

镁合金 AZ31 动态再结晶行为的取向成像分析

孟利¹⁾ 杨平¹⁾ 崔凤娥¹⁾ 赵祖德²⁾

1)北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083 2)中国兵器工业第59研究所,重庆 400083

摘要 利用背散射电子衍射(EBSD)取向成像技术分析具有不同初始组织的镁合金 AZ31 动态再结晶晶粒的取向特征以及与相邻的形变晶粒的取向关系.结果表明:不同初始组织以及不同应变变量下动态再结晶晶粒与形变晶粒的取向都相近,说明动态再结晶以连续方式进行,即亚晶转动方式.随应变变量的增加,不同初始组织试样的晶粒都转向基面取向,但菊池带衬度图像显示大的形变晶粒内部很少有亚晶界存在并且菊池带质量高,说明塑性滑移机制仍在起很大作用但在靠近晶界处发生,形变晶粒是通过平行于压缩面方向剪切晶界而逐渐消失的.动态再结晶晶粒与相邻形变晶粒的取向差表明不同初始组织造成不同的取向差,但总的趋势是相同的.

关键词 镁合金;动态再结晶;取向成像;取向差

分类号 TG111.7;TG146.2

镁合金在 200℃ 以上的塑性改善是通过动态再结晶实现的^[1-6].许多研究^[1-4]表明,镁合金的动态再结晶主要是从晶界开始的,以弓弯机制进行;但文献[1,3,5,6]报导,镁合金动态再结晶以连续方式进行.在组织方面,多晶镁合金在热轧时不论动态再结晶与否都形成基面平行于轧面的组织^[7],而热挤压后有强烈的 $\langle 10\bar{1}0 \rangle$, $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ ||挤压轴的线组织^[8,9].但是,研究发现,不同的初始组织对动态再结晶组织有不同表现^[10],那么继续形变的新晶粒必定因为初始组织不同有不同的取向择优过程. Ion 等^[2]指出,晶界处动态再结晶是通过点阵转动形成的,新晶粒与基体的取向差 $\sim 10^\circ$,而切变区内形成的动态再结晶晶粒与周围基体的取向差可达 $\sim 45^\circ$.由于宏观组织测定法难以区分动态再结晶过程中形变和再结晶两类晶粒的取向差异和微观取向关系,因此本文使用基于背散射电子衍射(EBSD)的取向成像技术获取微观晶粒之间的取向信息.

本文通过对具有不同初始组织的镁合金进行平面应变热压缩进行研究,利用 EBSD 的取向

成像,剔选出再结晶晶粒与形变晶粒两类区域,对两类区域的取向进行对比分析,统计两类晶粒之间的取向差,判断动态再结晶进行方式和晶粒取向演变规律,以深入地揭示镁合金高温形变机制.

1 实验过程

实验材料是经热挤压并退火的镁合金 AZ31.热挤压、退火处理及试样截取参见文献[11].原始组织不均匀,平均晶粒尺寸 34 μm ,个别晶粒达 500 μm .图 1 为从热挤压棒上截取的三种试样中的初始组织.可见,XZ 样中大多数晶粒的基面 $\{0001\}$ 垂直于 TD,ZY 样中大多数晶粒的基面平行于 ND,XY 样中大多数晶粒的基面绕 TD(横向)以不同角度向 ND 倾斜.

热变形实验在 Zwick-1860 型实验机上完成,使用 Channel die 模具以获得理想平面应变压缩状态($\epsilon_{22} \cong 0$),形变温度为 340℃,应变速率为 0.01/s,形变后 10 s 内将试样与模具一同淬入水中以尽量抑制可能发生的静态再结晶.使用 AC-2 电解液进行电解抛光,使用 LEO-1450 扫描电镜配备的丹麦 HKL 公司的 Channel 4(EBSD)系统进行取向成像,经处理软件选出取向成像图中特征

收稿日期:2004-04-29 修回日期:2004-07-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.50171009)和国家“863”计划资助项目(No.2002AA305501)

