

金属板材深冲制耳的晶体学计算^①

王超群 林瑞冬 丁海宁 何崇智

(北京有色金属研究总院, 北京 100088)

摘 要 根据多晶金属板材塑性变形的晶体学理论, 由材料织构定量分析(ODF)方法, 计算了金属板材的冲压制耳高度分布。考虑到单晶滑移变形及屈服条件, 计算出了板坯的径向应变周边分布, 然后用取向分布函数(ODF)给予加权平均计算多晶金属板材的径向应变, 进而计算板坯周边的平均应变及制耳高度。对铝合金板材理论预测的结果表明制耳位置(45°制耳), 制耳个数(4个制耳)与制耳率($e=4.29$)与实测的结果相吻合。

关键词 制耳 织构 金属板材 ODF

中图法分类号 TG 386.3

金属板材在深冲过程中, 冲杯相对于轧向不同方位上的边缘高度通常要发生变化, 这是由于金属板材的径向应变不同造成的。形成了制耳就要大量地切边, 而且在深冲过程中, 在制耳间的“波谷”或制耳本身上可能产生开裂的危险, 严重地影响板材的深冲成型与使用, 提高制品成本, 因此制耳的研究深受关注。1961年 Tucker^[1]对单晶铝板织构与制耳的关系, 做了较仔细的分析, 预估了制耳高度, 与实验值符合得较好。1981年 Kanetake^[2]等就面心立方多晶板材的制耳作了深入研究, 提出了一些建议, 1987年又进一步研究在各种条件下制耳的晶体学计算^[3], 铝、铜及钢板的制耳轮廓的计算结果与实验符合得较好, 制耳的理论预估基本上趋于完善^[4-7]。本文建立了一套适用于BCC和FCC多晶板材制耳的预估方法和软件系统, 为金属板材工艺在线检测与监控工业应用提供理论依据。

1 制耳预估的方法与数模

由于制耳同板坯沿周向的径向应变有关、

也即塑性变形的各向异性有关, 因此首先计算深冲过程中径向应变的周边分布, 然后利用ODF分析方法计算制耳高度的周向分布, 进而计算制耳率。

计算中所作的假设如下:

(1) 在深冲过程中, 板坯上任一点均存在一个径向拉应力(σ)和切向压应力($-\sigma$), 法向应力为零, 也即平面应力状态。

(2) 单晶滑移变形模式中

FCC单晶有12个滑移系 $\{111\} \langle 110 \rangle$;

BCC单晶有48个滑移系 $\{110\} \langle 111 \rangle$, $\{112\} \langle 111 \rangle$ 和 $\{123\} \langle 111 \rangle$ 。

(3) 对于各个滑移系 N , 切应力 τ_N , 切应变 γ_N 的关系:

$$\tau_N = \mu_N \sigma = k \gamma_N^n + \tau_0 = k \gamma_N^n + \mu_0 \sigma \quad (1)$$

式中 μ_N 是滑移系 N 的Schmid因子, n 为硬化指数, k 为常数, μ_0 为临界施密特因子, $N=1, 2, \dots, 48$ 。

(4) 织构多晶板材可以简化为不同取向单晶的组合物, 用ODF表示, 在分析应变时取作加权平均。

(5) 当不只一个滑移系开动时, 宏观应变

① 中国有色金属工业总公司科技开发项目(96-039) 收稿日期: 1996-09-16; 修回日期: 1997-02-03
王超群, 男, 58岁, 教授级高工

则是各个开动滑移系的应变的累加值。

由(1)式计算可得

$$\gamma_N = \{ \sigma / k (\mu_N - \mu_0)^{1/n} \} \quad (\mu_N > \mu_0) \quad (2)$$

根据 Tucker 和 Kanetake 的计算模型, 对于给定的 α 角(与轧向的夹角)的单晶径向应变 ε_n 可按下式计算

$$\varepsilon_n = K \sum_N [(a_N d_N - b_N c_N) - \mu_0]^{1/n} + b_N \quad (\mu > \mu_0) \quad (3)$$

式中 $K = (\frac{\sigma}{k})^{1/n}$, a_N 、 b_N 、 d_N 和 c_N 分别为滑移面和滑移方向相对于主应力轴的方向余弦。

