

文章编号: 1004 - 0609(2003)01 - 0056 - 04

# 异步轧制高纯铝箔冷轧织构沿板厚的分布规律<sup>①</sup>

吕爱强, 黄涛, 王福, 左良  
(东北大学材料与冶金学院, 沈阳, 110004)

**摘要:** 通过异步轧制, 研究了高纯铝箔冷轧织构沿板厚的分布规律。在异步轧制下, 快、慢速辊侧之间的各中间层的织构类型不同。速比为 1.28, 形变量为 99.2% 时, 随厚度的增加, 呈现出极有规律的变化: {100} 丝织构含量近线性减少, 而 {112}, {102}, {123} 丝织构含量近线性增加。当形变量为 99.2% 时, 在不同速比下 {001} 丝织构含量沿厚度变化趋势不同: 速比 1.28 时, 呈现出近线性递减; 速比 1.17 和 1.06 时, 总的趋势也是递减, 且在厚度  $d = 0.04$  mm 处有最小值。

**关键词:** 异步轧制; 高纯铝箔; 织构; 中间层

**中图分类号:** TG 146.2<sup>+</sup> 1

**文献标识码:** A

长期以来材料科学工作者不断地致力于高纯铝箔微取向流变行为的研究<sup>[1~4]</sup>, 以期获得较高的立方织构 {001} <100>, 最近几年在这一领域取得了很大的进展<sup>[5~7]</sup>。这些成果都是在同步轧制条件下取得的, 对异步轧制 (cross shear rolling—CSR) 迄今尚无人问津。作者在研究了异步轧制下高纯铝箔表层冷轧织构的基础上<sup>[8]</sup>, 进一步研究了高纯铝箔在异步轧制下的各中间层冷轧织构的演变规律。

异步轧制是指上、下工作辊线速度不等的一种轧制方法。具有轧制压力小, 产品精度高, 特别适于轧制薄带和超薄带<sup>[9]</sup>, 对高纯铝箔的工业生产特别有利。因此, 探讨异步轧制条件下高纯铝箔微取向流变行为不仅具有理论意义, 而且具有广阔的应用前景。

## 1 实验

材料为西南铝厂生产的厚度为 7.5 mm 的 99.99% 高纯铝热轧板 (批号: 9576), 其成分为: Fe  $12 \times 10^{-4}\%$ , Si  $8 \times 10^{-4}\%$ , Cu  $33 \times 10^{-4}\%$ , 其余为铝。在速比  $i$  分别为 1.06, 1.17, 1.28 将其轧制成厚度  $d$  为 0.10 mm, 0.06 mm, 形变量  $\varepsilon$  分别为 98.7% 和 99.2% 两类样品。从与慢速辊接触的表面 (称  $d = 0$ ) 始, 沿慢速辊侧向快速辊侧以 0.02 mm 为单位依次磨去各层。例如  $d = 0.10$  mm 时, 得  $d = 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08$  和 0.10 mm 各面。

织构的测定是在 D/max - IIIA 型 X 射线衍射仪上完成, 按 Schulz 反射法进行, 管电压为 35 kV, 管电流为 20 mA, 采用 Co 靶的  $K_{\alpha}$  辐射, 测量 {111}, {200}, {220} 3 张不完整极图, 扫描按同心圆步进方式进行,  $\alpha$  为  $-70^{\circ}$ ,  $\beta$  由  $0 \sim 360^{\circ}$ ,  $\Delta\alpha = \Delta\beta = 5^{\circ}$ , 定量织构分析采用东北大学织构研究中心的定量分析软件, 按二步法<sup>[10]</sup>进行。

## 2 结果与讨论

图 1 所示是异步轧制速比  $i$  为 1.28, 形变量  $\varepsilon$  为 99.2% 时各层的恒  $\phi$ -ODF 截面图。从图 1 可知, 对于速比为 1.28, 形变量为 99.2% 的高纯铝箔, 在  $d = 0$  mm 面和  $d = 0.06$  mm 面, 即在快、慢速辊侧, 织构类型明显不同, 尤其在旋转立方织构的含量上差异很大。 $d = 0$  mm 面上强区均集中在  $\theta = 0^{\circ}$ , 并以  $(0^{\circ}, 0^{\circ}, 45^{\circ})$  的旋转立方织构 (001) [110] 为最强, 同时含有少量的 S 织构和 {102} [uvw] 织构, 铜织构含量甚微。从  $d = 0$  mm 面, 经  $d = 0.02$  mm 面、 $d = 0.04$  mm 面, 向  $d = 0.06$  mm 面过渡的过程中, 旋转立方织构 (001) [110] 含量逐渐减少, S 织构、铜织构和 {102} [uvw] 织构含量相对增多, 织构强度由较强到弱, 过渡到快辊侧 ( $d = 0.06$  mm) 时, 织构类型较漫散, 大都集中在  $(273)[7814]$ ,  $(001)[120]$  和  $(742)[4118]$  等。虽然也有旋转立方织构 {001} <110>, S 织构及 {102}

