯棒和导向

轮压紧力的调整或中心轮芯的截面形状和芯棒的截面形状的改变来控制。



1. 管材; 2. 镶块; 3. 夹紧块; 4. 导轮; 5. 芯棒; 6. 芯棒调节杆; 7. 压紧螺母;  
8. 中心固定轴; 9. 加压手柄; 10. 中心轮上模板; 11. 中心轮芯; 12. 中心轮下模板; 13. 弹簧  
图 4 弯曲模具结构

3.2 芯棒的设计

通过试验采用勺式芯棒（如图 5 所示），既能满足制件的弯曲质量，且比万向节、软轴节等芯棒的弯管生产率高，芯棒的制造方便，从而降低了生产成本，保证了生产进度。勺式芯棒在该模具中能很好地防止外壁的内凹和侧壁的失稳，对内壁的失稳起皱也有较好的防止作用。缺点是弯曲拉力较大，易使外壁拉裂而报废。为此对芯棒的对边尺寸  $a$ 、 $b$  和圆弧半径  $R'$  进行了试验，试验中发现适当增大芯棒的圆弧半径  $R'$ （如图 5），可有效地降低弯曲拉力（因改变了芯棒与管壁的实际接触部位而降低了它们之间的摩擦）；芯棒的对边尺寸应尽可能接近管子内壁的对边尺寸，应在芯棒能顺利插入管子的前提下，尽可能减少芯棒与管壁的间隙，最好控制在单边 0.2 mm 以内。管坯尺寸误差较大时可按管坯的实际尺寸分组，并分别采用不同尺寸的芯棒，以此来保证配合间隙。芯棒采用 GCr15 或 Cr12，热处理至 46 ~ 50HRC，表面磨光至  $Ra = 0.8 \mu m$ ，棱角倒圆。

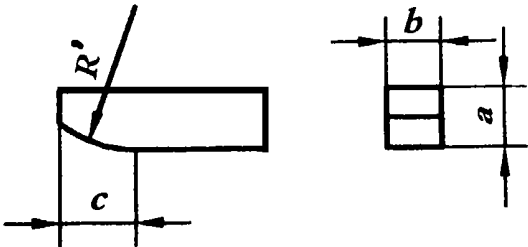


图 5 芯棒形式

3.3 导向轮的设计

为降低加工成本，采用的是双导轮结构，导轮直径为  $\phi 50 \sim 80 \text{ mm}$ 。最好采用滑道式导轨，既可对管坯减少压印，又可为夹紧块提供更多的夹紧空间，实际弯曲发现夹紧块夹紧处易发生管坯变形，故应尽可能增大夹紧块与管坯的接触面积。

3.4 夹紧块的设计

该方案的弯曲外侧带有较大的延伸，弯曲力矩大，故必须有较大的夹紧力和较大的摩擦系数，为此夹紧块应设计成锯齿形。

4 弯曲工艺注意事项

4.1 芯棒前伸量的调整

芯棒前伸量是影响弯曲效果的又一关键因素，其既影响外壁是否内凹和拉裂，又影响内侧是否失稳。通常可按  $e = \sqrt{2ZR}$  进行初选（如图 6），再在试弯中调整。式中： $e$  为芯棒的前伸量（mm）； $Z$  为管子内壁与芯棒间的间隙（mm）； $R$  为弯曲半径（mm）。

4.2 导轮压紧力的调整

导轮压紧力过小内侧易失稳起皱，过大弯曲力将明显增大，导致外壁拉裂。实际操作时应以不拉裂为前提，适当增大压紧力，这样将有助于防止内

侧起皱。若采用带有防皱板的弯曲模具时, 调整要容易得多。

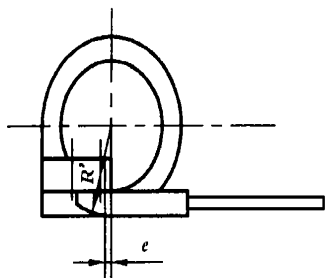


图 6 芯棒安装时的前伸量

#### 4.3 管坯在模具中的放置

高频焊管的焊缝应位于弯管的内侧面, 其尽可能在弯曲中心线附近, 减少压缩或拉伸变形量, 否则容易拉裂。

#### 4.4 润滑和润滑剂

弯曲时应注意对芯棒的润滑, 润滑剂采用 80% 的航空油和 20% 的石蜡的混合液或二硫化钼时, 润滑效果较好, 但后道表面涂饰前的除锈较困难。而采用 20 号机械油时, 润滑效果差一些, 但后道工序处理较方便。润滑仅需在每次弯曲前涂刷在芯棒表面既可。

#### 4.5 一种防皱的有效方法

在小曲率半径弯曲且内壁起皱难以解决时, 可在中心轮的轮芯上增设 2~4 mm 的凸筋, 同时在芯棒上增开一条槽 (如图 7), 弯曲时强制内壁有规则地内凹。这种内侧带内凹的弯头并不影响健身器类零件的外观质量。却能有效的防止内侧失稳。

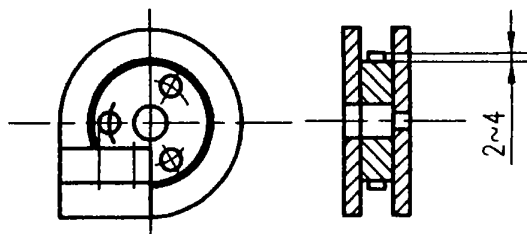


图 7 轮芯加凸筋

### 5 结 论

通过实际的试验和使用, 在合理的弯曲模具和弯曲工艺条件下, 采用有芯冷拉弯的方法对薄壁钢管进行小曲率半径弯曲, 不仅弯曲效果良好, 而且弯曲的生产效率高, 加工成本低, 尤其适合大批量生产。

#### 参考文献:

- [1] 王同海. 管材塑性加工技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998. 8

## Analysis of Process and Design of Molds for Bending Thin Walled Rectangular Tubes with Efficiency

XU Bang-jie, ZHU De-fan

(Department of Machinery, Changzhou Light Industrial School, China)

**Abstract:** A rectangular tube under bending is analyzed. The stress-strain is discussed. The process of bending a thin-walled rectangular tube with small radius is described. Thus a practicable bending process and mold structure with high efficiency and low cost is developed.

**Key words:** thin-walled rectangular tube; small radius; high efficiency; low cost; bending process; mold structure