

文章编号: 1000-6281(2011)04/05-0309-04

EBSD技术在研究AZ31镁合金挤压织构中的应用

李娜丽, 黄光杰*, 刘庆

(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400044)

摘要: AZ31 镁合金挤压棒材在传统正挤压变形过程中易于形成很强的挤压纤维织构。本文利用 EBSD 技术对 AZ31 镁合金挤压棒材的挤压组织进行了表征, 发现 AZ31 镁合金挤压棒材在挤压时形成的织构不是均匀的 (0002) 基面平行于挤压方向的环状纤维织构, 而是由 (10 $\bar{1}0$) 棱柱面垂直于挤压方向和 (11 $\bar{2}0$) 棱柱面垂直于挤压方向的两个不同的纤维织构组合而成的。因此 (0002) 极图不足以表达该织构的足够信息, 必须用沿挤压方向的反极图表示。纤维织构的存在使得挤压样品具有明显的拉伸各向异性。

关键词: AZ31 镁合金; EBSD; 织构; 拉伸性能

中图分类号: TG146.2; TG115.21*3; TG115.23; TG115.21*5.3 **文献标识码:** A

镁及其合金是实际工程应用中最轻的金属结构材料, 具有密度低、比强度和比刚度高、阻尼减震性好、导热性好、电磁屏蔽效果佳、机加工性能优良、零件尺寸稳定、易回收等优点, 成为航空、航天、汽车、计算机、电子、通讯和家电等行业的重要新型材料^[1-5]。由于铸造镁合金的力学性能不够理想, 产品形状尺寸存在一定的局限性且容易产生组织缺陷, 导致镁合金的使用性能和应用范围受到很大限制。因此, 变形镁合金的研究已成为世界镁工业发展中的重要方向。挤压工艺具有的独特优势使之成为变形镁合金的一种重要的塑性加工技术。但是挤压制品具有很强的纤维织构, 使得其具有明显的拉压不对称性, 限制了挤压制品的应用。因此, 研究镁合金的挤压织构及其对性能的影响显得非常重要。

传统的材料微区研究主要采用的是透射电子显微技术 (TEM), 但该技术制样较难, 分析的微区较小, 获得的信息较少。近年来新发展的 EBSD 自动分析技术在晶体微区取向和晶体结构分析方面的应用越来越多。该技术可全自动采集微区取向信息, 样品制备简单, 分析的微区区域较大, 数据采集速度快, 可获得样品中不同晶粒之间的取向差。通过取向成像技术, 利用取向信息重构出与取向有关的微观组织结构。并可统计出亚晶结构、晶粒尺寸、织构的成分与分布等^[6-11]。本文介绍 EBSD 技术在 AZ31 镁合金挤压织构研究中的应用, 并分别平行和垂直于挤压方向在样品中心取样, 分析挤压织构对

样品拉伸各向异性的影响。

1 实验

本文采用典型的商用 AZ31 变形镁合金挤压棒为研究对象。在挤压温度为 400 °C, 挤压速度为 0.6 mm/s, 挤压比为 6 的条件下在 2 500 t 大型卧式挤压机上将 $\Phi 252$ mm 的半连续铸棒在 410 °C、12 h 的均匀化处理后挤成 $\Phi 100$ mm 的棒材。然后在棒材正中心取样, 对纵截面 (平行于挤压方向) 进行观察。先用金相观察挤压组织, 再用 Image-Pro Plus 6.0 对金相照片进行统计, 确定样品的平均晶粒尺寸, 从而决定 EBSD 扫描时的步长。先把金相试样在 SiC 砂纸上打磨到 1000 号, 然后用由 0.82 g 苦味酸、2 mL 冰醋酸、2 mL 蒸馏水和 14 mL 酒精组成的腐蚀剂对样品进行腐蚀, 再在光学显微镜下进行观察。对于 EBSD 试样, 除了进行机械抛光外, 还要进行电解抛光。样品在 SiC 砂纸上打磨到 1000 号后, 用司特尔公司生产的商用抛光液 (AC2) 进行电解抛光, 抛光温度为室温, 电压 20 V, 电流 0.3 A, 时间约为 70 s, 并用冷风将抛好的样品吹干。使用配备了 HKL Channel5 EBSD 系统的 FEI Nova 400 型热场发射扫描电子显微镜对样品纵截面进行表征分析。工作电压 20 kV, 工作距离 15 mm 左右, 并通过 HKL Channel 5 软件包对实验数据进行分析。用线切割在平行和垂直于挤压方向的两个方向上取平行长度为 6 mm、厚度为 1 mm 的拉伸样品, 以 10^{-3}S^{-1}

