

●技术讲座

异型钢管生产知识(二)

刘作寰

(鞍山钢铁学院)

KNOWLEDGE OF SHAPED STEEL PIPE PRODUCTION (PART II)

Liu Zuohuan

(Anshan I & S Institute)

2 用冷轧冷拔法生产异型钢管

用冷轧冷拔法除可以生产精密、薄壁和高强度钢管外,还可以生产黑色、有色金属及合金异型管材。

2.1 冷轧冷拔法的特点

尽管冷轧、冷拔法的生产工艺差别不大,但各有特点。一般地说,冷轧具有道次变形量大、轧制时钢管受力状态好的优点,因而用冷轧法可以生产 D/S 比大于100的薄壁钢管,并且轧出的管材尺寸精度高,内外表面质量好,但缺点是设备结构复杂,工具制造难度大,因工艺限制产品不能多样化。与此相反,冷拔变形时钢管的受力状态较差,尽管也可以生产尺寸精度高、内外表面质量好的钢管,但只能生产 D/S 比小于100的钢管,冷拔法的最大优点是设备结构简单,工具易制造,产品多样化。因此,冷轧冷拔相结合的生产方法是生产各类冷加工钢管(包括异型钢管)较为合理的方法。

2.2 冷轧冷拔的生产工艺

异型钢管的生产工艺是在一般圆管生产工艺的基础上发展起来的。圆断面钢管只是异型断面钢管的一种特殊形式。因此可以说,

无论冷轧、冷拔哪种断面形状的钢管,其变形规律、轧制力(或拔制力)计算、工具孔型设计原则和基本工艺是一致的,都是先将热轧管坯轧制或拔制成所需断面尺寸的圆管,然后用异型孔型或异型模具将其轧或拔若干道次,直至获得所需断面形状和尺寸的钢管。从这点看,异型钢管的轧、拔工艺与圆管的轧、拔工艺的区别仅是如何解决从圆管过渡到异型钢管的成型工艺问题。

2.3 用冷拔法生产异型钢管

2.3.1 用冷拔法生产等壁异型钢管

等壁异型钢管是指横断面各处壁厚相等的异型钢管。目前等壁异型钢管主要采用冷拔法生产。拔制等壁异型钢管所用的管料为圆管,这里称为“变形规格”。

(1) 变形特点

拔制等壁异型钢管时,由于变形规格管壁各点的曲率半径相同,所以在过渡到异型断面的过程中,必须选用适当的模具破坏变形规格原来的曲率使之逐渐过渡到要求的断面形状和尺寸。可见,等壁异型钢管的拔制成型主要是改变变形规格的断面形状,具体地说,就是依靠模具的作用力,使变形规格断面上各部按需要产生塑性弯曲变形。

图2为拔制方形管的变形过程及圆管变形开始时的应力分布图。变形规格开始进入变形区时，a、b、c、d四点首先与模壁接触（图2A的断面I-I），其受力及应力分布见图2B的(a)、(b)、(c)图。不难看出，变形规格将经过压扁、延伸、定型三个阶段过渡到方管。

1) 压扁变形阶段

变形规格在模壁压力作用下失稳，失稳的管壁首先产生塑性弯曲变形，这个阶段的变形只是使钢管改变断面形状。

2) 延伸变形阶段

随着变形规格逐渐进入变形区，钢管压扁变形增大，与模孔的接触面积也相应增大，压扁变得困难；当切向压应力达到材料的 σ_s 时，钢管周边将出现压缩变形。这个阶段变形的特点是钢管从压扁变形全部转入延

