

金属板材成型性参数的预测方法^①

王超群

(北京有色金属研究总院, 北京 100088)

摘 要 在材料织构定量分析的基础上, 由织构级数展开系数计算金属板材的成型性参数, 如塑性应变比 R 值与泰勒因子 M 等。通过物理数学模型的选择, 提出了改进的简化数模。采用 Bunge 符号系统与晶体学处理方法, 建立了测算织构金属材料的成型性参数的新方法。理论预测与力学性能测试的结果相一致, 证实了该法的准确性和可靠性。

关键词 成型性参数 织构 ODF R M

根据单晶各向异性, 利用材料织构加权平均, 计算多晶材料的宏观性能是材料织构定量分析技术的最重要应用之一。研究织构材料宏观性能和微观组织的关系, 对开发与提高材料的性能具有十分重要的意义。

采用这种方法不仅能直接预测材料的宏观性能, 还可免去复杂的性能测试工作、进行材料优化设计、实现材料性能在线监控在工业中的应用。

本工作针对现代工业生产的发展要求, 在开发材料织构定量分析方法的基础上, 由织构级数展开系数计算金属板材的成型性参数, 建立了以 Bunge 系统为特点的联机测算方法。

1 板材成型性参数测算的数模

模拟计算 R 值的方法较不同方位取样测试法简便, 也有利于比较深入地了解塑性变形机制的物理本质, 有实际应用价值与理论意义。目前计算金属板材成型性参数的方法主要有晶体学法与连续体机制法 (CMTP), 作者主要采用前一种方法, 对于面心立方金属材料也采用 CMTP 法进行对比。

晶体学法^[1, 2]是基于 Taylor-Bishop-Hill 分

析, 在利用泰勒模型时, 对单晶变形做了一些假设如单晶通过滑移系的滑移进行变形及在临界分切应力下发生均匀剪切; 滑移系的选择遵循最小变形功原理以及晶体通过刚性转动改变其取向^[3]。

在单轴拉伸下, 应变张量 ϵ_{ij} 用应变主轴表示, 由于变形时体积不变, ϵ_{ij} 可以写成

$$\epsilon_{ij} = d\eta \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -q & 0 \\ 0 & 0 & -(1-q) \end{vmatrix} \quad (1)$$

式中 q 为压缩比。

根据 Bunge 和 Robert^[2] 采用泰勒模型研究多晶板材轧面的应变比, 塑性各向异性可以用泰勒因子 $M(q, g)$ 表示, 在此 g 为晶体取向。

由于泰勒因子 $M(q, g)$ 是一个取向相关量, 它可以展成级数

$$M(q, g) = \sum_{\lambda=0}^L \sum_{\mu=-\lambda}^{\lambda} \sum_{\nu=-\lambda}^{\lambda} M_{\lambda}^{\mu\nu}(g) \cdot T_{\lambda}^{\mu\nu}(g) \quad (2)$$

对于多晶材料, 泰勒因子是一个平均值即

$$\bar{M}(q, g) = \int M(q, g) \cdot f(g) dg \quad (3)$$

在考虑坐标系的变换之后, 如与轧向夹角为 β , 则(3)式可转换为

$$\bar{M}(\beta, q) = \sum_{\lambda=0}^L \sum_{\mu=-\lambda}^{\lambda} \sum_{\nu=-\lambda}^{\lambda} \frac{m_{\lambda}^{\mu\nu} \cdot C_{\nu}^{\mu}}{2\lambda+1} \cdot \cos 2(\nu-1)\beta \quad (4)$$

① 国家自然科学基金资助项目(59371012) 收稿日期: 1995-11-07; 修回日期: 1996-04-08

王超群, 男, 57岁, 高工

式中 M_{λ}^{uv} 为泰勒因子的系数, C_{λ}^{uv} 为织构系数, 它可由测量极图及其反演算出, 因此可以求得平均泰勒因子 $\bar{M}(\beta, q)$ 与 q 、 β 的关系。对于塑性计算只取展开度 λ 至 10, 已经足够近似了, 亦即在计算 $\bar{M}(\beta, q)$ 时, 只取展开系数 C_{10}^{uv} 的值, 并由

$$\frac{\partial \bar{M}(q)}{\partial q} = 0 \quad (5)$$

求得最小的压缩比 $q_{\min}$, 再由下式计算 R 值:

$$R = \frac{q_{\min}}{1 - q_{\min}} \quad (6)$$

在实际计算中, 不难看出 $q_{\min}$ 的取值对 R 值的计算结果影响很大, 为此我们提出改进的简化数模去拟合 $\bar{M}(\beta, q) \sim q$ 曲线, 以求得最小的 $q_{\min}$

