

## 金属带材拉伸弯曲矫直过程简化解析分析(1)

## ——带材延伸率计算方法的探讨

肖林<sup>1,2)</sup> 杨成仁<sup>2)</sup> 邹家祥<sup>1)</sup>

1)北京科技大学机械工程学院,北京 100083 2)青岛建筑工程学院机械工程系,青岛 266000

**摘要** 对平面假设下带材拉伸弯曲时延伸率的计算进行了详细的讨论,提出了简洁的延伸率计算公式,并在延伸率计算公式中考虑了带材的原始曲率.

**关键词** 金属带材;成型加工;拉伸弯曲

**分类号** TF30

在拉伸弯曲矫直过程中,金属带材在拉伸和弯曲的联合作用下沿长度方向产生了塑性的纵向延伸,使带材各条纵向纤维的长度趋向于一致,从而减小带材内部纵向内应力分布的不均匀性,达到改善带材平直度的目的<sup>[1-4]</sup>.金属带材的延伸率是拉弯矫直工艺中最重要的工艺参数.金属带材的延伸率就是带材几何中间层的纵向应变.根据带材所受的拉力和弯曲程度来确定带材的延伸率是拉弯工艺设计和机械设计的基础.因此,非常有必要对带材延伸率的计算进行详细的讨论.

受拉伸弯曲的带材可以简化为一金属板受一对弯矩和一对轴力的作用(如图1所示).理论和弹塑性有限元分析表明当拉伸弯曲带材的弯曲曲率较小时带材的横截面在拉伸弯曲过程中保持为平面.本文只对横截面保持为平面的小变形拉伸弯曲过程进行分析.

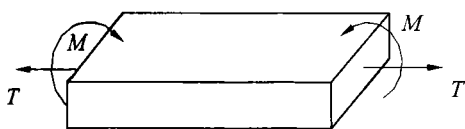


图1 受弯矩和轴力作用的影响

## 1 带材任一层纤维纵向应变的计算

带材受力后的变形情况如图2所示.我们把带材横截面上应力为零的轴称为应力中性轴,把应变为零的轴称为应变中性轴.当两个轴

重合时,简称为中性轴.在带材的纯弯曲中,中性轴与几何中间轴是重合的.在带材拉伸弯曲中,中性轴偏离中间轴.带材的长度、宽度、厚度方向分别用 $x, y, z$ 表示.图2中的参数的意义如下: $\rho$ 为中性层的曲率半径; $z_n$ 为中性层相对于几何中间层的偏移量; $z$ 为带材的任一层纤维距几何中间层的距离;远离中性层一侧 $z$ 为正,中性层一侧 $z$ 为负; $t$ 为带材厚度的一半.

从平直的带材中取出一段,长度为 $l_0$ .承受拉伸弯曲后,原先平直的某一层变为半径为 $r$ 的圆柱面,则它的周向应变为:

$$\varepsilon_x = \ln(l/l_0) = \ln(r\Phi/\rho\Phi) = \ln(r/\rho) \quad (1)$$

半径 $r$ 可写为:

$$r = \rho + z_n + z \quad (2)$$

代入(1)式后有:

$$\varepsilon_x = \ln[1+(z_n+z)/\rho] \quad (3)$$

公式(3)就是计算带材任一层纤维的纵向应变的公式.

对于带材的拉弯来说一般有 $\varepsilon \leq 5\%$ ,即:  
 $(z_n+z)/\rho \leq 5\%$ .当 $(z_n+z)/\rho = 10\%$ 时,  
 $\frac{(z_n+z)/\rho - \ln[1+(z_n+z)/\rho]}{(z_n+z)/\rho} = 4.6\%$ .

显然,可以采用公式(4)来计算带材的应变:

$$\varepsilon_x = (z_n+z)/\rho \quad (4)$$

与(3)的计算结果相比,采用公式(4)计算的数值略大,但相对误差不超过4.6%.

