

●工具研究与应用

二辊斜轧穿孔导板的改进

刘汉玉

(安阳钢铁公司无缝钢管厂)

通过所求解的二辊斜轧穿孔变形过程中轧件的理想形状,对传统的穿孔导板进行了改进,实践表明,新导板的使用寿命提高,斜轧穿孔变形更为均匀。

关键词 穿孔导板 形状 改进

IMPROVEMENT ON TWO-HIGH ROTARY PIERCER GUIDE PLATE

Liu Hanyu

(Seamless Steel Tube Plant, Anyang I & S Corp.)

In a bid to achieve the desired formation of the workpiece under the deformation process of the two-high rotary piercer, improvement is made on the conventional guide plate of the mill with a result as longer service life of the plate and more uniform deformation by the mill.

Key words Piercer guide plate Formation Improvement

1 问题的提出

二辊斜轧穿孔导板是无缝钢管生产主要的变形工模具之一,其作用是对轧件导向和限制横向变形,其形状对顺利穿孔、工模具消耗及产品质量影响很大。

传统的穿孔导板设计见图1,它的形状特征是任意横断面呈左右对称,凸筋倾角 ω 与轧辊出口锥角 γ 相等,使用中导板的工作表面形状与变形区中轧件形状存在较大差别,因而出现局部接触现象,使其磨损极不均匀(见图2),以致导板使用寿命很短,

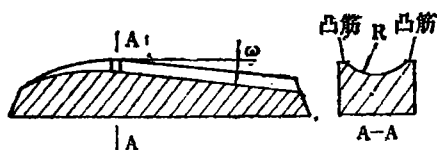


图1 传统的穿孔导板



图2 传统的穿孔导板磨损情况

消耗很大。

为此,需要对传统导板的设计进行改进。设计中,把使用导板时变形区中轧件的形状称为实际形状,不使用导板时变形区中轧件的形状称为理想形状,二者的差异为轧件的附加变形。使用导板形状的不同,变形区中轧件的实际形状也就各不相同,轧件的理想形状近似于倾斜的椭圆状,见图3。不难看出,传统导板工作表面形状与变形区中

轧件的理想形状差异较大,致使导板与轧件局部接触,从而使导板不均匀磨损严重。如果导板工作表面的形状愈接近于轧件的理想形状,那么变形过程中轧件的附加变形就愈

小,导板与轧件的接触面就愈大,导板的磨损就愈均匀;同时,由于轧件的附加变形要消耗变形功,因此轧件的附加变形减小将导致所消耗的变形功减小,即穿孔能耗降低,

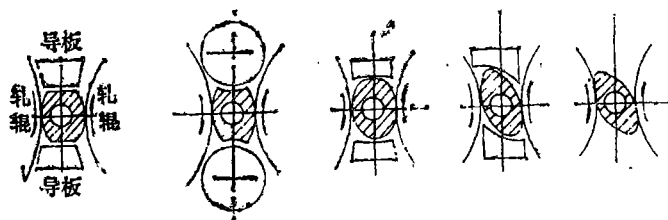


图3 穿孔导板对变形区中轧件形状的影响

且有利于顺利穿孔。

综上所述,二辊斜轧穿孔时,穿孔导板在参与限制横向变形的同时,其工作表面与变形区中轧件的理想形状应尽可能相吻合。故穿孔导板设计合理的问题就转化成确定变形区中轧件的理想形状的问题。

2 轧件理想形状的确定

欲确定变形区中轧件的理想形状,就必须先了解轧件与轧辊的接触情况。因为穿孔导板的入口侧仅起导向作用,所以只研究轧制带、出口侧穿孔导板与轧辊的接触情况。

2.1 求解轧件与轧辊的接触曲线

为了求解简便,可假设轧件和轧辊均为刚性体(即不计轧件的径向压缩量),则变形区中轧件与轧辊的接触面变为一条空间接触曲线。见图4,在该图的坐标系中,这条接触曲线在XOY平面上的投影方程^[1]为:

$$y = h(x) \cdot \{1 - R(x) / [k^2 + h^2(x)/c^2]^{1/2}\} \quad (1)$$

式中 $h(x)$ ——椭圆中心在y轴上的坐标值

$$h(x) = c^2 \cdot \sin \alpha [x \cos \alpha - (R_0 - x \operatorname{tg} \gamma \cos \alpha) \operatorname{tg} \gamma] \quad (2)$$