所谓 *CMTF* 法是近年来由 Jonas 等人^[4] 发展起来的一种计算织构金属材料屈服面与 R 值的方法, 它不仅考虑了产生塑性各向异性的织构因素, 而且直观地表示了多晶材料的屈服条件, 简化了运算量。该法成功地计算了面心立方金属材料的平面塑性各向异性应变比 R 值^[5]。

目前主要有 3 种模型, 即 Sachs(均匀应力)、Taylor(均匀应变)和 Kochendörfer(混合模型), 用于考虑晶粒间的相互作用。由于它们没有考虑微观滑移变形机制, 所以对于体心立方金属材料的计算结果与实际偏离较大。

在本工作中, 目前, 只引进 Sachs 和 Taylor 模型用于 R 值计算; 采用高斯分布拟合处理织构漫散程度, 并计算了织构组分的体积百分数, 这在面心立方金属材料的理论预测中得到了较为满意的结果。

2 成型性参数测算的软件包

本测算系统由 ODF 测算软件系统和成型性参数计算软件两部分组成。由 ODF 计算得到的 C 系数文件可以直接进入成型性参数计算, 并可由菜单点选择计算各项参数。该软件系统用 C 语言写成, 适用于各种兼容微机运

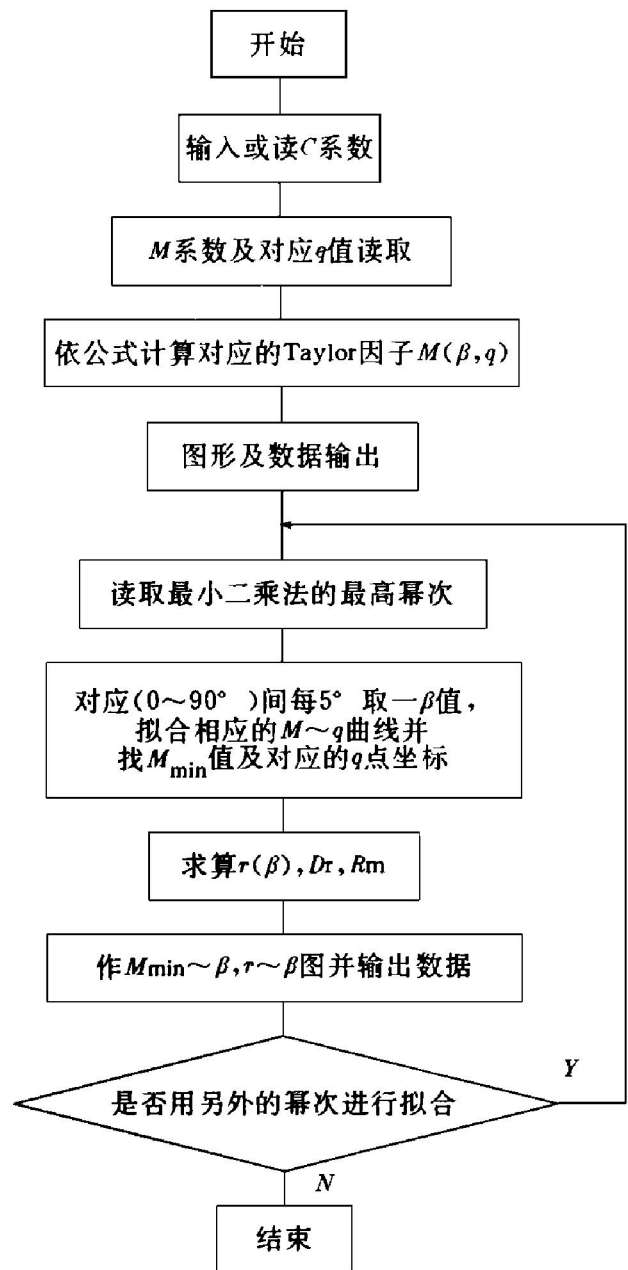


图1 成型性参数(塑性各向异性)计算框图
行, 其软件框图如图1所示。

3 典型金属材料应用实例

下面以两种工业实用金属板材, 即工业铝板及钢板的成型性参数测算为例, 说明该法的准确性和可靠性。

3.1 工业铝板(面心立方晶系)