作者简介:孟利(1978—),男,博士研究生

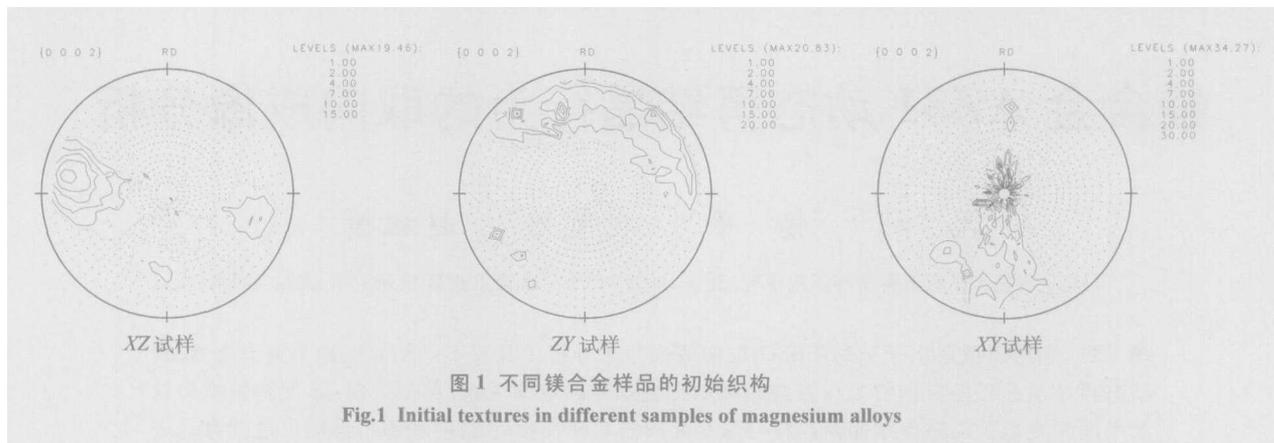


图1 不同镁合金样品的初始织构
Fig.1 Initial textures in different samples of magnesium alloys

区域与剩余区域进行对比分析,在此基础上得出两类不同区域的极图和ODF、取向差分布以及对对应转轴分布,更可标定两个晶粒之间的取向差以及对应的转轴。

2 实验结果及分析

2.1 取向成像分析

图2和图3给出XZ试样340℃下应变0.25, 0.60, 0.80, 1.00后微区取向成像分析剔选出形变基体晶粒(取向成像图中浅颜色区域)与再结晶晶粒(取向成像图中深颜色区域)。可见两类晶粒的取向相近(极图中深色点为新晶粒取向和浅色点为形变晶粒取向),表现了连续式动态再结晶特征,即新晶粒通过亚晶逐渐转动形成。随应变量的增加,基面取向增强,应变量为0.80时,表现明显(图3(c2)),而到应变量为1.0时(图3(c3))全部是基面取向,说明大应变导致晶粒内滑移开动使晶粒取向逐渐向基面取向过渡。但是在应变

量1.0后显然局部区域还同时存在柱面和基面两种晶粒(图3(c4)),这可能是因为初始试样组织不均匀存在的大晶粒,动态再结晶新晶粒在其周围不断形成以及新晶粒之间的晶界滑移和协调转动^[6]能保证试样形变要求,大晶粒内未出现明显的多系滑移而保持初始柱面取向,而新晶粒转动到基面取向,这与文献[12]X射线织构测定结果是相同的。

图4给出ZY试样340℃下0.25, 0.60, 0.80应变后的微区取向成像分析。虽然初始织构不同但是两类晶粒的取向仍然相近,说明再结晶仍以连续的亚晶转动方式进行。文献[10,11]观察到,260℃以下具有ZY初始取向(基面平行于ND)时形变导致大量孪晶,但是340℃下孪晶不易发生而且动态再结晶提前进行,新晶粒取向是原始取向而不是孪晶后的取向,随应变增大,那么基面取向应是通过滑移形成的。

