

冲杯制耳率计算公式质疑与重建^①

蒋显全 张秀锦 文 华
(四川省冶金研究所, 成都 610081)

摘 要 在实际冲杯过程中会产生数个制耳(通常为4个或8个), 且每个制耳不一定都一样高, 传统的制耳率计算公式是由算术平均法推导出来的。通过数学推导和论证发现这种计算方法误差很大, 且自相矛盾。由此提出新的设想: 每个制耳对平均制耳率的贡献是不一样的, 并以制耳的相对高度作为加权系数, 从而推导出新的平均制耳率计算公式。经验算, 该公式的计算精确度更高, 并发现传统的平均制耳率计算公式只是新公式中当每个制耳大小相等时的一个特例。

关键词 冲杯 制耳 制耳率

中图法分类号 TG386.3

金属板材在深冲过程中不可避免地要产生制耳, 一般在轧制方向、与轧制方向成 90° 角方向或 45° 角方向对称产生, 前者称 $0^\circ/90^\circ$ 制耳, 后者称 45° 制耳^[1-4]。

产生制耳的主要原因是由于加工后的金属内部存在着织构。如面心立方金属, 当只有立方织构时产生4个对称的 $0^\circ/90^\circ$ 制耳; 当只有加工织构存在时, 产生4个对称的 45° 制耳^[5]; 当两种织构匹配时就产生8个对称的制耳^[6]。体心立方金属也有类似的情况。实际上, 除织构外, 金属内部第二相粒子的形状与大小及分布、内部的位错、深冲过程中的润滑情况和模具的尺寸公差等多种因素, 都对制耳的形成有一定的影响, 造成每个制耳之间完全有可能大小不等^[3]、位置不对称^[7-10]。

1 传统制耳率计算方法的缺陷

对深冲制品来说产生的制耳妨碍进一步加工, 因而它是有害的, 希望它越小越好。衡量制耳大小的指标是制耳率 e , 目前国内外通用的制耳率计算方法有两个^[3, 11], 即

$$e = \frac{2(h_{\max} - h_{\min})}{h_{\max} + h_{\min}} \times 100\% \quad (1)$$

$$e = (h_{\max} - h_{\min})/h_{\min} \times 100\% \quad (2)$$

式中 $h_{\max}$ 为杯子所有制耳波峰平均高度; $h_{\min}$ 为杯子所有制耳波谷平均高度。

在实际应用中, 制耳率一般都在10%以下, 因此式(1)和式(2)的结果相差不大。

图1是深冲后产生8个大小不均制耳的杯子沿园柱纵向剖开后的局部展开图。首先假设每个制耳的波谷都一样深, 设为 $h_{\min}$; 再假设4个 45° 方向制耳的波峰都一样高, 即为 $h_{\max} = h_{\min} + \Delta h$; 然后用式(1)计算。同样, 假设4

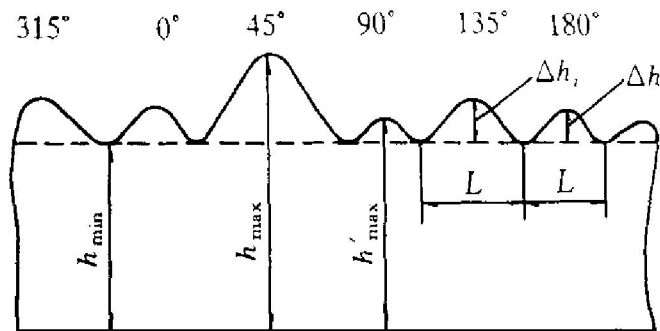


图1 冲杯产生的制耳沿纵向剖开的局部展开图

Fig. 1 Part of longitudinal expansion view of 8 ears produced by cupping

① 收稿日期: 1999-02-08; 修回日期: 1999-04-10 蒋显全, 男, 37岁, 硕士, 高级工程师

个 $0^\circ/90^\circ$ 方向制耳的波峰都一样高, 即高度 $h'_{\max} = h_{\min} + \Delta h'$; 相应地其制耳率用下式计算:

$$e' = \frac{2(h'_{\max} - h_{\min})}{(h'_{\max} + h_{\min})} \times 100\% \quad (3)$$