图2是该板材的平均泰勒因子与压缩比在不同轧向位向($\beta = 0, 45$ 和 90°)时的关系, 图3是其 Lankford 参数 $-R$ 值与 β 角的关系。由图可见, 由本方法预测的结果与文献[3]报道

的数据完全一致。

正如前述的 $q_{\min}$ 的确定对结果影响颇大, 在采用 $\bar{M}(\beta, q) \sim q$ 的数学模拟时, 多项式模拟函数的“次值 n ”可以根据实际情况选择, 本工作通用 $n = 4 \sim 5$, 此值由其曲线的形状而定。

此外还将 3004 铝合金薄板 R 的计算值与 $CMTP$ 法计算结果进行了对比, 如图 4 所示。

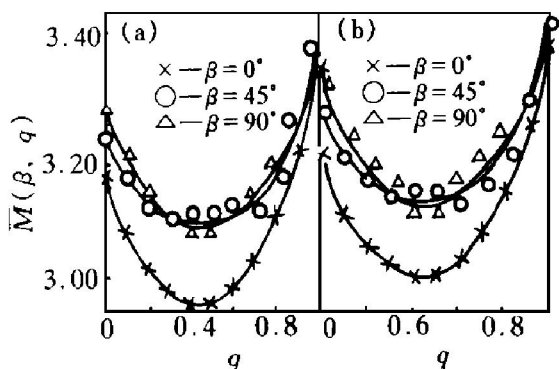


图 2 工业纯铝平均泰勒因子 $\bar{M}(\beta, q)$ 与压缩比 q 的关系 ($\{111\} \langle 110 \rangle$ 滑移)
(a)—文献值^[13]; (b)—计算值

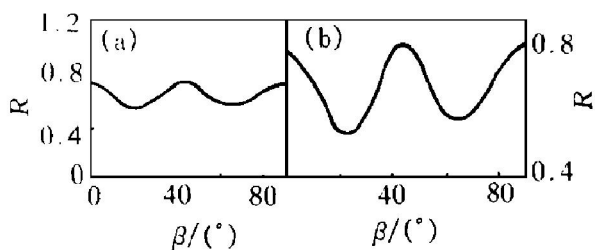


图 3 工业纯铝塑性应变比 R 值与 β 角的关系
(a)—文献值^[13]; (b)—计算值

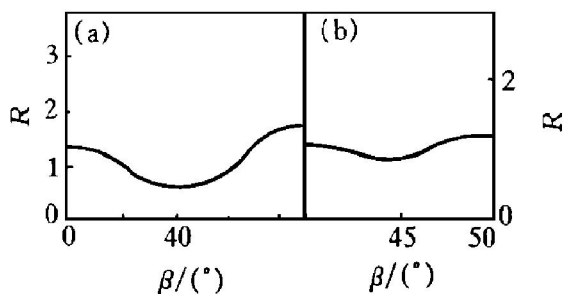


图 4 3004 铝合金板材塑性应变比 R 与轧向位向角 β 的关系
(a) —晶体学法 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 滑移; (b) — $CMPT$ 法

两者吻合较好, 说明前法是可行的。

3.2 钢板(体心立方晶系) R 值预测的实验验证

如图 5 所示, 用本方法及 $\{hkl\} \langle 111 \rangle$ 铅笔型滑移模型计算钢板的 R 值与实验测试的结果相一致。图中 $\beta = 0, 45$ 和 90° 的圆圈点是取自力学性能实验测试的结果, 每点是 3 次测试结果的平均值。由此从实验上进一步验证了该方法的准确性、可靠性。显然采用理论预测的成型性参数可以用于取代 R 值的实验测试值, 在实际应用中具有重要的意义与经济价值。

在本方法中由于考虑了微观变形机制, 又对平均泰勒因子 $\bar{M} \sim q$ 曲线进行数学模拟, 因此物理基础充分, 数学处理合理, 能得到较好的结果, 具有推广应用前景。