图5是XY试样340℃, 0.25, 0.60, 0.80应变后的微区取向成像结果。虽然初始取向不同,两类

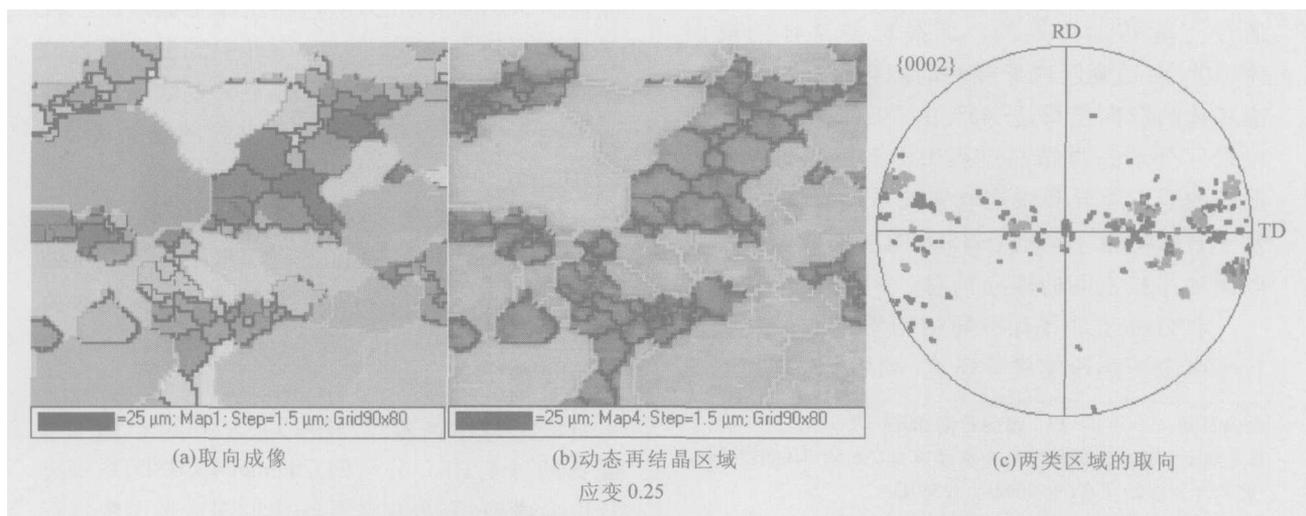


图2 应变对XZ试样两类晶粒取向变化的影响. 340℃,应变0.25

Fig.2 Influence of strain on the orientation evolution of two sorts of grains in sample XZ. 340℃, strain 0.25

