

③ 13-17

# 薄壁管端头弧口冲切凸模几何参数的分析

温 彤      王孝培  
(重庆大学机械工程学院, 重庆, 400044)

TG 385.2  
TG 386.43

**摘 要** 介绍了薄壁管端头弧口冲切工艺,应用矢量分析方法研究了冲切模具中凸模的几何形状参数,根据满足最小冲切变形力的条件得出了凸模几何形状参数计算公式。经实际生产验证,所得结论是正确的。

**关键词** 管材; 冲模 / 矢量分析

**中国图书资料分类法分类号** TG386.43

薄壁管端头, 几何参数  
冲压, 冲切模具

## 1 管端弧口冲切工艺

在自行车、摩托车、家具等行业中,大量采用图1所示的管端头焊接结构形式,其加工工艺一般为:下料、校直、弯曲、加工端头弧口、焊接。

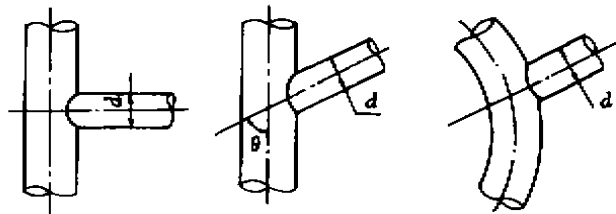


图1 管材焊接结构的联结形式

传统的弧口加工方法是采用机械切削加工(如铣削),虽然一般能保证加工质量,但生产效率十分低下,且加工成本高。如采用冲切方法代替机械切削加工,则可大大提高生产效率,降低成本,且加工质量也能得到保证。冲切法适合加工直径在5~60 mm、相对壁厚  $t/d$  ( $t$ 为管壁厚,  $d$ 为管外径)在0.01~0.15之间的薄壁钢管。由于常用管结构中管材的尺寸规格多属于此范围,因此钢管冲切加工方法有很大实际应用价值。

管端头弧口冲切质量的好坏与凸模关系很大,凸模一般设计成图2所示的形状,其中(a)相当于将一个圆柱体用一个平面斜切而成,(b)、(c)为(a)的变化形式。

根据凸模轴线与被冲切管材轴线所成夹角大小(只考虑轴线相交),可将冲切分为垂直与斜交两种情况,其冲切工艺特点是不同的(图3)。斜交时可通过调节管坯长度来保证冲

• 收文日期 1998-01-19  
第一作者:男,1968年生,博士

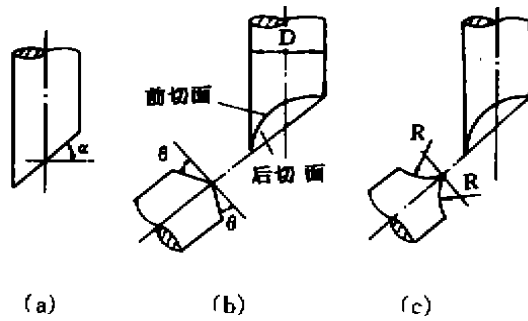


图2 管端弧口冲切的凸模设计

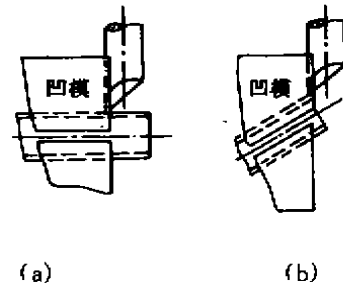


图3 轴线垂直与斜交时的冲切工艺

切凸模从管材端头的开口进入,避免冲切管材顶部,从而减小了管壁塌陷变形。轴线垂直时则无法从开口切入,只能通过调节凸模几何形状参数,或者采用先预开槽再冲切的双重冲切法来提高冲切质量。实际生产中两轴线夹角 $\theta$ 在 $(90\pm 10)^\circ$ 之间可当成垂直情况处理。本文中讨论的是凸模从管材顶部切入的情况。