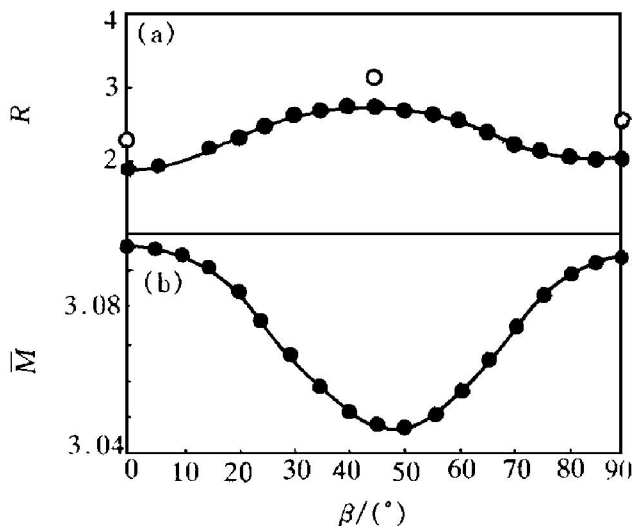


图 5 计算 R 值与实测 R 值比较 ($\beta = 0, 45, 90^\circ$), 钢板塑性各向异性, ($hkl\} \langle 111 \rangle$ 滑移)
(a) —塑性各向异性应变比 R ; (b) —平均泰勒因子 $\bar{M}$

4 结论

(1) 在材料织构定量分析的基础上, 由织构级数展开系数计算了金属板材的成型参数, 建立了以 Bunge 符号系统为特点的联机测算方法。

(2) 提出的简化数学模型, 在计算 R 值时行之有效, 所编制的软件系统具有菜单驱动

型, 适用于多种兼容微机运行。

(3) 考虑了晶体的微观变形机制, 所建立的方法不仅适用于面心立方金属板材, 也适用于体心立方金属板材的成型性参数预测, 对于工业“在线”监控应用有重要的使用价值。

参考文献

1 Bunge H J, Schulz M, Gresik D. Calculation of the Yield Lo-

cus of Polycrystalline Material According to the Taylor Theory. *Peine+ Salzgitter Berichte. Sonderheft*, 1980.

2 Bunge H J, Robert W T. *J Appl Cryst*, 1969, 2: 116.

3 Park N J, Klein H, Bunge H J. Program system for Physical properties Calculation. TU Clausthal, Germany. 1994.

4 Lequeu P, Jonas J. *J Met Trans*, 1988, 19A: 107.

5 何崇智. 稀有金属, 1995, 19: 148.

6 施小龙, 葛玉宝, 邓明辉. 库函数快速参考. 北京: 北京学苑出版社, 1994.

PREDICTION OF FORMABILITY PARAMETERS OF SHEET METALS

Wang Chaoqun

Beijing General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing 100088

ABSTRACT Based on the development of the Quantitative Texture Analysis (QTA) of materials, the calculation of formability parameters such as plastic strain ratio R and the Taylor factor M of sheet metals from series expansion Coefficients of texture have been studied. A simplified mathematic model has been proposed by choosing suitable physicomathematic model, and a new method to calculate formability parameters of texture metal materials has been given using Bunge symbol system and crystallography process method. The prediction results agree well with experimental data from a steel sheet.

Key words formability parameters software system texture ODF R M

(编辑 黄劲松)

(上接 48 页)

ANODIC PASSIVATING FILM OF COPPER IN CONCENTRATED NaOH SOLUTION

He Jianbo, Li Xueliang, Lin Jianxin

Institute of Chemical Engineering,

Hefei Polytechnical University, Hefei 230009

ABSTRACT The anodic passivating films formed on copper surface in concentrated NaOH solutions have been investigated by galvanostatic reduction and X-ray diffraction (XRD) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The result showed the first passive film on copper surface is made up of Cu_2O and $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$, and the second is made up of a base Cu_2O layer and an upper $\text{CuO} \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{ad})$ layer in which the proportions of these three components display regular depth change. The formation mechanism of $\text{Cu}(\text{II})$ oxide film was also discussed.

Key words passivating film alkaline media copper

(编辑 吴家泉)