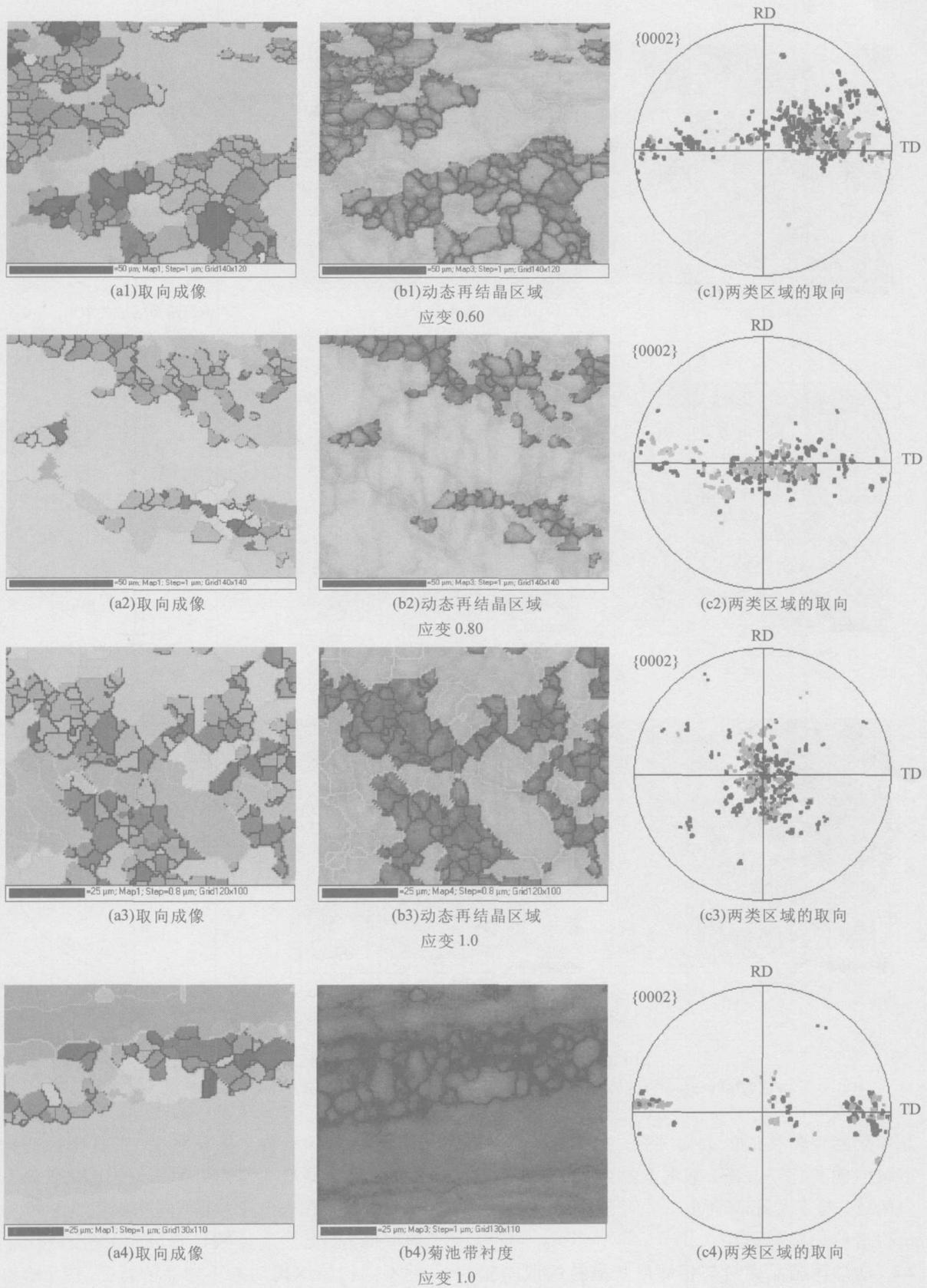


图3 应变变量对XZ试样两类晶粒取向变化的影响. 340 °C; 应变量为 0.6, 0.8 和 1.0

Fig.3 Influence of strain on the orientation evolvement of two sorts of grains in sample XZ. 340 °C; with strains 0.6, 0.8 and 1.0