k ——椭圆中心在z轴上的坐标值

$$k = l(R_0 + 0.5E) \quad (3)$$

c ——椭圆度

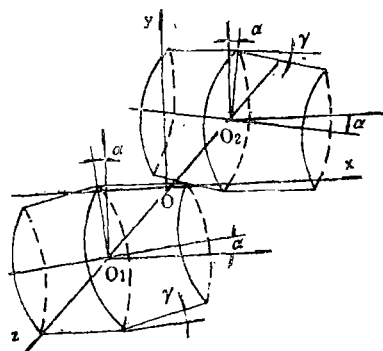


图4 二辊斜轧穿孔轧辊直角坐标系

$$c^2 = 1/(\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \gamma)$$

$R(x)$ ——椭圆短半轴半径

$$R^2(x) = (R_0 - x \operatorname{tg} \gamma \cos \alpha)^2 - x^2 \sin^2 \alpha + h^2(x)/c^2 \quad (4)$$

R_0 ——轧辊出入口锥交点处轧辊半径

γ ——轧辊出口锥面锥角

α ——送进角

E ——辊距

为计算方便,作如下简化。

(1) 椭圆度 $c = 1$

(2) 将(2)式整理得

$$h(x) = \sin \alpha [x \cos \alpha (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma) - R_0 \operatorname{tg} \gamma]$$

因 γ 很小, 令 $1 + \operatorname{tg}^2 \gamma = 1$, 则上式变

为

$$h(x) = \sin \alpha [x \cos \alpha - R_0 \operatorname{tg} \gamma] \quad (5)$$

(3) 在这一直角坐标系中, 垂直于 x 轴的截面截得的轧辊为一椭圆, 长半轴平行于 y 轴, 短半轴平行于 z 轴, 二者相差不大, 椭圆度小。见图 5, 短半轴半径^[2]为

$$R(x) = R_0 - (x/\cos\alpha)\operatorname{tg}\gamma \quad (6)$$

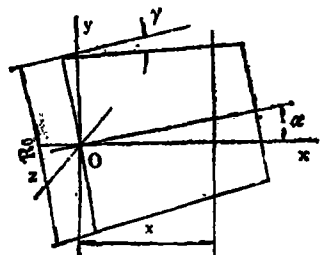


图 5 轧辊截面图

对于不同的 x 值, (6) 式与 (4) 式计算结果很接近, 以致于可用 (6) 式代替 (4) 式。

(4)、(5) 式是增函数, 实际中 $x < 160\text{mm}$, 由计算可知

$$|h(x)_{\max}| < 25\text{mm}$$

$$|(h(x)/k)_{\max}| < 0.084$$

可见, $|(h(x)/k)_{\max}|$ 很小

那么, $[1 + (h(x)/k)^2]^{1/2} \approx 1$

将上述四项简化代入 (1) 式, 整理得

$$y = \sin\alpha \{ x^2 \operatorname{tg}\gamma/k + [\cos\alpha - R_0(\cos\alpha + \operatorname{tg}^2\gamma/\cos\alpha)/k]x - R_0 \operatorname{tg}\gamma(1 - R_0/k) \}$$

因 $\operatorname{tg}^2\gamma/\cos\alpha \ll \cos\alpha$, 可忽略无穷小量 $\operatorname{tg}^2\gamma/\cos\alpha$, 则上式为

$$y = \sin\alpha [x^2 \operatorname{tg}\gamma/k + x(k - R_0)\cos\alpha/k - R_0 \operatorname{tg}\gamma(k - R_0)/k]$$

又由 (3) 式可知, $k - R_0 = 0.5E$, 则上式为

$$y = (\sin\alpha/k) \cdot (x^2 \operatorname{tg}\gamma + 0.5E x \cos\alpha - 0.5ER_0 \operatorname{tg}\gamma) \quad (7)$$