带材的延伸率就是带材几何中间层的纵向应变.将 $z=0$ 代入公式(4)可得几何中间层的纵向应变计算公式.我们用 $\varepsilon_c$ 表示几何中间层的应变:

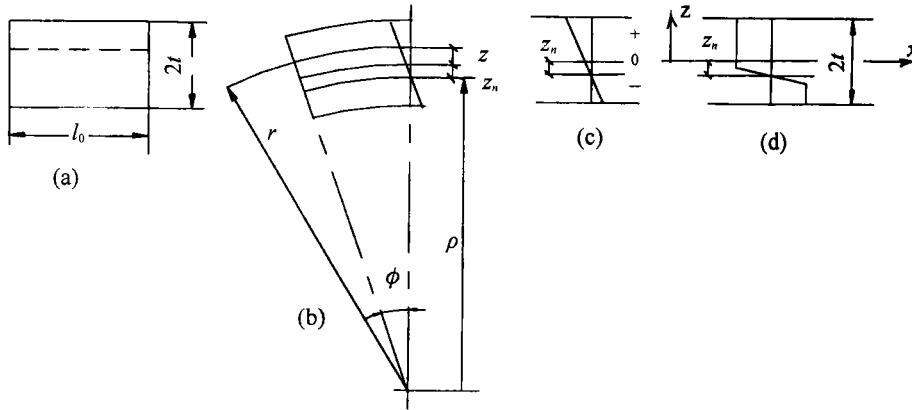


图2 拉伸弯曲带材示意图。(a)变形前,(b)变形后,(c)应变,(d)应力

$$\epsilon_c = z_n / \rho \quad (5)$$

因为  $\rho = 1/k$ , 公式(4)和(5)可写成如下形式:

$$\epsilon_x = k(z_n + z) \quad (6)$$

$$\epsilon_c = kz_n \quad (7)$$

引入相对曲率  $\bar{k}$ ,  $z$  轴坐标的相对值  $\bar{z}$  以及中性层偏移量的相对值  $\bar{z}_n$  分别为:

$$\bar{k} = k/k_c \quad \bar{z} = z/t \quad \bar{z}_n = z_n/t \quad (8)$$

其中  $k_c = \sigma_s / Et$  是纯弯曲板在弹性极限状态下的弯曲曲率. 把上面的公式代入公式(6)和(7)可得:

$$\epsilon_x = \bar{k}(\bar{z} + \bar{z}_n)\epsilon_s \quad (9)$$

$$\epsilon_c = \bar{k}\bar{z}_n\epsilon_s \quad (10)$$

其中  $\epsilon_s = \sigma_s / E$  为材料的屈服应变.

公式(9)和(10)中的曲率应理解为总的变形曲率. 对于带有板形缺陷的带材, 总带有一些原始的纵向弯曲, 但是与带材在辊子上的弯曲曲率相比可以忽略. 如果带材拉弯前有较大的原始曲率  $\bar{k}_0$ , 则总的变形曲率为:

$$\bar{k} = \bar{k}_0 + \bar{k}_s \quad (11)$$

其中, 带材的  $\bar{k}_s$  与  $\bar{k}$  在同一侧时,  $\bar{k}_s$  为负, 反之为正.  $\bar{k}_0$  为带材的弯曲曲率.

公式(9)和(10)中的中性轴偏移距  $\bar{z}_n$  将在以后的论文中进行讨论.

## 2 结论

(1) 公式(9)和(10)可用于横截面为平面时的小变形拉伸弯曲过程.

(2) 在公式(11)中考虑了带材的原始弯曲曲率. 在带材多辊拉伸弯曲中, 带材在第二个弯曲辊及其以后的若干个弯曲辊上都具有很大的原始曲率, 在延伸率计算中必须考虑.

### 参考文献

- 1 邹家祥. 轧钢机械. 北京: 冶金工业出版社, 1989.382
- 2 Yu T X, Johnson W. Influence of Axial Force on the Elastic-plastic Bending and Springback of a Beam. Journal of Mechanical Working Technology, 1982, 6:5
- 3 Sheppard T, Roberts J M. Stress-strain Relationships for Strip-shape Correction Process. Journal of the Institute of Metal, 1971, 99:223
- 4 Sheppard T, Roberts J M. On the Mechanics of the Tension-leveling Process. Journal of the Institute of Metal, 1971, 99: 293

## Theoretical Investigation into Continuous Tension Leveling Process of Metal Strip (Part One)—Elongation Calculation

Xiao Lin, Yang Chengren, Zhou Jiexiang

Mechanical Engineering School, UST Beijing, Beijing 100083, China

**ABSTRACT** The calculation method of the elongation of the metal strip under tension leveling is discussed in detail on the assumption that the section of the metal strip maintains plain during tension leveling.

**KEY WORDS** metal strip; metal forming; tension leveling