对于多晶金属板材的径向应变 ε_p 为

$$\varepsilon_p(\Psi, \theta, \varphi) = \frac{1}{8\pi^2} \iiint \varepsilon(\Psi, \theta, \varphi) \cdot W(\Psi, \theta, \varphi) \sin \theta \cdot d\Psi d\theta d\varphi \quad (4)$$

式中 $W(\Psi, \theta, \varphi)$ 是 Roe 系统的分布函数, 若将欧拉角作相应的替换, 代入各方向余弦项的计算, 即可转换为 Bunge 系统的计算^[8]。

冲杯的周向边缘高度 H 可按下式计算

$$H = (H_w / \bar{\varepsilon}_p) \cdot \varepsilon_p + \gamma_p + t_0 \quad (5)$$

$$H_w = (R_0^2 - R^2) / (R_p + R_d) \quad (6)$$

$$R^2 = 2(\gamma_p + t_0/2)^2 + (\gamma_p + t_0/2) \cdot (R_p - \gamma_p) \cdot \pi + (R_p - \gamma_p)^2 \quad (7)$$

式中 R_d 、 R_p 、 γ_p 、 R_0 和 t_0 分别为模子、冲头倒角和板坯厚度等的尺寸, $\bar{\varepsilon}_p$ 是 ε_p 沿周边的平均应变值。根据上式, 只要测得板材的组织, 确定各参数值, 便可计算制耳高度。

制耳率可按下式计算

$$e = \frac{2(H_{\max} - H_{\min})}{H_{\max} + H_{\min}} \times 100\% \quad (8)$$

式中 e 为制耳率, $H_{\max}$ 和 $H_{\min}$ 是制耳高度的最大值和最小值。

2 程序编制

根据上述数模, 用 C 语言编制了一套计算机软件, 程序框图如图 1 所示, 具有菜单驱动, 可随时调整参数与输入数据, 并可联机操作适

用于各种兼容微机运算。

在计算中 k 与 σ 的取值对结果无明显的影响, 它们在运算中将自行约消。但参数的选择是很重要的, 其值合理与否对结果将有较大的影响, 应根据材料的具体情况及时杯实验的结果, 进行对比后适当地调整 μ 与 n 值。