伸变形，并产生轴向延伸和管壁增厚。

3) 定型阶段

与拔制圆管时的定径相似，其目的是获得断面尺寸精确、稳定的异型钢管。

从上述三个变形阶段可以看出，成型过程的关键是压扁变形阶段，延伸阶段只是保证失稳钢管形状稳定。在延伸阶段钢管边部曲率逐渐趋近于零，角部圆角半径逐渐减小，因此，增大周边压缩率对角部成型有利，但压缩率过大又会使边部在延伸阶段失稳而造成内凹。空拔成型时，如果圆角半径 $R < 1.5S$ 时，要在延伸阶段使边部挺直是困难的，解决的办法是带顶头拔制。增加失稳后钢管断面形状稳定性的有效方法也是带顶头拔制，此时带顶头拔制前的空拔道次必须注意钢管在外模入口锥内的形状变化。从等壁异型钢管的变形过程还可以看出，在拔制成型时，钢管在同一断面的形变是不均匀的，一般是角部延伸大于边部。这种情况极易造成异型钢管壁厚不均，对断面不对称的异型钢管还易产生弯曲和扭曲。

应当指出，成型过程中钢管断面形状的稳定性的还与下述因素有关。

a. 管壁的最终曲率

生产实践表明，管壁的最终曲率为正曲率时，其稳定性最佳；具有直线边的异型钢管的稳定性次之，但可通过控制变形规格尺寸来提高稳定性；具有负曲率的复杂断面异型钢管稳定性最差，因此采用带顶头拔制。

b. 模孔的入口锥角

实践表明，目前所用的异型拔模入口锥角均不大于 13° ，这是因为入口锥角过大易使钢管失稳。

c. 周边压缩系数

变形规格的外周长 l 与成品异型钢管的外周长 l_n 之比称为周边压缩系数 η 。在实际生产中，为了获得正确的断面形状，必须给

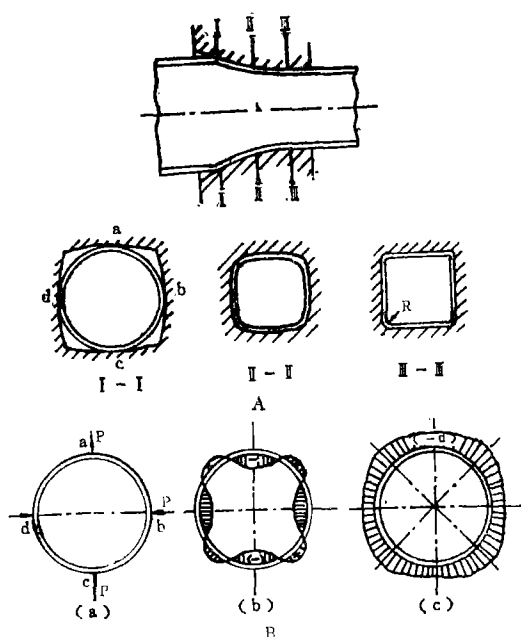


图2 方形管的变形过程(A)及变形开始时的应力分布(B)

I-I—变形开始面 II-II—一周向压缩开始面
III-III—一定型开始面

(a)一力示意图 (b)一弯矩图 (c)一切向应力分布图

予一定的周边压缩量。 η 值过小, 成型后断面角部弯曲半径大, 平面部分因弹性恢复而产生外凸; η 值过大, 管壁受到的弯矩增大导致失稳而造成平面部分内凹。

d. 模孔入口断面形状

变形规格进入异型模孔后, 为保证管壁稳定, 曲率的变化必须逐步、均匀和连续地进行。因此, 即使要求形成负曲率管壁, 模孔的入口平面也必须采用正曲率并在变形规格基本充满模孔后再逐步过渡到要求的曲率, 这时的压扁变形除使钢管变形外, 还使管壁与模孔的接触面积增大, 由此提高管壁的稳定性。还应指出, 拔制角部圆弧半径 $R < 1.5S$ 的简单断面异型钢管时, 带顶头拔制可使成型稳定。但带顶头拔制必须给予一定的减壁量, 否则管壁在与顶头接触之前将出现管壁失稳, 并因钢管的弹性恢复而使失稳难以纠正, 另外, 进行一定量的减壁还可消除因延伸阶段管壁不均匀压缩引起的壁厚不均。