① 基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (G1999064908)

收稿日期: 2001-04-04; 修订日期: 2002-06-04

作者简介: 吕爱强 (1973-), 男, 博士研究生

通讯联系人: 王福, 教授, 东北大学 403# 信箱, 电话: 024-83670655.

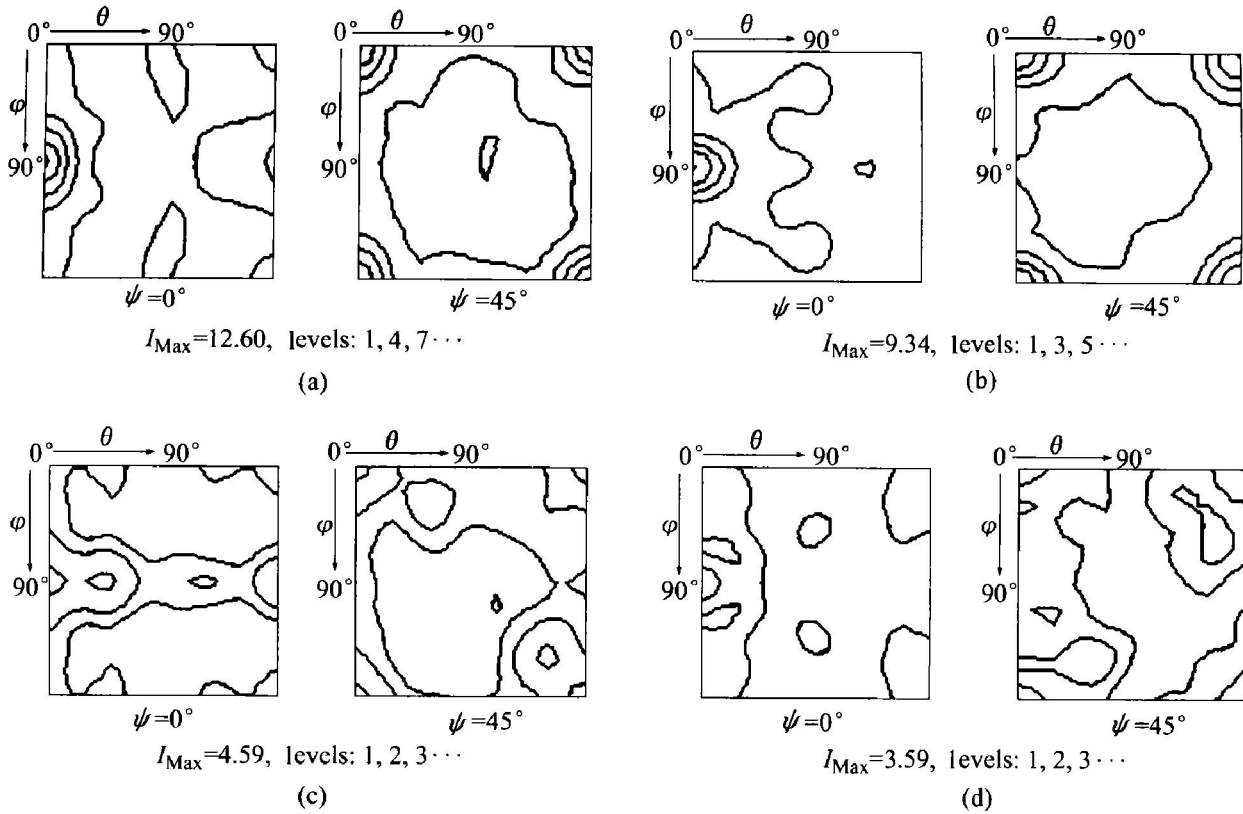


图 1 速比 1.28, 形变量 99.2% 下各中间层的恒  $\phi$ -ODF 截面图

Fig. 1 ODF's constant  $\phi$  sections of intermediate layer for speed ratio 1.28 and deformation 99.2%