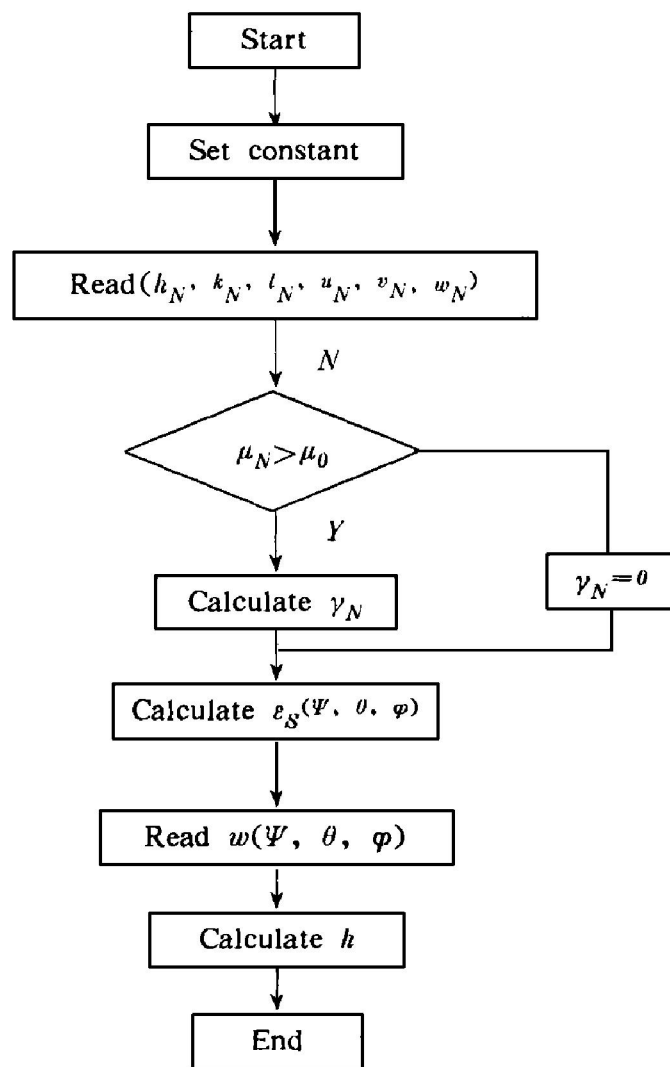


图 1 制耳高度计算流程图

Fig. 1 Chart of earing height calculating

3 结果与讨论

对典型金属材料如 2[#] 和 6[#] 铝合金板, 按航天工业部标准(HB6140. 2—87), 在 BCS-30B 型普通板材试验机上进行了深拉冲杯性能测试, 实测了这两种合金板材的制耳。模拟计算的制耳在制耳位置、数目及制耳率方面与实测值相吻合如表 1 所示。

表 1 铝合金板材模拟计算的制耳
与实测值的比较

Table 1 Comparison of simulated and
experimental earing for aluminium

alloys sheets						
Sample No.	Simulated earing			Experimental earing		
	Earing position	Earing number	Earing rate	Earing position	Earing number	Earing rate
2 [#]	45°	4	4. 25	45°	4	4. 29
6 [#]	45°	4	4. 13	45°	4	4. 01

2[#] 合金板主要存在 4 种织构组分 { 110 } < 112 >, { 112 } < 111 >, { 123 } < 634 > 及 { 100 } < 001 >, 而且铜式织构及 S 织构占主要部分, 因此 45°制耳是可以预期的, 进一步证实了该法的可靠性。

此外, 还对 3004 铝合金板及 IF 深冲钢板的冲压制耳进行了计算。对所采用的 IF 钢板呈 0°/90°制耳, 而 3004 铝合金板呈 45°制耳, 这与材料的织构是对应的, 并与该板材的塑性应变比 R 值的轧向位向关系对应。

利用该法不仅可以预估制耳位置、制耳个数, 而且可以预估制耳率。但是, 有时预估的制耳“波峰”位置偏离实测的方向, 这可能与计算中的参数选择以及深冲过程中晶体取向的进一步变化等因素有关, 有待进一步研究。

4 结束语

根据金属板材塑性变形的晶体学理论, 利

用多晶材料织构定量分析方法可以计算金属板材的制耳。对于铝合金板材理论预估的结果, 在制耳位置、个数及制耳率方面同实测的结果相吻合, 对于 IF 钢板的制耳高度周边分布与文献报道的数据相一致, 因此用该法可以预设金属板材的冲压制耳, 它在材料科学研究与工程应用中具有十分重要的意义, 为在线检测与监控提供了重要的理论依据。

REFERENCES

1 Tucker G D G. Acta Met, 1961, 9: 275.
2 Kanetake N and Tozawa R. Proceedings of ICO-TOM6. Tokyo: International Academic Publishers, 1980: 1101.
3 Kanetake N and Tozawa Y. Textures and Microstructures, 1987, 7: 131.
4 Kojima K, Tanikowa K and Hosoya Y. ICOTOMII. Xi'an: International Academic Publishers, 1996: 783.
5 Zhou Y, Jonas J J and Savoic J. Proceedings of ICO-TOMII. Xi'an: International Academic Publishers, 1996: 920.
6 Savoic J and Jain M. Makinde Proceedings of ICOTOMII. Xi'an: International Academic Publishers, 1996: 860.
7 Li S Y, Zhang X M and Gottstein G. Proceedings of ICOTOMII. Xi'an: International Academic Publishers, 1996: 806.
8 Bunge H J. Z Metallkde, 1965, 56: 872.

CRYSTALLOGRAPHICAL CALCULATION OF EARING
IN DEEP DRAWING METAL SHEET

Wang Chaoqun, Lin Ruidong, Ding Haining and He Chongzhi
General Research Institute for Non-ferrous Metals, Beijing 100088, P. R. China

ABSTRACT Earing in the cup drawing of sheet metals was calculated quantitatively by using a crystallographical theory of plastic deformation with measured texture data. The results showed that earing in the drawn cup can be predicted satisfactorily by the present method for a wide range of materials.

Key words earing texture ODF (编辑 黄劲松)