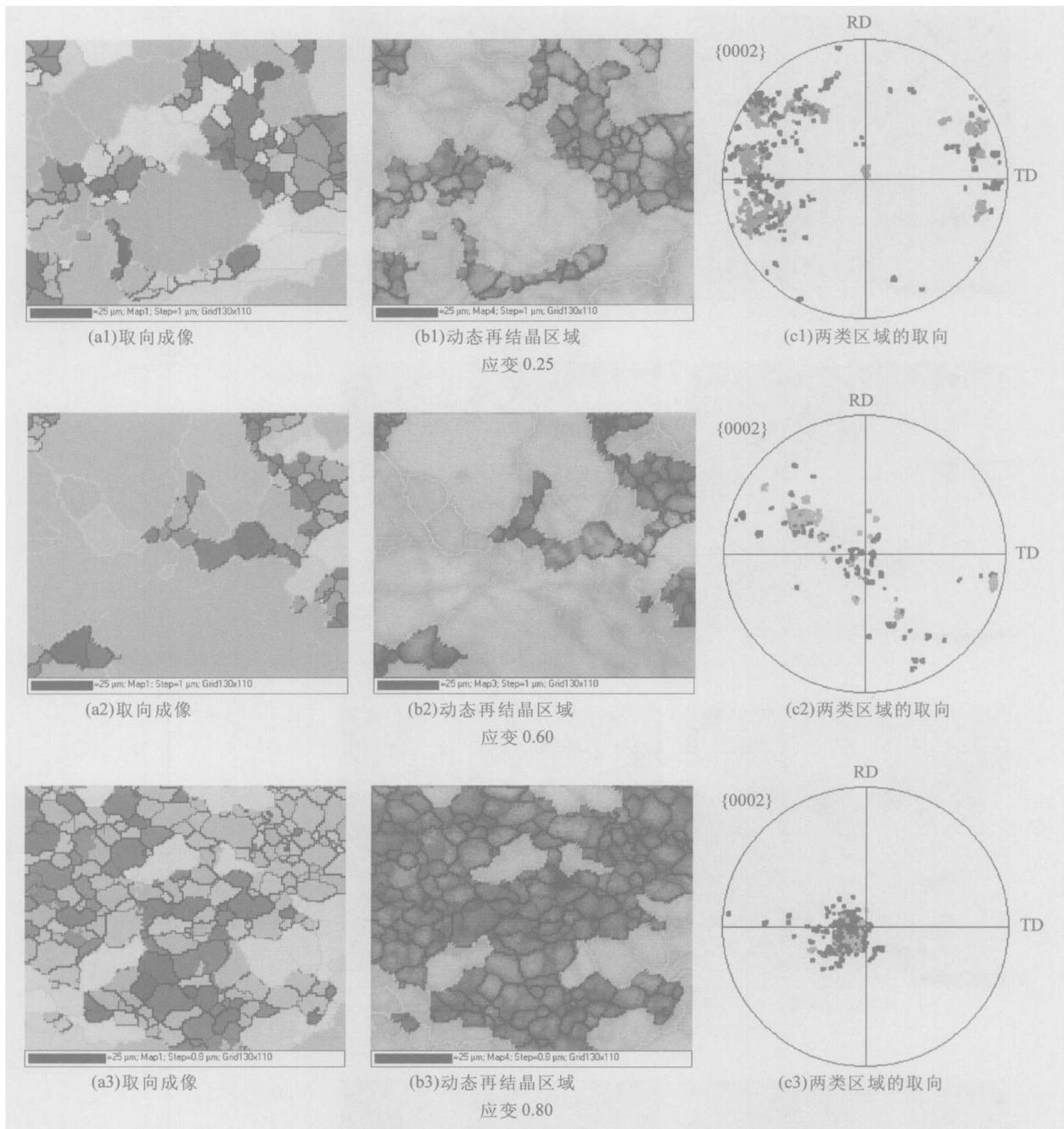


图4 应变对ZY试样两类晶粒取向变化的影响, 340 °C
 Fig.4 Influence of strain on the orientation evolution of two sorts of grains in sample ZY, 340 °C

晶粒仍然保持接近的取向关系. 但是, 三个应变下取向的变化不显著, 基本上沿 TD 转到基面取向附近. 极图显示基面取向在随应变有偏移, 说明滑移仍在起作用.

2.2 动态再结晶晶粒与相邻形变晶粒的取向差

图6给出了利用EBSD技术确定的动态再结晶晶粒与相邻形变晶粒的取向差分布. 结果表

明, ZY试样的取向差变化较大, XZ试样的变化次之, 随形变量增大都向~30°靠近, 而XY变化不显著, 基本上在~30°, 说明不同初始织造成不同的取向差. 虽然统计数目有限, 但是反映出了三种不同初始结构动态再结晶的特征. 图7给出了获取的数据分布, 所测数据在平均值 36.6°上下分布.

