

文章编号: 1000-6281(2011)04/05-0318-04

原位背散射电子衍射研究压缩变形过程中 AZ31 合金的微观组织演变

靳 丽

(上海交通大学轻合金精密成型国家工程研究中心, 金属基复合材料国家重点实验室, 上海 200030)

摘要: 本文采用原位背散射电子衍射(原位-EBSD)方法研究了 AZ31 合金在压缩应力下的微观组织演变。结果表明 $\{10\bar{1}2\}$ $[\bar{1}011]$ 孪生是主要的变形模式。该孪生模式导致了变形后晶体取向发生了明显的转变, 由原始取向为其 C 轴垂直于挤压方向 ED 的丝织构, 转变为其 C 轴平行于 ED 及压缩应力方向。同时位错滑移也提供了一定的变形量。AZ31 合金中 RD 和 TD 织构组分的梯度对于压缩变形条件下的孪生变形没有明显的影响。

关键词: 原位电子背散射衍射; 微观组织演变; AZ31 镁合金; 压缩变形

中图分类号: TG146.2⁺2; TG115.21⁺5.3; TG115.23 文献标识码: A

目前关于镁合金的变形机制已开展了许多研究,其目的是为提高镁合金的塑性成型能力。因为镁及镁合金的密排六方结构,其变形机制主要包括位错滑移、孪生及晶界滑动等。位错滑移系主要是 (0001) 基面滑移系、 $\{1\bar{1}00\}$ 棱柱面滑移和 $\{11\bar{2}2\}$ 锥面滑移系。在对室温变形后的纯镁观测中曾发现非常少的非基面滑移系^[1],而在对 AZ31 合金变形后的组织进行 TEM 观测时获得的数据也显示非基面滑移的开动^[2,3]。同时,镁合金中拉伸孪生 $\{10\bar{1}2\}$ $\langle 10\bar{1}1 \rangle$ 及约束孪生 $\{10\bar{1}1\}$ $\langle 10\bar{1}2 \rangle$ 变形为主要的两种孪生变形模式^[4,5]。据报道,不同加载方式下变形的镁合金,其变形机理对其微观组织演变及后续的力学行为有重要的影响^[5]。基于位错滑移和孪生,许多研究采用 VPSC 模型对镁合金塑性变形及其织构演变进行了模拟,其定量的结果与实验结果有一定的相似性^[6,7]。但针对位错滑移、孪生及变形模式与初始微观组织相关性以及应力加载方式的认知还非常薄弱。而采用模拟技术只能获取变形前和变形后的结果,无法了解变形过程中微观组织演变的具体过程。

本文研究的目的是采用原位-EBSD 研究 AZ31 合金在压缩变形条件下的微观组织演变过程。选取一定范围的晶粒,并进行变形过程中的原位跟踪,讨论了 AZ31 合金变形机理-加载方式-微观组织演变之间的相关性。

1 实验

本研究中采用热挤压后的商用牌号 AZ31 合金管材材料。应用原位 EBSD 观测压缩变形过程中的微观组织^[8]。原位 EBSD 系统包括: LEOTM 1450 型扫描电子显微镜、TSLTM EBSD 电子探头,并装配了由 Deben UK 有限公司提供的微应力加载装置。图 1 可见原位 EBSD 试验中压缩加载时用的试样夹具。

2 结果与讨论

图 2a 为 AZ31 合金初始组织的 IPF 图。由图可见,晶粒分布均匀,是明显的再结晶组织,晶界大都是大角度晶界。图 2b 为 AZ31 合金的极图,极图显示 AZ31 合金中存在着明显的织构,其 $[0001]$ 轴垂直于挤压方向(ED),同时,合金中存在着 RD(径向)及 TD(切线方向)组分的丝织构,试样中 RD 和 TD 组分相对平均。