(a)  $-d = 0$  mm; (b)  $-d = 0.02$  mm; (c)  $-d = 0.04$  mm; (d)  $-d = 0.06$  mm

[uvw] 织构和铜织构, 但很弱。

从轧面反极图定量<sup>[11]</sup>计算的{001}面丝织构体积分数  $\Delta V/V$  随厚度  $d$  的变化(形变量 99.2%) 如图 2 所示。从图 2 不难得出, 当速比从  $i = 1.06$  到  $i = 1.28$  逐渐增强时, {001} 丝织构含量沿厚度的变化几近线性递减, 尤其是速比  $i = 1.28$  最明显, 而速比  $i = 1.17$  和  $i = 1.06$  时, {001} 丝织构含量沿厚度总的变化趋势也是递减, 但在  $d = 0.04$  mm 面处

有最小值。

这些差异的产生与异步轧制时金属的微取向的流变行为有关。异步轧制时, 变形区的几何形状虽然不变, 但在变形区不同流速的金属断面上, 总有两个断面的流速分别与  $v_1 \cos \gamma_1$  和  $v_2 \cos \gamma_2$  相等 ( $v_1$  和  $v_2$  分别为轧辊的水平速度,  $\gamma_1$  和  $\gamma_2$  则分别为中立角)。由于  $v_1$  和  $v_2$  以及  $\gamma_1$  和  $\gamma_2$  彼此不等, 因此形成两中立面。在两中立面之间, 快速辊侧首先产生流动, 且存在着很大的剪切变形, 摩擦阻力指向出口; 而慢速辊侧则相反, 与慢速辊侧相接触的金属表面不产生剪切变形, 而摩擦阻力指向入口。这样, 变形区内就形成了在上下接触弧上的摩擦阻力方向完全相反的区域, 称为搓轧区。由于搓轧区的存在, 使变形区内部产生不对称形变。这种不对称的金属流变行为在织构的类型和强度上呈现出一种特殊的变化, 并且与速比和形变量的大小有关。不同的织构类型, 因取向差异而有所不同。

当速比  $i = 1.06$  和  $i = 1.17$  时, 搓轧区形成的剪切应力较速比  $i = 1.28$  时弱, 剪切应力对快、慢辊侧的金属流变作用较大, 而且相反, 在近中间位置处, 方向相反的剪切应力几近抵消, 故 {001} 丝织构含量在近中间位置 ( $d = 0.04$  mm 面) 形成最小值。而速比  $i = 1.28$  时搓轧区形成的剪切应力最

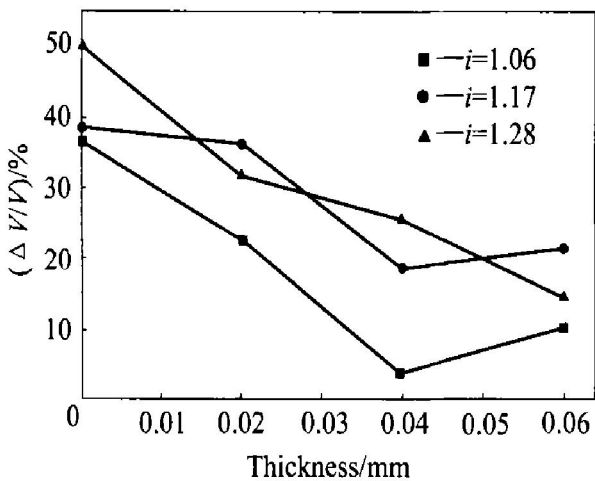


图 2 形变量 99.2% 时 {001} 丝织构体积分数随厚度的变化

Fig. 2 Volume fraction change of {001} fiber for deformation 99.2% with increase of thickness

强, 剪切应力几乎呈线性变化。剪切应力不仅能产生{001}丝织构, 过强的剪切应力还能破坏{001}丝织构, 所以快辊侧( $d = 0.06$  mm 面)的{001}丝织构受的破坏也最大, 故  $d = 0.06$  mm 面的{001}丝织构要小于  $d = 0$  mm 面的{001}丝织构。