收稿日期: 2011-04-26

作者简介: 李娜丽 (1985-) 女 (汉族), 博士研究生. E-mail: nalili@cqu.edu.cn.

* 通讯作者: 黄光杰, 男 (汉族), 教授. E-mail: ghuang@cqu.edu.cn

的拉伸速度在带有 4 mm 的引伸计的岛津 AG-X 10 kN 的万能拉伸试验机上沿挤压方向和垂直于挤压方向进行拉伸试验。

2 结果与讨论

图 1 为挤压样品的纵截面的光学显微组织。由图可见样品的组织很不均匀,晶粒有大有小。通过 Image-Pro Plus6.0 统计的平均晶粒尺寸约为 14 μm 。用 2 μm 的步长对样品进行扫描。图 2 为扫描所得的挤压样品的 EBSD 图。EBSD 组织与金相组织对应,挤压组织很不均匀,有细小等轴的晶粒和较大的等轴晶粒以及沿挤压方向拉长的晶粒组成。

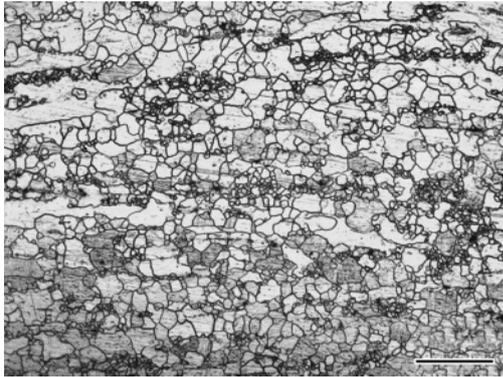


图 1 挤压样品纵截面的光学显微组织。Bar = 200 μm

Fig. 1 Optical micrograph of the longitudinal section of the extruded sample. Bar = 200 μm

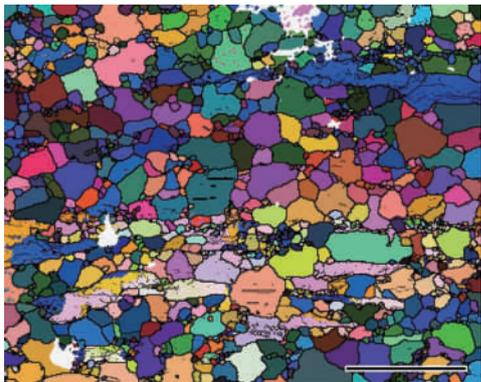


图 2 挤压样品纵截面的 EBSD 图。Bar = 200 μm

Fig. 2 EBSD map of the longitudinal section of the extruded sample. Bar = 200 μm

图 3 为由图 2 所示的 EBSD 数据计算得出的 (0002) 极图。从中可以看出挤压样品具有很强的织构。EBSD 测得的晶粒的 (0002) 基面均平行于挤压方向。但是织构强度并不是沿着圆周分布,而是有所集中。图 4 为由图 2 所示的 EBSD 数据计算得出的沿挤压方向的反极图。由于 AZ31 镁合金挤压

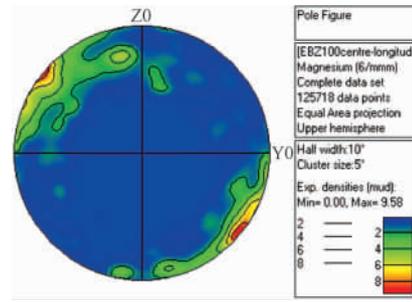


图 3 图 2 的 EBSD 数据计算所得的 (0002) 极图, 挤压方向对应于 X0。

Fig. 3 The (0002) pole figure calculated from the EBSD data shown in Fig. 2, extrusion direction refer to X0.

