

铝板单轴拉伸过程中的织构演变^①

李赛毅 张新明 汪彩坤 蹇雄

(中南工业大学材料科学与工程系, 长沙 410083)

摘 要 采用取向分布函数(ODF)研究了纯铝板材单轴拉伸过程中的织构演变规律。结果表明, 单轴拉伸过程中存在着明显的织构变化。相对于拉伸坐标系而言, 稳定性较好的织构组分主要有 $\{110\}$ $\langle 111 \rangle$, $\{112\}$ $\langle 111 \rangle$ 和 $\{100\}$ $\langle 001 \rangle$, 稳定性较差的织构组分主要有 $\{110\}$ $\langle 110 \rangle$ 和 $\{112\}$ $\langle 110 \rangle$ 。拉伸过程中晶粒的 $\langle 111 \rangle$ 和 $\langle 001 \rangle$ 方向分别为稳定和较稳定的拉伸方向, $\langle 110 \rangle$ 方向为不稳定的拉伸方向。

关键词 织构 单轴拉伸 铝板 取向分布函数(ODF)

中图法分类号 TG335

广泛的实验研究已表明, 金属板材的塑性应变比(即塑性各向异性)在单轴拉伸过程中将发生明显的变化, 而织构的变化可能是其根本原因^[1-4]。因此, 系统地研究单轴拉伸过程中的织构变化规律, 将有助于探明其对塑性各向异性的影响, 为进一步确定合理的塑性各向异性指标提供可靠的实验依据。Truszkowski 等人^[5]及 Peyrac 和 Penelle^[6]利用实测极图分别对镍及纯铝等 FCC 金属板材的拉伸织构变化进行了研究, 但由于所用材料的初始织构缺乏代表性以及极图方法本身的缺陷, 此类研究未能确立这些板材单轴拉伸织构变化的一般规律。基于上述考虑, 本文以退火态纯铝板材为例, 采用取向分布函数(ODF)方法分析了单轴拉伸过程中的织构变化, 探讨了该类形变织构演变的一般规律。

1 实验内容与方法

1.1 拉伸实验

所用材料为 1.2 mm 厚的退火态 AA1100 纯铝板材。拉伸方向包括轧向(RD)和横向(TD)。试样制备及实验方法参考 GB5027-85

进行, 其中, 沿 RD 的轴向拉伸变形程度(ϵ)分别为 6%, 18% 和 38%; 沿 TD 的 ϵ 分别为 6%, 18% 和 30%。该实验在 Instron-8032 电子拉伸机上完成, 夹头移动速率为 5 mm/min。

1.2 拉伸坐标系

本研究用拉伸坐标系定义织构, 即将相对于轧制坐标系的 Miller 指数($\{hkl\} \langle uvw \rangle$)经适当转换后加注上标 T 来表示织构(即 $\{hkl\} \langle u'v'w' \rangle^T$)。其中, 拉伸坐标系是以拉伸试样的 3 个正交主应变方向(拉伸方向、宽向及厚向)作为坐标轴方向。对于沿 RD 拉伸的试样, 拉伸坐标系与轧制坐标系完全重合。对于沿 TD 拉伸的试样, 拉伸坐标系相对于轧制坐标系存在板面内的 90° 转角, 即 $\langle u'v'w' \rangle^T$ 与 $\langle uvw \rangle$ 垂直。

1.3 织构测算

板材初始织构试样直接从板材上切取, 以 RD 为长向, 试样尺寸为 24 mm × 14 mm。拉伸织构试样在拉伸试样标距内变形相对均匀的区间内切取, 试样长向与拉伸轴方向一致, 大小则随拉伸变形程度的不同而异。所有试样均采用线切割方法切取, 并用电腐蚀法消除试样边缘机加工热影响区及表面残余应变层。

① 湖南省自然科学基金资助项目 97JJY2028 收稿日期: 1997- 11- 12; 修回日期: 1998- 03- 23
李赛毅, 男, 29 岁, 博士, 讲师