(2) 生产工艺的编制

与生产普通钢管一样, 编制等壁异型钢管生产工艺的主要依据也是产品品种、规格、技术要求和设备条件等。

1) 成型方法的选择

等壁异型钢管拔制成型的方法有空拔、短芯棒拔制和扩拔法三种。

a. 空拔法

主要用于某些产品的预成型和成型。预成型主要适用于多道次成型等壁异型钢管开始道次的成型, 如用于复杂断面及角部圆弧半径小于 $1.5S$ 、高宽比大于 2.5 的简单断面的矩形管预成型。空拔成型是指一道次拔制到成品管的成型, 主要用于拔制方形、矩形、多边形和椭圆形异型钢管。应该注意, 空拔时模壁对失稳后的钢管起支撑作用, 因此, 为提高变形过程中管壁的稳定性, 周边压缩系数应选大一些。

b. 芯棒拔制法

带芯棒拔制可以提高拔制的稳定性和变形规格的适应能力, 所以这种方法可用于拔制各种等壁异型钢管, 特别是带内凹圆弧或折线以及对角部和边部有要求的等壁异型钢管。带芯棒成型可以简化等壁管的成型工艺和模具设计, 但要求芯棒与外模配合精确和高精度的模具。生产实践表明, 为提高带芯棒拔制的稳定性, 外模最好使用与空拔模结构相同的拔模。

c. 扩拔法

扩径拔制法是将圆管套在拔杆上, 装上芯棒使管端先扩径, 然后经冷锤头后进行拔制。这种方法主要用于壁厚小于 0.5mm 的极薄壁等壁异型钢管的拔制。大家知道, 空拔薄壁异型钢管, 断面的稳定性较差, 管壁在变形过程中极易失稳, 很难拔出满意的成品管。若用芯棒拔制法拔制, 因芯棒拔制力过大又易将钢管拉断, 而且成型也较困难。扩拔法则简单易行, 只要使用与产品内孔断面一致的锥形芯棒, 就可拔制出符合要求的异型钢管。应该指出, 为保证扩拔后异型钢管断面形状和尺寸精确, 成型时必须使钢管沿周长方向产生一定拉伸变形。

2) 周边压缩系数的选取

为使变形规格稳定地过渡到异型管, 成型过程中必须使钢管受到一定的变形。等壁异型钢管是通过控制成型前后的周长比 (即 η) 来控制变形量, 即

$$\eta = \frac{l_r}{l_n} \quad (1)$$

式中 l_0 ——成型前钢管断面周长

l_n ——成型后钢管断面周长

选取 η 值应注意以下几点:

a. 产品断面形状和尺寸

断面形状稳定性差的产品, η 取小值, 反之 η 取大值; 周长和壁厚相同但断面形状不同的异型钢管, 其 η 值也不相同, 如方

形管和矩形管虽周长和壁厚相同,但由于矩形管径向变形大,故拔制时矩形管的 η 值应比方形管大;矩形管的 B/H 比值越大,其 η 值也应越大;若成品周长大壁厚小时, η 应取小值,反之取大值。

b. 变形规格的 S_0/D_0 比值

S_0/D_0 比值大时,为使管壁产生塑性弯曲, η 应取较大值;若 η 取值过小,则容易造成成品管角部曲率半径过大或断面几何

尺寸不符合要求; S_0/D_0 比值小时,由于钢管断面形状稳定性差和易造成凹边缺陷, η 应取较小的值,在 $S_0/D_0 < 0.05$ 时, η 的取值应更小。