其 8 个制耳的平均制耳率为

$$\bar{e} = (e + e')/2 \quad (4)$$

当 $0^\circ/90^\circ$ 制耳逐渐减小而趋于 0, 即 $e' \rightarrow 0$ 时, 用式(4)计算出 4 个 45° 制耳的制耳率为

$$\begin{aligned} \bar{e} &= \lim_{e' \rightarrow 0} (e + e')/2 = e/2 \\ &= (h_{\max} - h_{\min})/(h_{\max} + h_{\min}) \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)也是由式(1)推导出来的结果, 式(1)和式(5)有矛盾, 其计算结果误差高达 50%。显然, 传统制耳率计算公式有很大的缺陷和不足。

2 合理的平均制耳率公式

同理, 由公式(2)也会推导出与上面相类似的结果, 那么, 问题出在哪里呢?

当每个制耳不一样高时, 每个制耳形成所需要的表面积并不与制耳的相对高度成正比, 因此求多个制耳的平均制耳率不能象式(1)或(2)那样用算术平均法。

图 2 是有 n 个大小不同制耳的杯子沿园柱纵向的展开图。假设各制耳的波谷深度都为 h_a , 制耳的波峰高度为 $h_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$, 则每个制耳的相对高度为

$$\Delta h_i = h_i - h_a \quad (6)$$

每个制耳的制耳率为

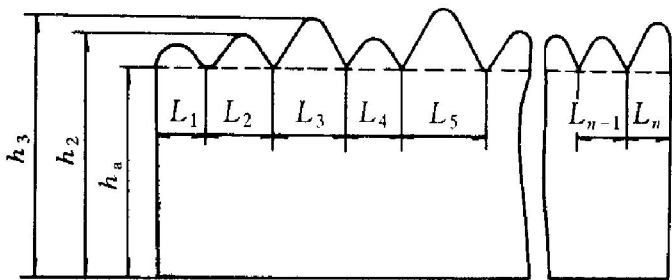


图 2 冲杯产生几个制耳的杯子沿纵向展开图

Fig. 2 Longitudinal expansion view of different earings produced by cupping

$$e_i = 2(h_i - h_a)/(h_i + h_a) \times 100\% \quad (7)$$

在计算每个杯子的平均制耳率时, 大制耳所占的加权系数大, 小制耳所占的加权系数小, 其加权系数可按图 2 中的制耳波谷之间的长度 $L_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 来计算, 即 n 个制耳的平均制耳率为:

$$\begin{aligned} \bar{e} &= \frac{e_1 L_1 + e_2 L_2 + e_3 L_3 + \dots + e_n L_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n} \rightarrow \\ &\leftarrow \frac{e_{n-1} L_{n-1} + e_n L_n}{L_{n-1} + L_n} \end{aligned} \quad (8)$$

实际上每个制耳之间都十分相似, 并假设它们之间完全相似, 即

$$\begin{aligned} \Delta h_i / \Delta h_j &= L_i / L_j \\ i, j &= 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (9)$$

由式(9)可得出:

$$\begin{aligned} L_i / (L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n) &= \Delta h_i / (\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \dots + \Delta h_n) \end{aligned} \quad (10)$$

综合式(8)和(10)有

$$\bar{e} = \frac{e_1 \Delta h_1 + e_2 \Delta h_2 + e_3 \Delta h_3 + \dots + e_n \Delta h_n}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \dots + \Delta h_n} \quad (11)$$