图 3 给出压缩变形过程中 AZ31 合金的 IPF 图及孪晶分析图。与图 2a 比较,图 3a 可见压缩 3.3% 时,孪晶的形核并不明显。图 3b 表明几乎所有的晶粒内部都发生了孪生变形。根据图 3d 可见大多数孪晶是拉伸孪晶($\{10\bar{1}2\}$ $\langle 10\bar{1}1 \rangle$)。图 3c 可见压缩 20% 时,大部分孪晶都发生长大。图 4 可见合金在变形量分别为 3.3%、10% 及 20% 变形条件下的 (0001) 极图。图 4a 显示 3.3% 变形时主要还是 RD

收稿日期: 2011-04-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 50901044)。

作者简介: 靳丽(1977-),女(汉族),副教授。E-mail: jinli@sjtu.edu.cn

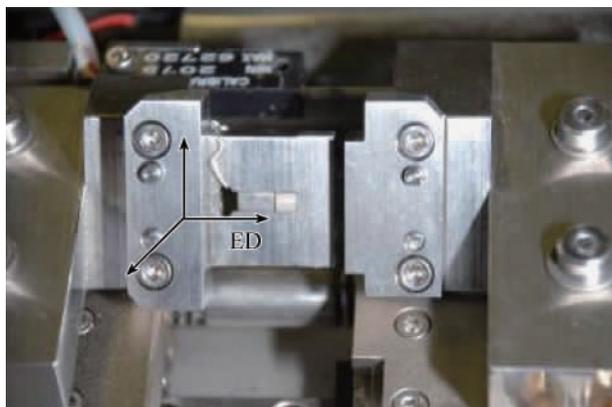
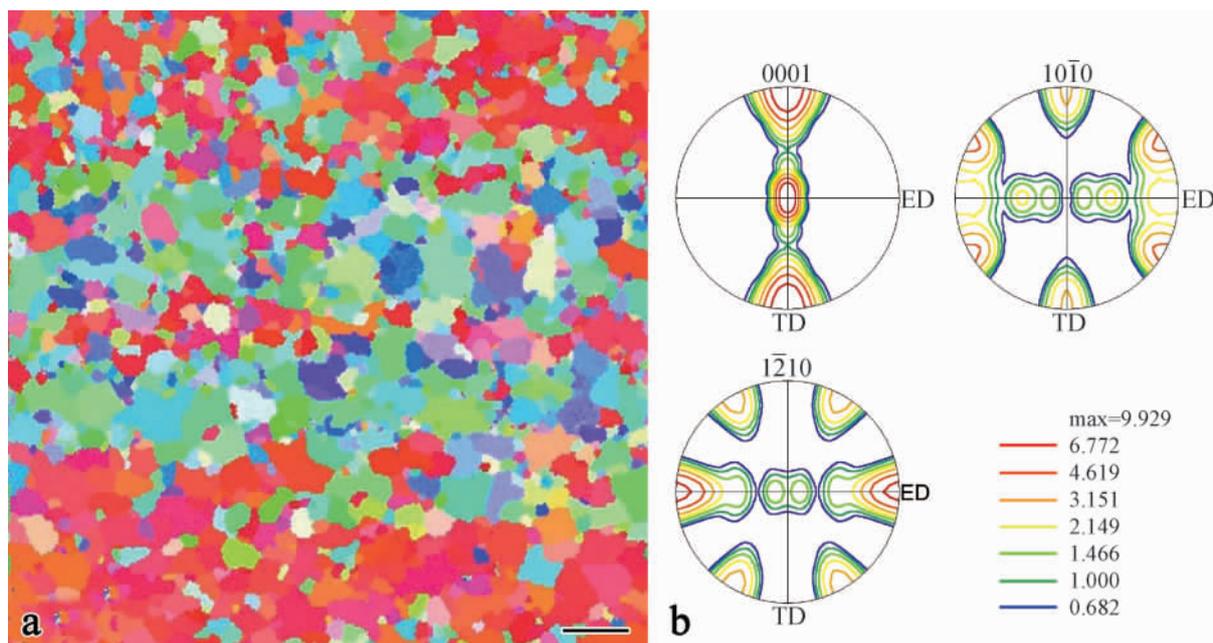


图 1 原位 EBSD 系统的压缩试样台。

Fig. 1 Schematic of compression in in-situ EBSD system.