极图测定采用 Schulz 反射法在德国亚琛 (Aachen) 工业大学的 Lür-2 型全自动 X 射线衍射仪上进行, 仪器工作参数为 35 kV, 28 mA, 采用 Cu(K α) 靶。所测极图为 {111}, {200}, {220} 和 {113} ($5^\circ \leq \alpha \leq 85^\circ$)。极图数据经散焦与基底修正后, 采用 Bunge^[7] 级数展开法计算取向分布函数, 并将 C_l^h 系数表示至 $l = 22$ 。为了消除鬼峰效应, 计算中采用高斯分布指数方法推算级数展开的奇数项。

2 实验结果与讨论

图 1 给出了该铝板沿 RD 和 TD 的初始织

构以及经最大轴向拉伸均匀变形后的织构, 由此可看出整个拉伸过程总的织构变化。由图 1 (a) 可以看出, 板材初始织构组分主要有 {100} $\langle 001 \rangle$, {110} $\langle 001 \rangle$, {112} $\langle 111 \rangle$, {110} $\langle 112 \rangle$ 和 {110} $\langle 110 \rangle$ 。根据拉伸坐标系与轧制坐标系中的取向转换关系, 拉伸试样沿 RD 的初始织构与之相同, 但加注上标 T。对于沿 TD 拉伸的试样, 其初始织构则应将上述组分进行板平面内的 90° 转动, 即主要具有 {100} $\langle 001 \rangle^T$, {110} $\langle 110 \rangle^T$, {112} $\langle 110 \rangle^T$, {110} $\langle 111 \rangle^T$ 及 {110} $\langle 001 \rangle^T$ 组分(图 1(b))。

比较图 1(a) 和图 1(c) 可看出, 沿 RD 经 38% 拉伸变形后, {112} $\langle 111 \rangle^T$ 和 {110} $\langle 111 \rangle^T$