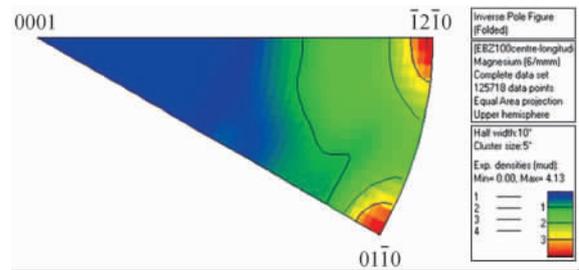


图 4 图 2 的 EBSD 数据计算所得的沿挤压方向的反极图。

Fig. 4 Inverse pole figure in extrusion direction calculated from the EBSD data shown in Fig. 2.

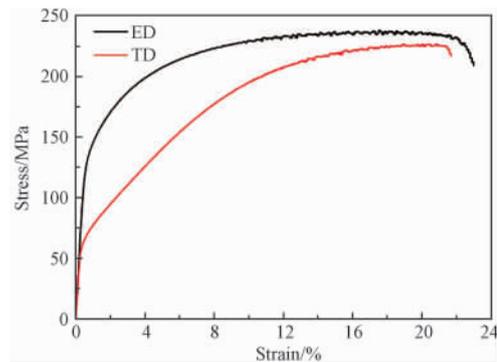


图 5 样品沿 ED 和 TD 方向的拉伸应力 - 应变曲线。

Fig. 5 Tensile stress-strain curves along ED and TD of the extruded samples.

棒的对称性,沿挤压方向的反极图包含了所有的取向信息,这里只选择该方向对应的反极图。反极图也显示出所有晶粒的 (0002) 基面平行于挤压方向,但是其强度没有沿着 $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ 和 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 之间的弧线上均匀分布,而是在 $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ 和 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 处集中。这说明了该样品的挤压织构不是均匀的基面平行于挤压方向的环状纤维织构,而是具有不同的织构组分。有部分晶粒不仅 (0002) 基面平行于挤压方向, $(10\bar{1}0)$ 棱柱面也垂直于挤压方向;另有一部分晶粒

除了(0002)基面平行于挤压方向外,(11 $\bar{2}$ 0)棱柱面也垂直于挤压方向。不同的织构组分的存在造成了(0002)极图中的织构强度在极图的圆周上的集中分布,不能完整地表达出该挤压织构的所有信息。

图 5 为样品平行于挤压方向和垂直于挤压方向的拉伸工程应力-应变曲线。图中用 ED 和 TD 分别代表平行于挤压方向和垂直于挤压方向。图 6 为 3 次拉伸试验的 0.2% 屈服强度 (YS)、抗拉强度 (UTS) 和断裂延伸率 (Ef) 的统计性结果。由图可见 ED 方向的拉伸性能 (YS = 139MPa, UTS = 237MPa, Ef = 23%) 明显高于 TD 方向 (YS = 62MPa, UTS = 223MPa, Ef = 20%)。镁合金在室温下的变形机制为基面滑移和孪生。如前所述,该挤压样品具有很强的纤维织构,即(0002)基面平行于挤压方向。因此沿 ED 方向进行拉伸时,晶粒处于硬取向,Schmid 因子均接近于零,基面滑移和孪生都难以启动。但沿 TD 方向拉伸时,部分晶粒可发生基面滑移,部分晶粒可发生(10 $\bar{1}$ 2)拉伸孪生,因而屈服强度降低。该挤压棒的各向异性是由其织构和基面滑移及孪生共同作用的结果。

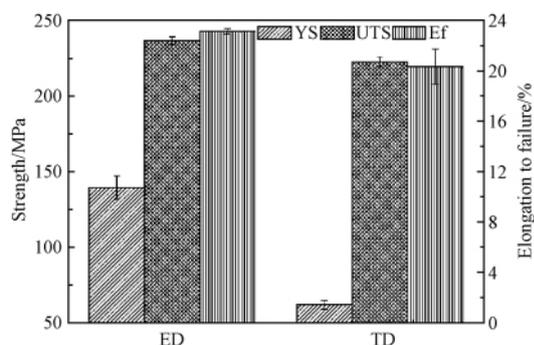


图 6 挤压样品沿 ED 和 TD 方向的拉伸性能。

Fig. 6 Tensile properties along ED and TD of the extruded samples.