图 2 挤压态 AZ31 合金的微观组织。a: IPF 图(Bar = 100 μm) ; b: 极图Fig. 2 Initial microstructure of AZ31 Mg alloy tube for in-situ compression. a: IPF map(Bar = 100 μm) ; b: Pole figure

以上结果表明,压缩变形过程中 $\{10\bar{1}2\}$ $\langle 10\bar{1}1\rangle$ 孪生变形是 AZ31 合金的主要变形模式。由于 $\{10\bar{1}2\}$ $\langle 10\bar{1}1\rangle$ 孪生变形使得变形前后合金的组织发生了明显转变, AZ31 合金压缩变形 20% 后组织由初始状态 C 轴垂直于 ED 而变为 C 轴平行于 ED 及平行于压缩应力方向。尽管初始材料中存在 RD 和 TD 组织组分,但两种组分的晶粒内部都发生了拉伸孪生变形。因为当 C 轴垂直于压缩轴时,拉伸孪生很容易发生^[5],所以 RD 到 TD 组分的组织梯度对孪生变形没有明显的影响。除了 $\{10\bar{1}2\}$ $\langle 10\bar{1}1\rangle$ 孪生以外,有些具有高剪切应力的晶粒内部也发生了明显的位错滑移变形。对于剪切应力因子不高的晶粒 $\{10\bar{1}2\}$ $\langle 10\bar{1}1\rangle$ 孪生是主要的变形模式。压缩孪生或二次孪生变形后,孪晶的晶粒取向

和 TD 组分的丝织构。10% 变形后,出现了一个新的组织组分,即 C 轴平行于 ED(图 4b)。而 20% 变形后,初始的丝织构几乎全部消失,取而代之则是 C 轴平行于 ED 也即是压缩方向(CD)的组织(图 4c)。结果表明拉伸孪生变形是 AZ31 合金在压缩应力下的主要变形模式,而孪生变形导致了合金的组织发生明显的改变,其结果就是变形后合金的 C 轴总是平行于压应力方向。图 4 还显示尽管 AZ31 合金中有 RD 和 TD 两个组分的丝织构,但这一组织梯度对合金的孪生变形和组织演变的影响没有区别,在两组晶粒中都发生了拉伸孪生。

由于发生了 56° 和 38° 取向差转变,从而有利于位错的滑移。但对于 $\{10\bar{1}2\}$ $\langle 10\bar{1}1\rangle$ 孪生变形,变形后取向差转变 86° ,如果变形前取向不利于位错滑移,变形后的取向也不利于位错滑移,所以当 $\{10\bar{1}2\}$ $\langle 10\bar{1}1\rangle$ 孪晶形核和长大完成后,合金的变形能力就会被耗尽。再进一步变形合金便会失效断裂。

3 结论

(1) AZ31 合金在压缩应力下, $\{10\bar{1}2\}$ $\langle 10\bar{1}1\rangle$ 孪生是主要的变形模式,该孪生模式导致了变形后晶体取向发生了明显的转变,由原始取向为其 C 轴垂直于挤压方向 ED 的丝织构转变为变形后其 C 轴平行于 ED 及压缩应力方向。同时位错滑移也提供了一定的变形量。