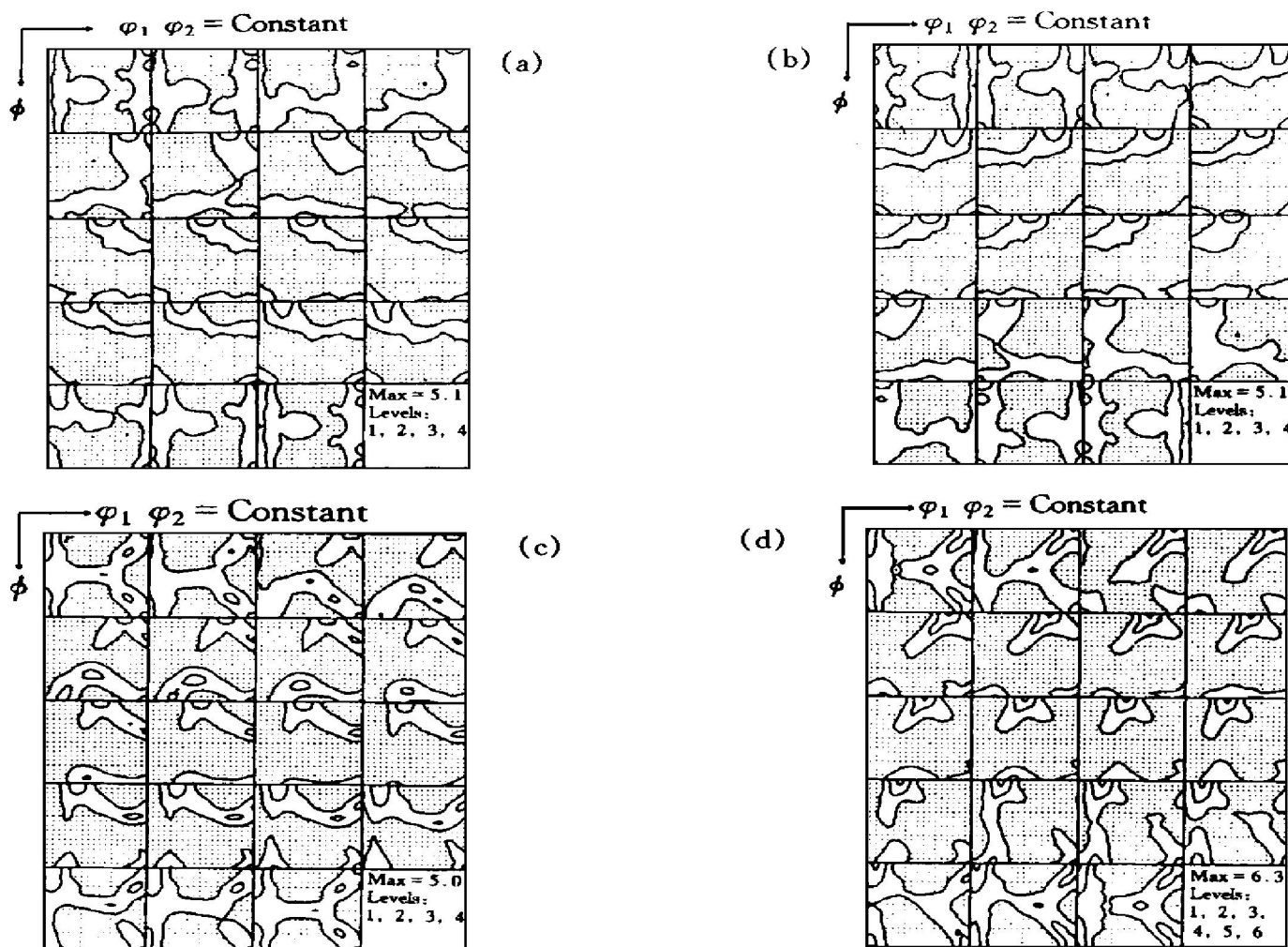


图 1 铝板沿 RD 和 TD 的初始织构与经最大轴向拉伸变形后的织构

Fig. 1 Textures measured for aluminum sheet without tension (a), (b) and after maximum uniaxial tension (c), (d) along RD and TD, respectively
(a) —RD, $\varepsilon = 0$; (b) —TD, $\varepsilon = 0$; (c) —RD, $\varepsilon = 38\%$; (d) —TD, $\varepsilon = 30\%$

组分明显增强, $\{110\} \langle 110 \rangle^T$ 组分明显变弱; 比较图 1(b) 和图 1(d) 可看出, 沿 TD 经 30% 拉伸变形后, $\{100\} \langle 001 \rangle^T$ 和 $\{110\} \langle 111 \rangle^T$ 组分明显增强, $\{112\} \langle 110 \rangle^T$ 和 $\{110\} \langle 110 \rangle^T$ 组分明显变弱。在两个方向的拉伸中, $\{110\} \langle 001 \rangle^T$ 组分的强度都基本不变。

因此, 尽管板材沿 RD 和 TD 的初始组织差别很大(相对于拉伸坐标系), 但它们在拉伸过程中总的组织变化规律却非常一致。一方面, 从取向强度的变化来看, 拉伸过程中明显增加的组分主要有 $\{110\} \langle 111 \rangle^T$, $\{112\} \langle 111 \rangle^T$ 和 $\{100\} \langle 001 \rangle^T$, 但 $\{112\} \langle 111 \rangle^T$ 的增强主要在 RD 拉伸中, $\{100\} \langle 001 \rangle^T$ 的增强则主要在 TD 拉伸中, 这显然与两种组分的初始强度分别在 RD 和 TD 试样中较强有关; 明显减弱的组分主要有 $\{112\} \langle 110 \rangle^T$ 和 $\{110\} \langle 110 \rangle^T$, 但由于只有在 TD 拉伸试样中才有较强的 $\{112\} \langle 110 \rangle^T$ 和 $\{110\} \langle 110 \rangle^T$ 初始组分, 所以, 这种变化在 TD 拉伸中表现得更为明显。总的来说, 拉伸过程中 $\{110\} \langle 111 \rangle^T$, $\{112\} \langle 111 \rangle^T$ 和 $\{100\}$

$\langle 001 \rangle^T$ 组分稳定性最好, $\{110\} \langle 001 \rangle^T$ 组分稳定性一般, 而 $\{112\} \langle 110 \rangle^T$ 和 $\{110\} \langle 110 \rangle^T$ 组分则很不稳定。

另一方面, 从相对于拉伸轴方向的取向稳定性来看, 拉伸过程中 $\langle 111 \rangle$ 和 $\langle 001 \rangle$ 晶向趋向于平行于拉伸轴方向, 分别为稳定和较稳定的拉伸方向; 相反, $\langle 110 \rangle$ 晶向则远离拉伸轴方向, 为不稳定的拉伸方向。这与轴对称拉伸过程中的取向稳定性规律相同^[8, 9]。