## 2 冲切时管壁的变形

图4所示为冲切凸模从管材顶部切入时管壁的变形过程。

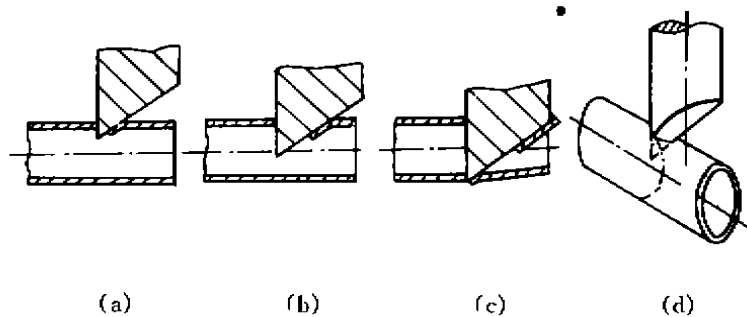


图4 冲切过程管壁的变形

冲切开始时凸模头部的尖锐刃口将管壁切出小开口,随着凸模下压,切口逐渐扩大,此时顶部管壁在凸模压力作用下发生向下塌陷变形。图2所示凸模形式刃口形状不同,因此切口形状也不同,但都是封闭的。随着凸模进一步下压,切口继续扩大,同一凸模的切口在凸模不同部位的扩展情况也不一样,如图4(d)所示。刃口由凸模的“前切面”和“后切面”相交形成,作用是切割(分离)管壁材料,以形成所需的相贯形状。前切面由于结构上的原因必然存在,但实际上对管壁冲切没有作用,且在冲切过程中,前切面一直和管壁材料接触并向下滑动,因此应尽量降低此面粗糙度以减小其对管壁向下的作用力。后切面作用于未脱离管材母体的废料,和管壁材料接触面积逐渐扩大。冲切时,废料虽被切开但仍然和管材母体相连,直到冲切最后。图2(a)所示凸模将废料向后、下方向推挤,图2(b)所示凸模则将废料向两侧及后、下方向推挤,并将废料压成内凹形状。冲切进行到某个时刻,凸模头部和管底

的内表面接触,同时开始对管材底部材料进行冲切,形成第二个切口。最后,上下切口汇合,废料脱离管材母体,整个管材的冲切过程完成。

### 3 凸模几何形状参数分析

薄壁管端头弧口冲切模具设计中,凸模直径  $D$  一般按照与被冲切管材相配合的另一根管子选取,其他部位的形状及尺寸选取则较为灵活,选取的好坏影响着冲切质量。

为加工方便,后切面常作为平面,所以凸模设计的关键是确定  $\alpha$ 、 $\theta$  值。文献[1]、[2]在分析管端平口冲切(切割)时利用了冲切时“切屑外翻”的条件。但对于管端弧口冲切,从前面可看出,管壁变形在整个冲切过程中是不能满足“切屑外翻”条件的。

图2(a)所示凸模可看作(b)形式当  $\theta=0^\circ$  时的特例,下面以(b)形式凸模进行分析。首先作以下假设:1)不考虑摩擦力;2)管壁相对很薄,以管外径作为分析对象;3)管材和凸模轴线相垂直;4)管外径为  $d$ ,凸模直径为  $D$ ;5)只分析管材上半部分,即冲切时管壁的主要变形部位。

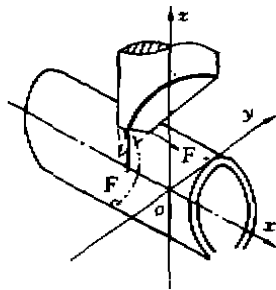


图5 坐标系的建立

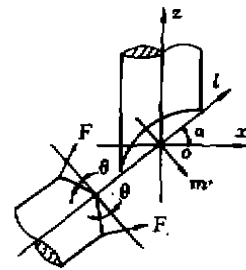


图6 凸模的几何关系

如图5所示建立坐标系,两个角度  $\alpha$ 、 $\theta \in (0^\circ, 90^\circ)$ ,  $\alpha$  为两后切面的交线与  $x$  轴夹角,即与管轴线夹角。设冲切力为  $F$ ,  $|F| = F$ ,  $|F|$  为冲切力大小。冲切管材的上部时,  $F$  有两处,作用在凸模两边与管壁相交的地方。实际冲切中,由于管材总有一定壁厚,后切面刃口附近的区域(图5涂黑区域)参与冲切,因此冲切力方向应和后切面的法线方向相同。设<sup>[3]</sup>:

$$\begin{aligned} F &= Ax + By + Cz \quad (A, B, C \text{ 为常系数}) \\ |F| &= \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \end{aligned} \quad (1)$$

两后切面的交线的方向矢量为  $l = \cos \alpha x + \sin \alpha z$  (图6)。

$\because F \perp l, \therefore F \cdot l = 0$ , 有:

$$A \cos \alpha + C \sin \alpha = 0 \quad (2)$$

设  $m$  为  $xoz$  平面内垂直于  $l$  的单位矢量

$\because m \perp l, m = \sin \alpha x - \cos \alpha z, |m| = 1, \therefore$  有:

$$\mathbf{F} \cdot \mathbf{m} = |\mathbf{F}| |\mathbf{m}| \cos \theta = F \cos \theta = A \sin \alpha - C \cos \alpha \quad (3)$$

由(1)、(2)、(3)式,求得:

$$\mathbf{F} = F(\cos \theta \sin \alpha x \pm \sin \theta y - \cos \alpha \cos \theta z) \quad (4)$$

$\mathbf{F}$ 在 $oxy$ 面的分量为:

$$\mathbf{F}_{oxy} = F(\pm \sin \theta y - \cos \alpha \cos \theta z) \quad (5)$$