图3所示是速比  $i = 1.28$  时, 形变量分别为 98.7% 和 99.2% 时, 主要丝织构体积分数  $\Delta V/V$

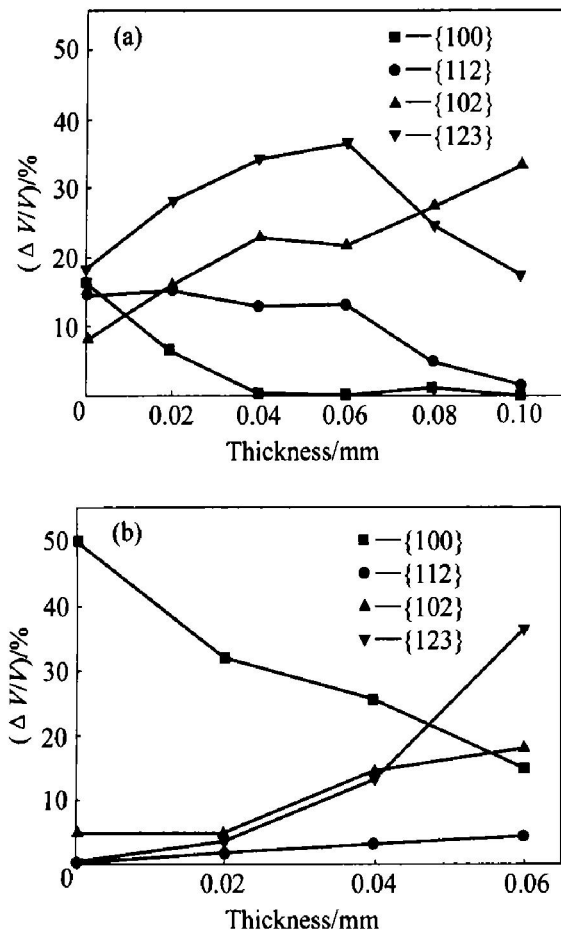


图3 速比 1.28 时{100}, {112}, {102}, {123} 丝织构体积分数  $\Delta V/V$  随厚度的变化

Fig. 3 Volume fraction change of {100}, {112}, {102}, {123} fiber for speed ratio 1.28 with thickness

(a) —Deformation 98.7%; (b) —Deformation 99.2%

随厚度  $d$  的变化。由图3可以看出  $\epsilon = 99.2\%$  时, 图中4种织构组分含量呈现出规律的变化。随着厚度的增加, {100}丝织构含量近线性减少, 而{112}, {102}, {123}丝织构含量近线性增加。而当形变量为 98.7% 时, 图中4种织构组分含量随着厚度的变化差异较大: {100}, {112}丝织构含量总的趋势是递减; 而{102}丝织构含量递增; 而{123}丝织构以  $d = 0.06$  mm 面为拐点, 先增后减。造成图3(a)和(b)的差异主要是形变量的不同, 即在一定速比下, 形变量越大, 在搓轧区形成的方向相反的摩擦力越大, 造成了搓轧区上、下表面金属流动速

度不同<sup>[12]</sup>, 因而在变形区内产生较大的剪切力, 引起较大的剪切变形。前面已叙述了剪切力对{100}丝织构的影响。同样, 在不同形变量下, 搓轧区剪切力的不同造成图3(a)和(b)的差异。

剪切力的不同激发不同的滑移系参与滑移和交滑移, 这就是引起异步轧制下高纯铝箔冷轧织构在各中间层类型各有不同的根本原因。

### 3 结论

1) 在异步轧制下, 高纯铝箔各中间层的织构类型各有不同, 因此使快、慢速辊侧的织构类型呈现出明显不同, 且不对称。

2) 当形变量为 99.2% 时, 在不同速比下{100}丝织构含量随厚度变化呈现出近线性递减趋势, 尤以速比  $i = 1.28$  最明显, 而速比为  $i = 1.17$  和  $i = 1.06$  时, 总的趋势也是递减, 但在  $d = 0.04$  mm 面处形成最小值。

3) 当速比为 1.28, 形变量为 99.2% 时, 各中间层织构类型虽然不同, 但随厚度的增加, 呈现出极有规律的变化: {100}丝织构含量近线性减少, 而{112}, {102}, {123}丝织构含量近线性增加。

4) 剪切应力不仅能产生{001}丝织构, 过大的剪切应力还能破坏{001}丝织构。

### REFERENCES

[1] Dillamore I L, Katou H. The mechanisms of recrystallization in cube metals with particular reference to their orientation dependence [J]. Metal Science, 1974, 8: 73 - 75.