(7) 式表明, 轧件与轧辊的接触曲线是一条二次曲线。

2.1.1 轧制带处接触曲线的位置

在 (7) 式中, 令 $x = 0$, 则

$$y(0) = -0.5ER_0 \sin\alpha \operatorname{tg}\gamma/k$$

经计算可知, $|y(0)_{\max}| < 0.5\text{mm}$, 它与接触区域宽度相比很小, 在导板设计中可以认为 $y(0) = 0$, 则接触曲线通过 (x, y, z) 即 $(0, 0, \pm 0.5E)$ 点。

2.1.2 求出接触曲线的斜率

由 (7) 式表明, 该接触曲线为二次曲线, 但因二次项系数 $\operatorname{tg}\gamma$ 与一次项系数 $0.5E \cos\alpha$ 相比很小 (仅为 0.1%), 故在 x 较小时该曲线更接近于直线

$$y = (\sin\alpha/k)(0.5E x \cos\alpha - 0.5ER_0 \operatorname{tg}\gamma) \quad (8)$$

计算表明, $x < 160\text{mm}$ 时, 用 (8) 式与 (7) 式的计算结果最大绝对误差小于 0.5mm (相对误差小于 12%)。在导板设计中, 可用 (8) 式代替 (7) 式, 即可近似地认为该接触曲线为一直线, 其斜率为 $0.5E \cos\alpha \sin\alpha/k$, 它与水平面夹角为

$$\delta = \operatorname{arctg}(0.5E \cos\alpha \sin\alpha/k) \quad (9)$$

必须指出, 以上认为 $y(0) = 0$ 及用 (8) 式代替 (7) 式, 在本文的导板设计中尚可, 但理论分析中不能作这种简化。

综上所述, 由于轧辊的倾斜布置, 轧件与轧辊的接触曲线就不能近似为一条水平直线, 而近似为一条和轧辊倾斜方向相同、与水平面成 δ 角的直线。通过图 6 轧卡痕, 可

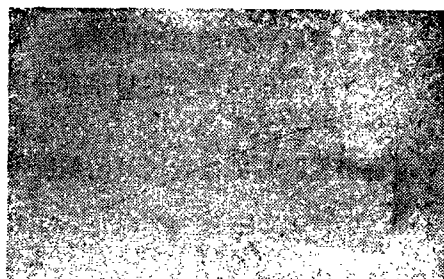


图 6 穿孔前卡样

以看出轧件与轧辊的接触部分相对于轧件轴线是倾斜的。

2.2 轧件与轧辊接触区域的描绘

实际轧制中,轧件与轧辊之间是面接触。由于在垂直于轧制线的平面内,轧件与轧辊空间接触曲线至轧制线的距离小于辊面上其他各点至轧制线的距离^[1],因此若不考虑压扁变形,则该接触曲线是轧件与轧辊接触区域的一个边缘,且是轧件与轧辊脱离接触的边沿。在轧制带处,左右两条接触曲线分别通过点 $(0, 0, 0.5E)$ 和 $(0, 0, -0.5E)$,这两点就是轧件与轧辊脱离接触的边沿。因为相对轧件,左右两轧辊的旋转方向相反,所以两接触区域的位置在高度方向上相差一个接触区域宽度,左接触区域下边缘与右接触区域上边缘等高见图7a。图8也证实了这一结论。由于左右两接触区域的倾斜方向相反,因此愈接近出口侧,两接触区域位置的高度差就愈大,见图7b。

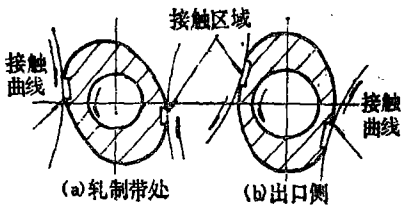


图7 轧件与轧辊的接触曲线

由于接触区域宽度在轧制方向上不断变化,且理论计算与实际相差较大^[8]。因此,要精确计算出接触区域宽度是十分困难的,故作如下假设:

- (1) 忽略轧件的压扁变形;
- (2) 轧制带及整个出口锥部分的接触宽度完全相同。

可得出轧制带处接触区域的宽度^[4]为

$$b = (0.25 \sim 0.35) D_F \quad (10)$$

式中 D_F ——轧制带处轧件直径

出口侧平均接触宽度 $\bar{b}_2 = 0.8b$, 则

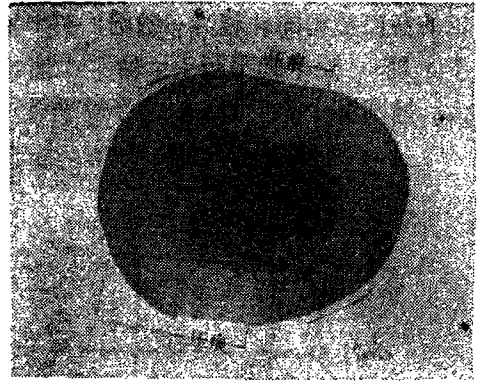


图8 穿孔前卡样轧制带处的剖面

$$\bar{b}_2 = (0.20 \sim 0.28) D_F \quad (11)$$

因轧制带很窄,又据假设(2),则轧制带及出口侧的接触宽度可取为 $\bar{b}_2$ 。对于 $\phi 100\text{mm}$ 机组, $D_F = 75 \sim 95\text{mm}$, $\bar{b}_2 = 15 \sim 25\text{mm}$ 。至此,轧件与轧辊的接触区域已可描绘出,见图9。

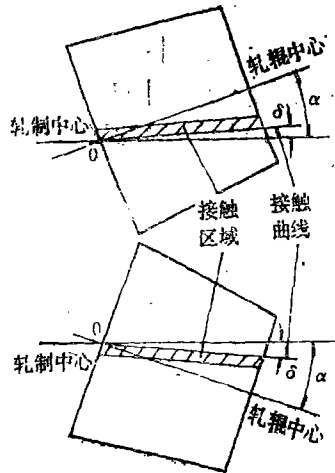


图9 轧件与轧辊的接触区域

2.3 轧件的理想形状

尽管轧件与两轧辊的接触区域已基本能绘出,但仍不能精确地求出轧件的理想形状,只能依据其接触区域,凭借经验想象出轧件的理想形状为倾斜状态,见图9,文献

〔3,4,5〕已分别给出了定性的示意, 本文图 8 也得到了证实。

3 传统导板的不合理性

由于轧件的理想形状呈倾斜状, 而传统导板的工作表面左右对称, 造成轧件与导板不能很好地吻合。见图10, 在轧制带处, 当轧件发生横向变形向高向扩展时, 首先与下导板右侧以及上导板左侧接触。由于轧制带及其附近的管壁很厚, 轧件维持自然形状的能力较强, 基本上能保持理想形状, 因此轧件只磨损下导板右侧以及上导板左侧。随着轧件向出口侧移动, 管壁减薄, 变形量增大, 据最小阻力定律, 金属将向轧件与导板之间的间隙处流动, 产生附加变形, 愈远离轧制带, 导板与轧件的间隙就愈大, 故轧件的附加变形也就愈严重, 最终造成“畸变”〔6〕, 如图 10c 所示。当下导板为传统导板而上导板为改进后的导板时, 穿孔后卡样出口侧距轧制带 50mm 处的剖面见图11, 它证实了上述“畸变”的存在。与轧制带处相反, 发生畸变后的轧件将主要磨损下导板的左侧以及上导板的右侧。这种变化是逐渐进行的, 造成如图 2 所示的磨损。同时, 比较

图11上、下两部分可知, 轧件较大的附加变形将使其旋转难度增大, 给穿孔过程带来不利影响。

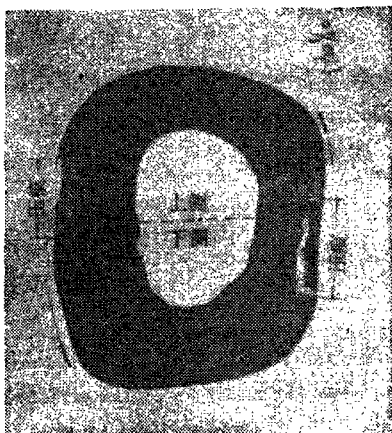


图11 穿孔后卡样的剖面

4 新导板的设计及使用效果

4.1 设计原则

新导板的设计原则如下:

(1) 在垂直于轧制线的截面上, 导板两凸筋到接触区域的距离相等, 故在轧制带处, 两凸筋高度差等于轧件与轧辊接触宽度。

(2) 为了使变形区中轧件的椭圆度基本不变, 导板相对于轧制线的总体倾斜度与轧辊出口锥角 γ 相等, 结合原则(1)可知, 若考虑接触区域的倾斜, 则两凸筋倾角应分别为 $\gamma \pm \delta$ 。