c. 钢管材质

钢管的屈服极限(σ_s)高时, η 取大值。

图3为实际生产中常见的几种等壁异型钢管空拔、带芯棒拔制时 η 的取值范围。扩径拔制时 η 值一般在0.043~0.98范围内选取。

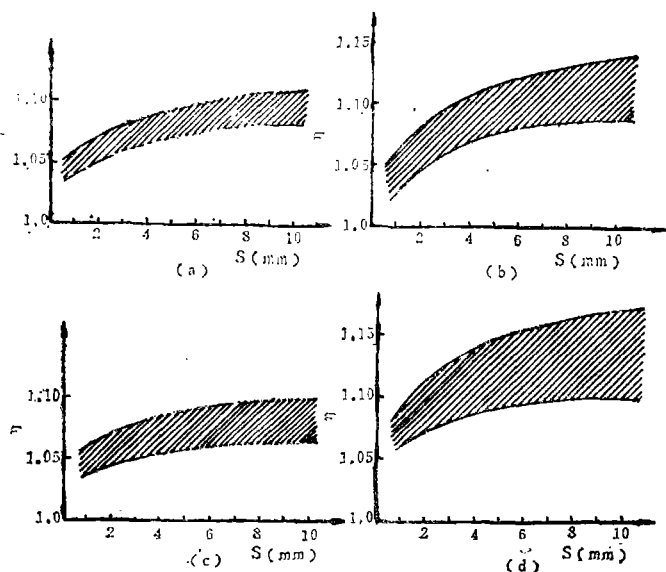


图3 η 的选取范围

(a) 一方、矩形管 (b) 一椭圆形管 (c) 一其他形状管 (d) 一带芯棒拔制

3) 变形规格的确定

变形规格必须满足等壁异型钢管拔制成型的需要。从公式(1)可知,变形规格的外径 D_0 关系式为

$$D_0 = \frac{\eta \cdot l_n}{\pi} \quad (2)$$

由公式(2)可知,正确确定 D_0 的关键在于正确选取周边压缩系数 η 和正确计算成品断面的外周长 l_n 。

目前,等壁异型钢管断面周长 l_n 的确定方法有计算法和测量法。断面形状简单的钢管,断面周长可用计算法确定(见图4),

断面形状复杂的钢管则多用测量法确定。

变形规格的另一个参数是壁厚(S)。为保证变形需要, S_0 应按下述原则确定:空拔成型, $S_0 \doteq S_n$ (成品壁厚);带芯棒拔制成型, $S_0 = S_n + \Delta S$;扩拔成型, $S_0 \doteq S_n$ 。

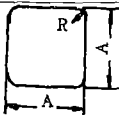
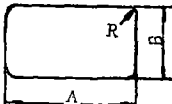
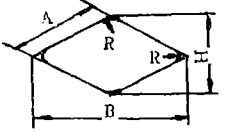
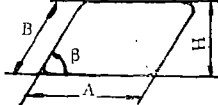
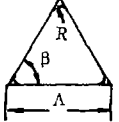
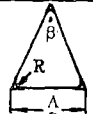
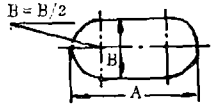
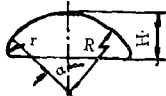
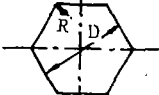
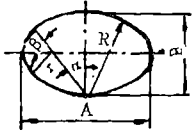
综上所述,根据成型法不同,变形规格关系式如下

$$\text{空拔} \quad D_0 = \frac{\eta \cdot l_n}{\pi}$$

$$S_0 \doteq S_n$$

带芯棒拔制

$$D_0 = d' + 2S_0 + (1 \sim 5 \text{ mm})$$

异型管种类	断面图	周长计算式
方形管		$l_n = 4A - 1.72R$
矩形管		$l_n = 2(A + B) - 1.72R$
菱形管		$l_n = 4 \sqrt{\left(\frac{H}{2} - R\right)^2 + \left(\frac{B}{2} - R\right)^2} + 2\pi R$
平行四边形管		$l_n = 2\left(A + \frac{H}{\sin\beta} - \frac{2R}{\tan\frac{\beta}{2}}\right) + 2\pi R$
等边三角形管		$l_n = 3(A - 2R) + \pi R$
等腰三角形管		$l_n = A - \frac{2R}{\tan\frac{\beta}{2}} + \frac{A - \frac{B}{2}}{\cos\beta} + \pi R$
平椭圆管		$l_n = 2A + 1.14B$
弓形管		$l_n = (R - r) \sin\alpha + \frac{\pi R\alpha}{90^\circ} + \frac{\pi r(90^\circ - \alpha)}{90^\circ} + \pi r$ ①
正多边形管		$l_n = \pi(D - 2R) \cdot \tan\frac{180^\circ}{\pi} + (n - 2)\pi R$
椭圆管		$l_n = \frac{2\pi}{90^\circ} (\alpha R + \beta r)$ ②