在实际工程中制耳率很少超过 10%^[7, 13], 即 h_i 值变化很小, 可以认为 $h_1 + h_a, h_2 + h_a, h_3 + h_a, \dots, h_n + h_a$ 都相等。在式(11)的分子分母同时除以 $(h_i + h_a)/2 (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 并结合式(7), 可得出

$$\bar{e} = \frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2}{e_1 + e_2 + e_3 + \dots + e_n} \quad (12)$$

当各制耳一样高, 即 $e_1 = e_2 = e_3 = \dots = e_n$ 时, 平均制耳率为

$$\bar{e} = e_1 = e_2 = e_3 = \dots = e_n$$

由此可见, 式(1)或(2)是式(12)中当每个制耳都一样高时的特例。

现举例说明式(12)的运用。当 45° 平均制耳率为 1% 及 $0^\circ/90^\circ$ 平均制耳率为 10% 时, 用式(12)计算出的平均制耳率为 $e = 9.18\%$, 而用式(1)或(2)计算出的平均制耳率为 $e = 5.5\%$, 两者差别很大。显然用式(12)计算出的结果精度更高, 更合理。因为 45° 制耳很小,

而 $0^\circ/90^\circ$ 制耳很大, 两者的差别这样大, 完全可以视 45° 制耳不存在, 只有 4 个 $0^\circ/90^\circ$ 制耳, 此时用式(1)或式(2)计算出的结果为 10%, 这又与式(12)计算出的结果相接近。

REFERENCES

- 1 Kypiacos C ed, Zhang Junyao(张君尧) transl. Processing Technology of Light Metals(轻合金加工技术), 1985, 5: 29.
- 2 Tucker G E G. Acta Metall, 1996, 9: 275.
- 3 Wang Chaoqun(王超群) *et al.* The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(1): 53–55.
- 4 Wang Yun *et al.* In: Textures of Materials ICOTOM-11. Xi'an: International Academic Publishers, 1996: 891.
- 5 Li Yao(李尧). The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1997, 7(1): 113–117.
- 6 Blade J C: In: Merchant M D and Moris J G eds, Texture in Non-ferrous Metals and Alloys. 1985: 1.
- 7 Pan Rongzhen(潘荣臻), Zhang Nengjian(张能健) *et al.* Processing Technology of Light Metals(轻合金加工技术), 1998, 26(2): 40–42.
- 8 Li S Y *et al.* In: Textures of Materials ICOTOM-11. Xi'an: International Academic Publishers, 1996: 805–811.
- 9 Savoie J *et al.* In: Textures of Materials ICOTOM-11. Xi'an: International Academic Publishers, 1996: 864.
- 10 Zhou Y *et al.* In: Textures of Materials ICOTOM-11. Xi'an: International Academic Publishers, 1996: 920–925.
- 11 Shen Jian(沈健) and Zhang Xinming(张新明). Processing of Aluminum(铝加工), 1994, 3: 44–47.
- 12 Yin Deyan(尹德艳) and Liang Huidong(梁惠冬). Processing Technology of Light Metals(轻合金加工技术), 1998, 26(9): 32–34.

QUERY AND RE-ESTABLISHMENT OF CALCULATION FORMULA FOR CUPPING EARING RATIO

Jiang Xianquan, Zhang Xiuqing and Wen Hua

Sichuan Institute of Metallurgy Research, Chengdu 610081, P. R. China

ABSTRACT There are several(usually 4 or 8) earings formed in the practical cupping process, and the earings may be different in height. The conventional calculation formulae for earing ratio were derived from the arithmetic mean method, and through mathematical derivation and demonstration, it was found that this method has very large error and contradicts itself. Assuming that the contributions of each earing to the earing ratio is different, and the relative heights are used as weight coefficients, a new calculation formula for earing ratio has been derived. Computation checking showed that the new formula has higher precision than the conventional formulae and the conventional calculation formulae are only the specific case of the new one when the earings are equivalent.

Key words cupping earing earing ratio

(编辑 袁赛前)