[2] Montheillet F, Gilormini P, Jonas J J. Relation between axial stresses and texture development during torsion testing: a simplified theory [J]. Acta Metall, 1985, 33: 705 - 717.

[3] Montheillet F, Cohen M, Jonas J J. Axial stresses and texture development during the torsion testing of Al, Cu and  $\alpha$ -Fe [J]. Acta Metall, 1984, 32: 2077 - 2089.

[4] Hjelen J, Rsund R, Nes E. On the origin of recrystallization textures in aluminum [J]. Acta Metallurgica et Materialia, 1991, 39: 1377 - 1380.

[5] Lee D N. The evolution of recrystallization textures from deformation textures [J]. Scripta Metallurgica et Materialia, 1995, 32(10): 1689 - 1694.

[6] Nes E, Vante H E. The  $40^\circ \langle 111 \rangle$  orientation relationship in recrystallization [J]. Metallkde Z, 1996, 87(6):

- 448 - 450.
- [7] 曹富荣. 高纯铝箔比电容的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 1991.  
CAO F R. Research on the specific capacitance of high purity aluminum[D]. Shenyang: Northeastern University, 1991.
- [8] 吕爱强, 蒋奇武, 王 福, 等. 异步轧制对高纯铝箔冷轧织构的影响[J]. 金属学报, 2002, 38(9): 974 - 978.  
LU A Q, JIANG Q W, WANG F, et al. Effect of cross shear rolling on deformation textures of high purity aluminum foils[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2002, 38(9): 974 - 978.
- [9] 刘 刚, 王 福, 齐克敏, 等. 异步轧制取向硅钢中织构沿板厚的分布与发展 [J]. 金属学报, 1997, 33(4): 365 - 369.  
LIU G, WANG F, QI K M, et al. Texture distribution and development through the thickness after cross shear rolling of grain oriented silicon steel [J]. Acta Metallurgica Sinica, 1997, 33(4): 367 - 368.
- [10] 梁志德, 徐家祯, 王 福. 织构材料的三维取向分析术[M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1986. 108.  
LIANG Z D, XU J Z, WANG F. Three Dimensional Orientation Distribution Analysis of Textured Materials [M]. 1st edition, Shenyang: Northeastern University Press, 1986. 108.
- [11] 徐忠杰, 蒋奇武, 赵 骧, 等. 立方系材料反极图上纤维织构组分定量的数值积分法[J]. 物理测试, 2001, 114(6): 36 - 39.  
XU Z J, JIANG Q W, ZHAO X, et al. A numerical integration method for quantitative fiber texture analysis on the of cubic system materials[J]. Metal Physics Examination and Testing, 2001, 114(6): 36 - 39.
- [12] 朱 泉. 异步轧制实验研究[J]. 钢铁, 1980, 15(6): 1 - 5.  
ZHU Q. Experimental research on cross shear rolling [J]. Iron and Steel, 1980, 15: 1 - 5.

## Textures distribution along thickness after cross shear rolling of high purity aluminum foils

LU Aiqiang, HUANG Tao, WANG Fu, ZUO Liang

(School of Material and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110006, China)

**Abstract:** Textures distribution along the thickness after cross shear rolling of high purity aluminum foils was investigated. The results show that large difference of cold rolling textures exists in the intermediate layer between the slow roller side and the fast roller. For the speed ratio 1.28 and deformation 99.2%, with increase of thickness, the volume fraction of {100} fiber shows the near-linear decrease, however, the volume fraction of {112}, {102}, {123} fibers takes the near-linear increase. For the deformation 99.2%, there exist different tendency of change for the volume fraction of {001} fiber through the thickness at different speed ratios. For the speed ratio 1.28, the change of volume fraction of {001} fiber with the thickness presents near-linear decrease. For the speed ratio for 1.17, 1.06, the total tendency is also near-linear decrease. The relatively strong volume fraction of {001} fiber exists between the slow side surface and the fast side surface, and the minimum is formed at the thickness  $d = 0.04$  mm side.

**Key word:** cross shear rolling; high purity aluminum foils; texture; intermediate layer

(编辑 吴家泉)