注：① $\alpha = \cos^{-1} \frac{R - H + r}{R - r}$ ② R, r, α, β 按几何关系导出

图 4 几种等壁异型钢管周长计算公式

$$S_0 = S_n + (0.50 \sim 0.3)$$

(在一次成型时为便于穿芯棒, 变形规格内径 d_0 应比芯棒直径 d' 大1~5mm)

$$\text{扩拔 } D_0 = \frac{\eta \cdot l_n}{\pi} + 2S_0$$

$$S_0 = S_n$$

应该注意, 计算出带芯棒拔制的 D_0 后还应验算 η 值是否大于1.2。若 $\eta > 2$, 为保证拔制过程的稳定性, 可以通过减小芯棒间隙或增大芯棒圆角半径来减小 d' , 或改用空拔来降低 η 值, 若仍无效果则应改为多道次拔制成型。

4) 拔制道次的确定

等壁异型钢管的拔制道次不是按变形量的大小确定, 而是根据断面的复杂程度、稳定性和变形规律来确定, 但实际生产中多凭经验来确定。一般地说, 对断面形状比较简单、角部和边部质量要求不高的异型钢管, 绝大部分可采用空拔、带芯棒拔制或扩径拔制并一道次成型。其余各种断面的异型钢管, 根据其复杂程度和特点采用2~3或更多道次成型。多道次成型时应尽量将管壁的弯曲变形集中在第一道次, 其余道次只作整形和局部加工。对多处具有负曲率的断面复杂的异型钢管, 最好采用分阶段成型法成型, 暂不成型的周边尽可能保持正曲率。

(3) 模具设计

1) 空拔模

目前中式拔模应用较多。异型拔模的设计与圆管拔模相同, 模孔也是由入口锥、定径带和出口锥组成, 定径带的模孔形状与产品断面一致, 其长度在5~15mm之间。出口锥尺寸的确定方法与拔制普通圆管的冷拔模相同。入口锥、连接入口锥和定径带的过渡区设计是空拔模设计的关键。为保证管壁形状稳定, 入口锥的模孔形状有圆形和与产品断面形状相似的相似形两种。由于后者易于加工, 故现广泛应用。以方形管为例说明相

似形入口锥尺寸设计原则(见图5)。

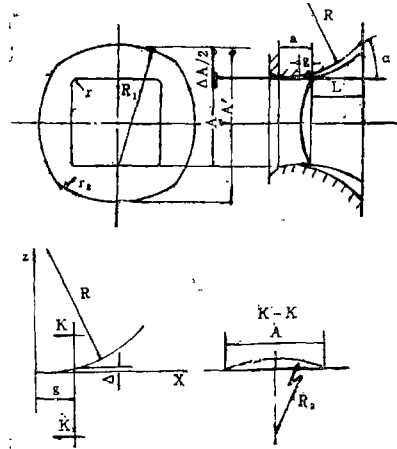


图5 方形管空拔模相似形模孔主要尺寸
(图中符号说明见正文)

拔制方形管的拔模入口锥是由与定径带方柱体相交的四个形状相同的二次曲面构成, 其形状与喇叭口相似。入口平面为弧方形(见图5 a), 其最大高度 A' 等于或略小于变形规格的 D_0 , 即 $A' = (0.9 \sim 1) D_0$, 弧方形的弧边曲率半径 R_1 约等于 D_0 , 即 $R_1 \div D_0$, 弧方形角部的圆弧半径 r_2 略大于或等于成品管的角部圆弧半径 r , 即 $r_2 = (1 \sim 2)r$ 。