3 结论

本实验对在 400 °C, 挤压速度为 0.6 mm/s, 挤压比为 6 的条件下传统正挤压所得的 AZ31 镁合金的高温挤压组织进行 EBSD 表征。发现该挤压组织具有很强的挤压织构。该织构不是均匀的(0002)基面平行于挤压方向的环状纤维织构,而是由

(10 $\bar{1}$ 0)棱柱面垂直于挤压方向和(11 $\bar{2}$ 0)棱柱面垂直于挤压方向这两个不同的纤维织构组分组成的。因此(0002)极图不能完整的表达该挤压组织的织构,而应该用沿挤压方向的反极图来表示。纤维织构的存在使得挤压样品具有明显的拉伸各向异性。

参考文献:

- [1] Clow B B. Magnesium industry overview [J]. *Advanced Materials and Processes*, 1996, 10: 33 - 36.
- [2] Froes F H, Eliezer D, Aghion E. The science, technology and applications of magnesium [J]. *JOM*, 1998, 9: 30 - 34.
- [3] Kojima Y. Platform science and technology for advanced magnesium alloys [J]. *Materials Science Forum*, 2000, 350 - 351: 3 - 18.
- [4] Jiang J, Godfrey A, Liu W, Liu Q. Identification and analysis of twinning variants during compression of a Mg-Al-Zn alloy [J]. *Scripta Materialia*, 2008, 58: 122 - 125.
- [5] Jiang J, Godfrey A, Liu W, Liu Q. Microtexture evolution via deformation twinning and slip during compression of AZ31 [J]. *Materials Science and Engineering: A*, 2008, 483 - 484: 576 - 579.
- [6] Huang X, Hansen N. Grain orientation effect on microstructure in tensile strained copper [J]. *Scripta Materialia*, 1998, 38: 1697 - 1703.
- [7] Yang P, Yu Y, Chen L, Mao W. Experimental determination and theoretical prediction of twin orientations in magnesium alloy AZ31 [J]. *Scripta Materialia*, 2004, 50: 1163 - 1168.
- [8] 杨平. 电子背散射衍射技术及其应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
- [9] 蒋佳, 刘伟, Godfrey A, 刘庆. AZ31 镁合金孪生行为的 EBSD 研究 [J]. *中国体视学与图像分析*, 2005, 10: 237 - 240.
- [10] 杨平, 孙祖庆, 毛为民. 取向成像: 一种有效研究晶体材料结构、组织及取向的技术 [J]. *中国体视学与图像分析*, 2001, 6: 50 - 54.
- [11] 曾柯, 辛仁龙, 李波, 等. EBSD 技术在稀土变形镁合金微观表征中的应用 [J]. *电子显微学报*, 2010, 29 (1): 720 - 723.

Application of EBSD technique on the study of the texture of extruded AZ31 magnesium alloy

LI Na-li , HUANG Guang-jie^{*} , LIU Qing

(College of Material Science and Engineering Chongqing University , Chongqing 400030 , China)

Abstract: AZ31 magnesium alloy was easy to form strong fiber texture during conventional forward extrusion. In this study , a typical extrusion microstructure was characterized by EBSD technique. The result showed the texture of the extruded sample was not a uniform ring fiber texture with all the (0002) basal plane parallel to extrusion direction , but a fiber texture consists of two different texture component with (10 $\bar{1}0$) prismatic plan perpendicular to extrusion direction and (11 $\bar{2}0$) prismatic plane perpendicular to extrusion direction. Hence ,(0002) pole figure could not show all the information of the texture , while inverse pole figure in extrusion direction was a more appropriate method. Anisotropy of tensile properties was caused by the fiber texture.

Keywords: AZ31 magnesium alloy; EBSD; texture; tensile properties

* Corresponding author