假设管壁上高度为 $z$ 处的径向方向矢量为 $\mathbf{v}$ (图7):

$$\mathbf{v} = \mp \frac{\sqrt{d^2 - 4z^2}}{d} y - \frac{2z}{d} z$$

管壁变形主要是管上部材料的塌陷,这是因为一般冲切时管内不加芯棒,冲切力超出了管壁刚度所致。类似于管端平口冲切,要减小管壁塌陷,应使 $\mathbf{F}_{oxy}$ 沿管径向的分量(即管壁塌陷趋向最大方向的分量)尽量小,如图7所示。虽然在理论上可以通过变化凸模几何形状使 $\mathbf{F}_{oxy}$ 沿管径向的分量指向圆外,但实际凸模一般只能做到使该分量指向圆内,冲切时切屑不外翻。所以 $\mathbf{F}_{oxy}$ 沿径向的分量越小越好,称为“最小冲切变形力”条件。令: $k = \mathbf{F}_{oxy} \cdot \mathbf{v}$ ,则

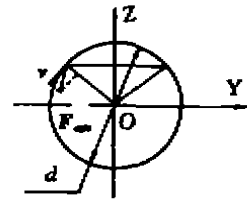


图7 管断面 $z$ 处的冲切力分量

$$k = F \left( \frac{2z}{d} \cos \alpha \cos \theta - \frac{\sqrt{d^2 - 4z^2}}{d} \sin \theta \right) = k(z, \alpha, \theta) \quad (6)$$

下面根据(6)式分析 $k$ 与 $\alpha$ 、 $\theta$ 、 $z$ 的关系。

① 当 $z = \frac{d}{2}$ 时(冲切开始), $k = F \cos \alpha \cos \theta$ ,此时 $\alpha$ 或 $\theta$ 越大,管壁变形越小。理论上 $\alpha$ 或 $\theta$ 可以等于 $90^\circ$ ,此时 $k = 0$ ,但实际上是无法实现的,因为 $\alpha$ 或 $\theta$ 越大,凸模越尖,强度越小。可见在冲切开始时是无法避免管壁向下塌陷的;

②  $k$ 随 $\alpha$ 增大而减小,因此 $\alpha$ 越大,冲切变形越小。但 $\alpha$ 太大同样会减弱凸模强度,且增大了冲切行程;

③ 考虑 $k$ 与 $\theta$ 的关系,因为

$$\frac{\partial k}{\partial \theta} = -F \left( \frac{2z}{d} \cos \alpha \sin \theta + \frac{\sqrt{d^2 - 4z^2}}{d} \cos \theta \right) < 0 \quad (7)$$

可知同样 $\theta$ 越大, $k$ 越小。如令 $k \equiv 0$ ,则可得 $\theta$ 与 $\alpha$ 的关系:

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{d^2 - 4z^2}}{2z} \operatorname{tg} \theta \quad (8)$$

由(4)、(8)式可以求出后切面冲切区域法向量方向,从而确定最优后切面形状。因为形状比较复杂,可以在计算机上完成。

一般为加工方便,后切面常做成平面,因此只要求平均的  $\alpha$  和  $\theta$  值。轴线斜交时,  $\alpha$  的取值应保证两后切面的交线  $l$  方向与管轴线有一定角度,图 3(b)。实际中可假定  $\alpha$  值,再根据  $z \in [0, d/2]$ ,利用(8)式求出  $\theta$ 。考虑凸模强度、刚度等因素,  $\alpha$  一般可取  $25 \sim 60^\circ$ ,  $\theta$  取  $10 \sim 45^\circ$  左右。

式(6)中不含  $D$ ,说明无论  $D$  为多少,总可以通过调整  $\alpha$  和  $\theta$  值保证冲切变形最小。

#### 4 结 论

在诸多影响冲切质量的因素(如凹、凸模形状,压料力,管材的定位情况等)中,凸模几何形状参数对冲切质量的影响最大。

根据上述结论,设计的 CB125T 摩托车车架上近十种钢管的冲切模具,经实际生产验证,冲切质量完全能满足焊接使用要求,取得了很大社会效益和经济效益。

#### 参 考 文 献

- 1 何大均,王孝培. 冲模切管的受力分析及刀片设计. 重庆大学学报, 1997, 20(6): 91~95
- 2 张娴如,陈金德. 提高薄壁管切割质量的研究. 模具技术, 1984, (2): 46~54
- 3 郭卫中. 空间解析几何. 沈阳: 辽宁人民出版社, 1982. 5~32

## Geometric Parameters Analysis of the Punch in Stamping Die of Thin-wall Pipe with Arc-shaped End

Wen Tong      Wang Xiaopei

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University)

**ABSTRACT** The punching technology of thin-wall pipe with arc-shaped end is described. The geometric parameters of the punch are also analyzed by vector analysis method. By minimizing the de-formative force, the formula on how to calculate the parameters is derived. The result is proved to be correct by actual experiment.

**KEYWORDS** pipes stamping; dies / vector analysis

(责任编辑 李胜春)