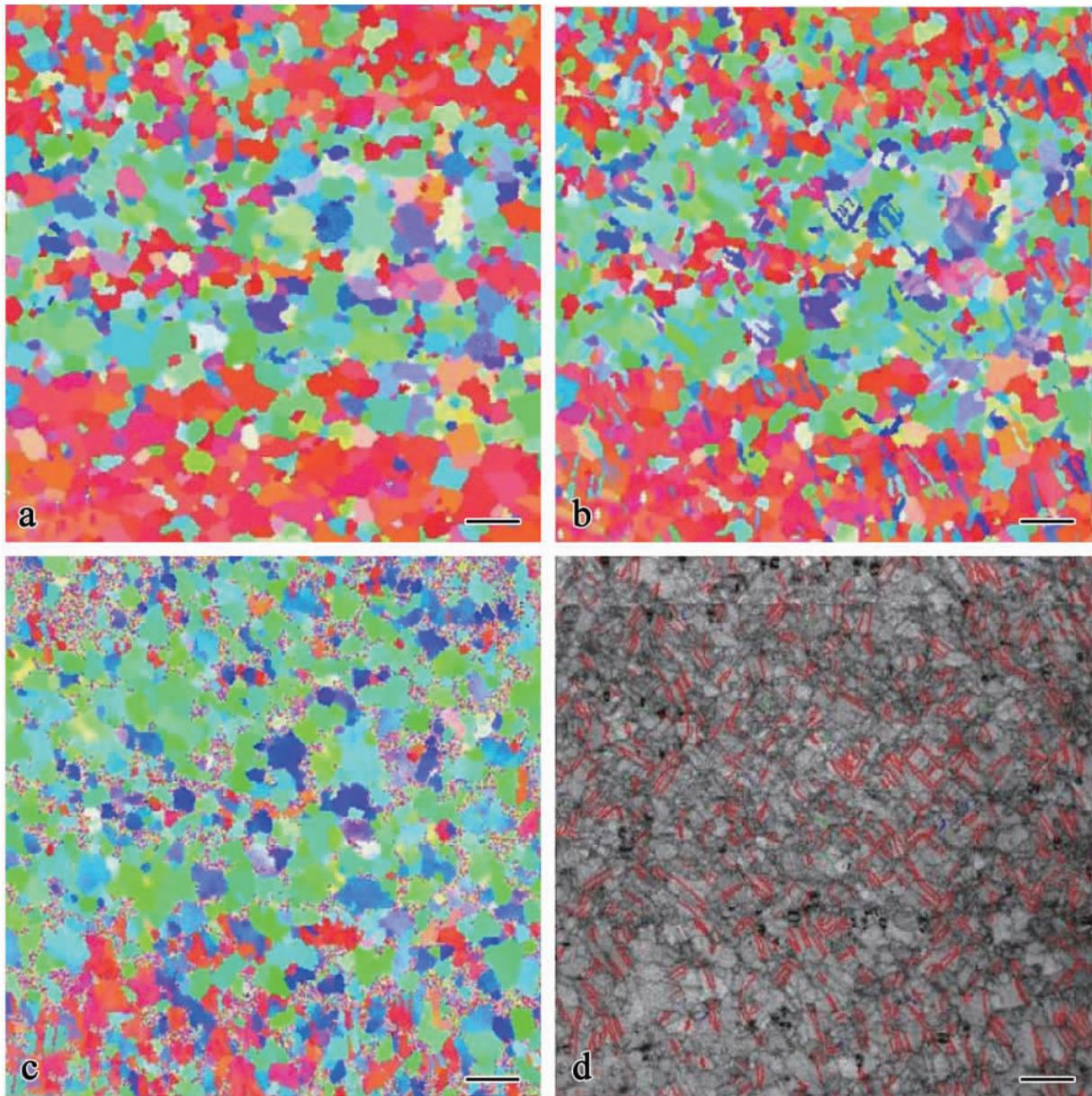


图 3 AZ31 合金压缩变形 (a) 3.3% (b) 10% (c) 20% 的 IPF 图; d: 10% 变形时的孪晶分析图 (图中 $\{10\bar{1}2\}$ 拉伸孪晶 ($86^\circ \langle 1\bar{2}10 \rangle \pm 5^\circ$) 的孪晶界用红色线表示, 压缩孪晶 ($56^\circ \langle 1\bar{2}10 \rangle \pm 5^\circ$) 孪晶界用绿色线表示, 二次孪晶 ($38^\circ \langle 1\bar{2}10 \rangle \pm 5^\circ$) 的孪晶界用蓝色线表示。) Bar = 100 μm