Truszkowski 等人^[5] 发现镍板中 $\{112\} \langle 111 \rangle^T$ 组织随拉伸变形的增大而增强。Peyrac 和 Penelle^[6] 发现经再结晶退火的纯铝板材中, 沿 TD 方向的拉伸变形导致主要组织组分 $\{123\} \langle 412 \rangle^T$ 逐渐转向 $\{110\} \langle 111 \rangle^T$ 位置。尽管这些材料的初始组织都与本研究存在显著的差别, 但所表现出的组织变化特征都包含在本研究所得到的规律之中。

图 2 给出了该板材经不同轴向拉伸变形后的 ODF $\varphi_2 = 45^\circ$ 截面图。由于 FCC 金属板材变形前后的主要组织组分均在 $\varphi_2 = 45^\circ$ 截面上存

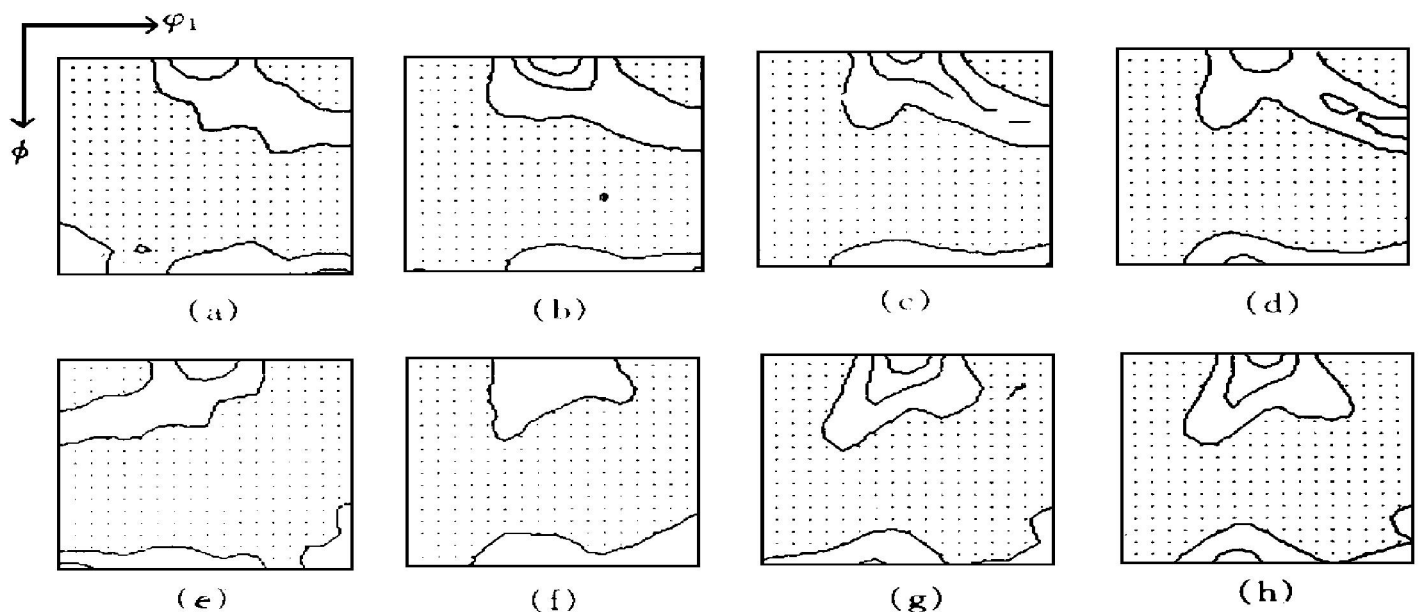


图2 铝板沿 RD 和 TD 单轴拉伸过程中的组织演变($\varphi_2 = 45^\circ$, 水平: 1-3-5-7)

Fig. 2 Texture evolution during uniaxial tension of aluminum sheet along RD and TD, respectively ($\varphi_2 = 45^\circ$, levels: 1-3-5-7).