(3) 凸筋确定后, 工作表面与传统导板相同, 仍取为圆弧, 圆心位于两凸筋连线之垂直平分线上。

改进后的新导板见图12。

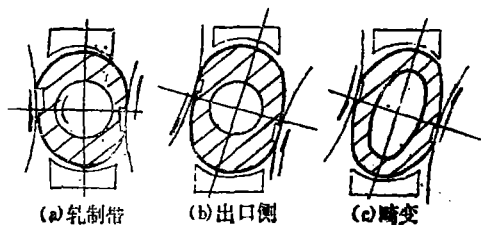


图10 轧件形状的演变

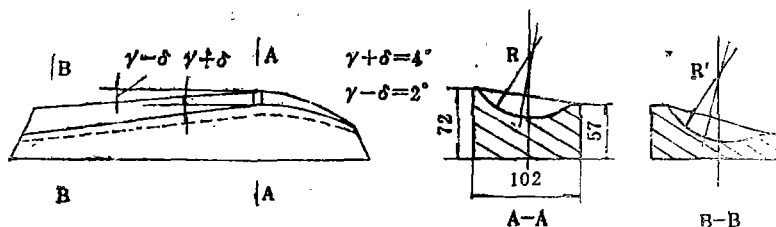


图12 改进后的导板

● 国外钢管

36CrNiTiAl 钢管生产工艺改进

介绍了36CrNiTiAl钢管冷变形量、热处理制度对组织和性能的影响,提出了保证组织和性能的工艺措施。

关键词 冷轧弹性元件用管 组织 性能 生产工艺 改进

IMPROVEMENT OF MANUFACTURING PROCESS OF 36CrNiTiAl STEEL TUBE

The paper deals with an introduction to the process improvement for 36CrNiTiAl steel tube, covering analysis of the effects by tube cold deformation and heat treatment procedure on the structure and properties of the material and related measures of manufacturing process to assure proper structure and properties.

Key words Cold rolled tube for elastic component manufacture Structure Properties Manufacturing process Improvement

仪表制造业惯用36CrNiTiAl钢冷变形管制造弹性元件和波纹管。自1967年以来,尼科波利南方钢管厂已生产了上百万米这种冷轧钢管。原苏联TV14—3—379—75技术标准对这种钢管的技术条件规定明确。该标准列有189个规格,钢管的直径范围为3.5~32mm,壁厚范围为0.15~2.6mm,再结晶退火后的抗拉强度、相对延伸率分别为 $\sigma_s \geq 686\text{MPa}$, $\delta_s \geq 32\%$;时效处理后为:

$\sigma_s \geq 1274\text{MPa}$, $\delta_s \geq 15\%$ 。在技术标准中还规定了压扁距离,即壁厚 $\leq 1\text{mm}$ 的钢管,压扁距离为壁厚的2倍或3倍。该标准对钢管的表面质量及几何尺寸精度等也作了具体规定。但从20多年来对这种钢管生产和使用的经验来看,该技术条件所规定的机械、工艺性能还不能完全满足用户要求。

原苏联管材科学研究所曾进行过36CrNiTiAl钢管的机械性能研究,明确指出

4.2 使用效果

实际使用表明,改进后的导板磨损面积增大,磨损均匀,其使用寿命提高。传统导板吨管消耗量为0.169kg,改进后为0.135kg。此外,使用这种新导板时,轧件的实际形状更接近理想形状,轧件旋转阻力降低,有利于顺利穿孔,并使其变形更为均匀。

5 参考文献

- 1 詹才俊。空间接触曲线和变形区模型方程的解析,钢管,1989,3
- 2 吴峰。二辊斜轧穿孔时轧件与轧辊接触迹线的描绘。钢管,1988,1
- 3 李连诗。钢管塑性变形原理。北京:冶金工业出版社,1985,150
- 4 王延涛。轧钢工艺学。北京:冶金工业出版社,1982,398
- 5 李连诗等译。热轧钢管生产。北京:冶金工业出版社,1957
- 6 樊韬等。穿孔中卡分析。钢管,1992,1

(收稿日期:1992-04-02)