Fig. 3 IPF map of AZ31 Mg alloy tube at compression strain of (a) 3.3% , (b) 10% and (c) 20% with the compression direction parallel to ED. And the IQ map with twin boundaries at strain of 10% (d) was provided. The $\{10\bar{1}2\}$ extension twin boundaries ($86^\circ \langle 1\bar{2}10 \rangle \pm 5^\circ$) are outlined in red , the contraction twin boundaries ($56^\circ \langle 1\bar{2}10 \rangle \pm 5^\circ$) outlined as green and the double twins boundaries ($38^\circ \langle 1\bar{2}10 \rangle \pm 5^\circ$) outlined as blue. Bar = 100 μm

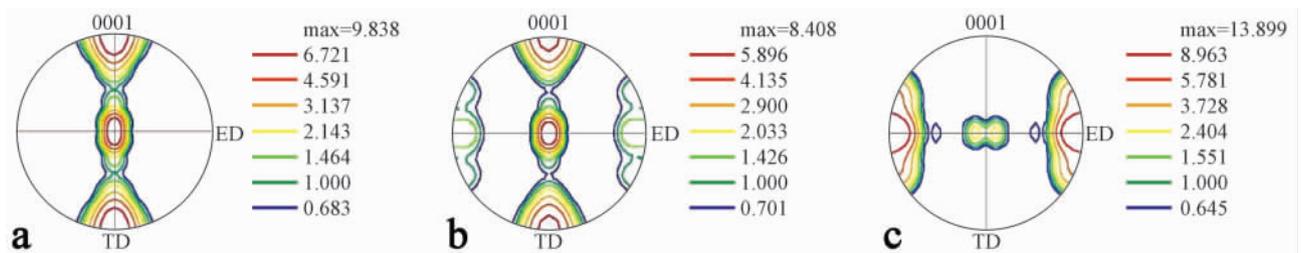


图 4 AZ31 合金压缩变形 (a) 3.3% , (b) 10% 及 (c) 20% 时的 (0001) 极图, 其中压应力平行于 ED。

Fig. 4 (0001) pole figure of AZ31 Mg alloy tube at strain 3.3% , 10% and 20% under tensile stress with the tensile direction parallel to ED in this test.

(2) AZ31 合金中 RD 和 TD 织构组分的梯度对于压缩变形条件下孪生变形无明显的影响。

参考文献:

- [1] Hauser F E ,Landon P R ,Dorn J E. Trans AM Soc Met , 1958 ,50: 856.
- [2] Koike J , Kobayashi T , Mukai T , et al. Acta Materialia 2003 ,51: 2055 - 2065.
- [3] Keshavarz Z , Barnett M R. Scripta Materialia ,2006 , 55: 915 - 918.
- [4] Nave M D , Barnett M R. Scripta Materialia ,2004 ,51: 881 - 885.
- [5] Jiang L , Jonas J J , Mishra R K , et al. Acta Materialia , 2007 ,55: 3899 - 3910.
- [6] Agnew S R , Yoo M H , Tome C N. Acta Materialia , 2001 ,49: 4277 - 4289.
- [7] Staroselsky A , Anand L. International Journal of Plasticity ,2003 ,19: 1843 - 1864.
- [8] 靳丽 ,Mishra R K , Sachdev A K. 电子显微学报 , 2008 ,27: 439 - 442.

Microstructure evolution of AZ31 alloy under compression by in-situ EBSD

JIN Li

(National Engineering Research Center of Light Alloy Net Forming , Key State Laboratory of Metal Matrix Composite , Shanghai Jiao Tong University , Shanghai 200030 , China)

Abstract: The microstructure evolution of extruded AZ31 alloy tube under compression was studied by in-situ electron backscatter diffraction (in-situ EBSD) . Extension twining , $\{10\bar{1}2\} [\bar{1}011]$ was the main deformation mode in the tube under compression , which led to the texture changing from initial basal ring fiber , $[0001]$ perpendicular to compression direction (CD) , to $[0001]//CD$. The texture gradient on radial direction (RD) and tangential direction (TD) had weak effect on the twining mode.

Keywords: in-situ EBSD; microstructure evolution; AZ31 Mg alloy; compression