(a) —RD, $\varepsilon = 0$; (b) —RD, $\varepsilon = 6\%$; (c) —RD, $\varepsilon = 18\%$; (d) —RD, $\varepsilon = 38\%$;
(e) —TD, $\varepsilon = 0$; (f) —TD, $\varepsilon = 6\%$; (g) —TD, $\varepsilon = 18\%$; (h) —TD, $\varepsilon = 30\%$

在相应的对称等效取向^[7, 10], 所以由图2可以进一步了解不同变形程度时的主要织构变化及其程度。不难看出, 除 $\{100\} \langle 001 \rangle^T$ 组分外, 其它各主要组分的强度均随轴向拉伸变形程度的增加而逐渐、稳定地变化。其中, 在RD方向, 经6%拉伸变形后 $\{100\} \langle 001 \rangle^T$ 强度显著增加(图2(b)), 但随拉伸变形程度的继续增大, 其强度又开始逐渐变弱(图2(c), (d)); 在TD方向, 经6%拉伸变形后, $\{100\} \langle 001 \rangle^T$ 强度显著减弱(图2(f)), 但延伸至18%时, 其强度又显著增大(图2(g)), 且在随后的变形过程中不再有明显变化(图2(h))。

3 结论

纯铝板材单轴拉伸过程中存在着明显的织构变化, 相对于拉伸坐标系而言, 稳定性较好的织构组分主要有 $\{110\} \langle 111 \rangle$, $\{112\} \langle 111 \rangle$ 及 $\{100\} \langle 001 \rangle$, 稳定性较差的织构组分主要有 $\{110\} \langle 110 \rangle$ 和 $\{112\} \langle 110 \rangle$, $\{110\} \langle 001 \rangle$ 组分的稳定性一般。拉伸过程中晶粒的 $\langle 111 \rangle$ 和 $\langle 001 \rangle$ 方向分别为稳定和较稳定的拉伸方向, $\langle 110 \rangle$

方向则为不稳定的拉伸方向。

REFERENCES

- 1 Hu H. Metall Trans, 1975, 6A: 945.
- 2 Lake J S H, Willis D J and Fleming H G. Metall Trans, 1988, 19A: 2805.
- 3 Li S Y and Zhang X M. In: Liang Z *et al* eds. Proceedings of the 11th International Conference on Textures of Materials (ICOTOM-11). Beijing: International Academic Publishers, 1996: 800.
- 4 Li S Y, Zhang X M and Chen Z Y. Trans Nonferrous Met Soc China, 1996, 6(1): 95–99.
- 5 Truszkowski W, Latkowski A and Krol J. Mem Sci Rev Met, 1966, 63: 951.
- 6 Peyrac C and Penelle R. Mem Sci Rev Met, 1992, 89: 270.
- 7 Bunge H J. Texture Analysis in Materials Science. London: Butterworths, 1982: 23.
- 8 Chin G Y and Mammel W L. Trans TMS-AIME, 1967, 239: 1400.
- 9 Chin G Y *et al*. Trans TMS-AIME, 1967, 239: 1854.
- 10 Li Saiyi(李赛毅). PhD Dissertation. Changsha: Central South University of Technology, 1997.

TEXTURE EVOLUTION DURING UNIAXIAL TENSION OF ALUMINUM SHEET

Li Saiyi, Zhang Xinming, Wang Caikun and Jian Xiong

Department of Materials Science and Engineering,

Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China

ABSTRACT Texture changes of aluminum sheet after different uniaxial tensile deformations were investigated with the aid of the experimentally determined orientation distribution functions. The results demonstrate that there are obvious texture changes during uniaxial tensile testing. Referring to the tensile coordinate system, texture components $\{110\} \langle 111 \rangle$, $\{112\} \langle 111 \rangle$ and $\{100\} \langle 001 \rangle$ are stable, $\{110\} \langle 001 \rangle$ is metastable and $\{110\} \langle 110 \rangle$ and $\{112\} \langle 110 \rangle$ are unstable. From the viewpoint of stability relative to the tensile direction, $\langle 111 \rangle$ and $\langle 001 \rangle$ directions of crystals are stable and metastable respectively, while $\langle 110 \rangle$ direction is unstable during uniaxial tension.

Key words texture uniaxial tension aluminum sheet orientation distribution function (ODF)

(编辑 黄劲松)