入口锥角 $\alpha = 13^\circ$ 。入口锥的圆弧半径 R 的几何关系式为

$$R = \frac{(A' - A)}{4 \sin^2 \alpha}$$

过渡区即入口锥与定径带交接的区域。为使弧形管壁由曲线过渡为直线, 过渡区的形状应加工成“舌瓣”状。过渡区主要尺寸确定如下:

过渡区的长度 $g = 2 \sim 7 \text{ mm}$

弧边凸起高度 $\Delta = R - \sqrt{R^2 - g^2}$

弧方形弧边曲率半径

$$R_2 = \frac{A^2}{B(R - \sqrt{R^2 - g^2})} + \frac{1}{2} (R - \sqrt{R^2 - g^2})$$

(下转第64页)

为1200m/天,皱摺管的直径为300~360mm,原始板坯厚度(根据皱摺管的强度要求而定)为1.5~2.5mm,板坯宽度为700mm。

(曾适译)

9102015 焊剂层下电弧焊钢管质量检查
〔刊, 英〕/A. Palynchuk // Tube International. -1989, 8(4)

本文介绍了用于检查焊剂层下电弧焊管质量的改良型超声检测系统。改进的目的在于使信息更准确,信息量更大。为使探伤更准确,则需预先准确知道缺陷的方向。根据焊缝形状改变信息发生器和探针的布置位置。文章推荐一种新型探针。通过改变信息传递方式可使信息传输效率更高。

(曾适译)

9102016 高功能移动锯机〔刊, 英〕// MPT. -1990, 13(4)

曼内斯曼-德马克-米尔公司制造的圆管、异型管用移动锯机的锯切速度为200m/min。该锯机以130m/s的速度对角锯切或以250m/s的速度铣削锯切方形管时,所切的几何形状最佳。该锯机的特点是,可编程序进刀,可调整转速,并且布局合理,易于操

作和维护,钢管更换时间短。

(村夫稿)

9102017 新型打印装置〔刊, 英〕// MPT. -1990, 13(4)

本文介绍的RS004打印装置包括一套完整的辅助设备、RS004打印机、可控AC齿轮传动电机、调整打印机向下移动的气动球形导向装置、反压辊和全套电子控制等。该装置可在现有辊架上对钢管进行纵向直接打印。当确定了电机转速和钢管尺寸后,该装置即可自动操作。由隔光板控制打印机的升降运动。该装置在管端通过偏置辊之前向上抬升,避免了钢管受到损伤。

(村夫译)

9102018 伊拉克建造一座大直径管生产车间〔刊, 德〕// Fachber. Huttenprax. Metallwiterverarb. -1989, 27(9)

在伊拉克的巴士拉市正在建造一座焊管车间,用来生产主管道用大直径螺旋焊管。工程建设者是德国多特蒙特市一家机器制造公司(Hoesch MFD)。该车间的建造总费用为4500万德国马克。

(曾适译)

(上接第62页)

$$\text{入口锥长度 } l = \frac{A' - A}{2 \tan \alpha} - g$$

2) 芯棒拔制的模具设计

带芯棒拔制的外模模孔一般为锥形,与普通圆管外模设计相同。为增长外模使用寿命,其凸起部分最好按正偏差设计。也可采用空拔所用的外模。

拔制断面形状简单的等壁异型钢管,所用芯棒的形状与钢管内孔形状一致,拔制复杂断面形状的等壁异型钢管,所用芯棒的形

状不一定与钢管内孔形状一致,此时应根据所需内支撑点数目和位置来设计芯棒。设计时,为保证芯棒顺利穿入钢管,芯棒前后端及角部都要倒角。角部的圆弧半径值一般与成品管壁厚相同,其余尺寸与圆管芯棒设计相同。

3) 扩拔法芯棒设计

扩拔芯棒有定径带和工作锥,有关芯棒的设计将在后续的章节中叙述。(待续)

(收稿日期: 1991-03-29)