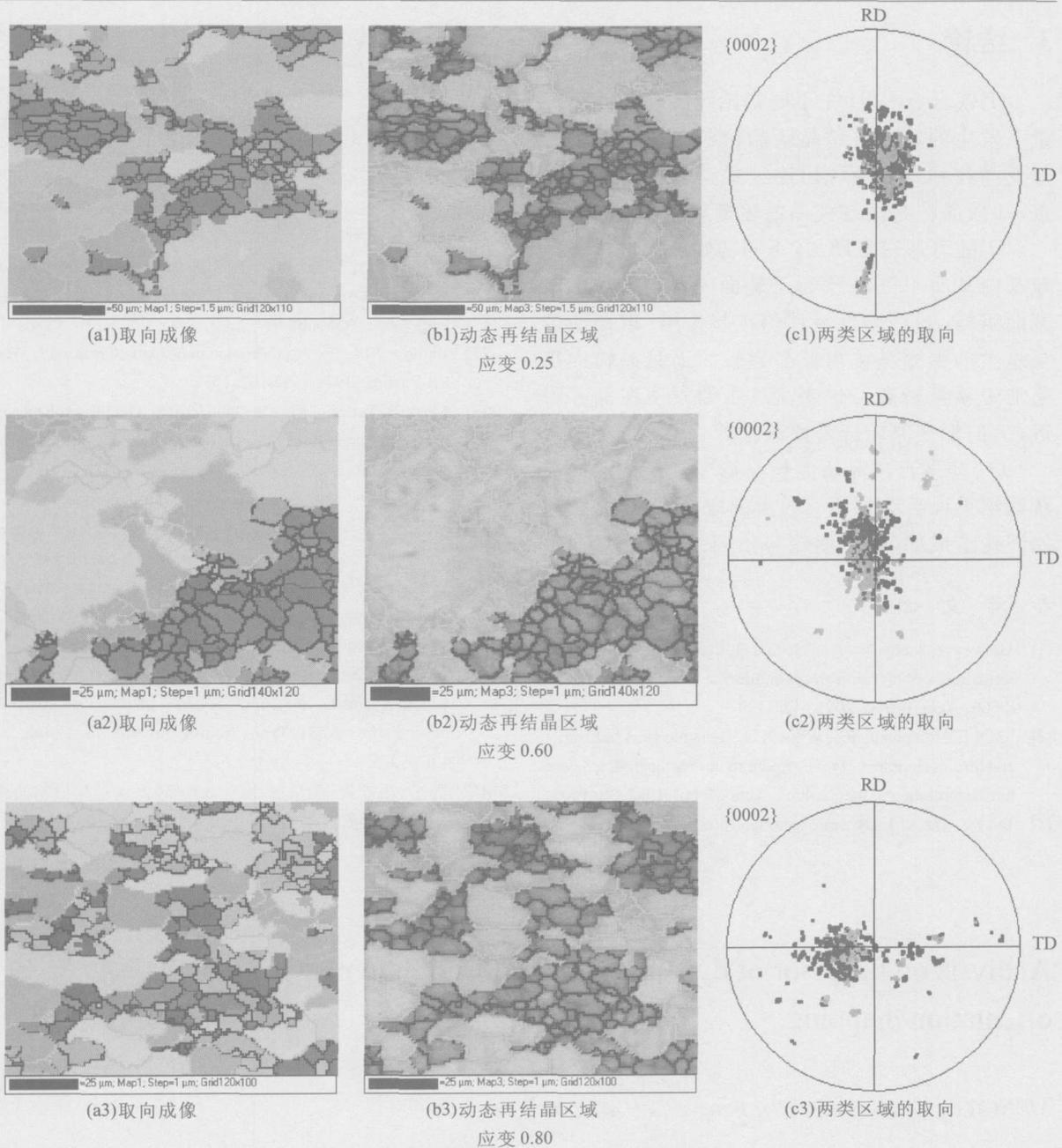


图 5 应变对XY试样两类晶粒取向变化的影响, 340 °C

Fig.5 Influence of strain on the orientation evolvement of two sorts of grains in sample XY. 340 °C

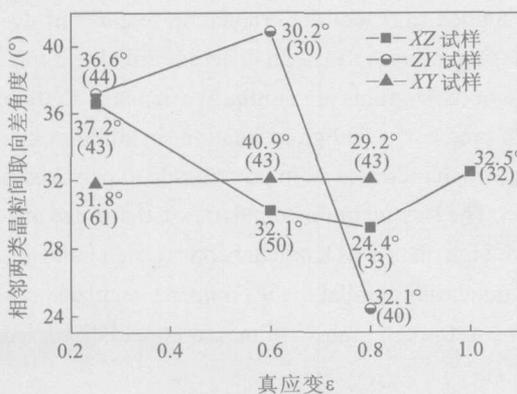


图 6 三个试样两类晶粒间的取向差

Fig.6 Misorientation between two sorts of grains of three samples

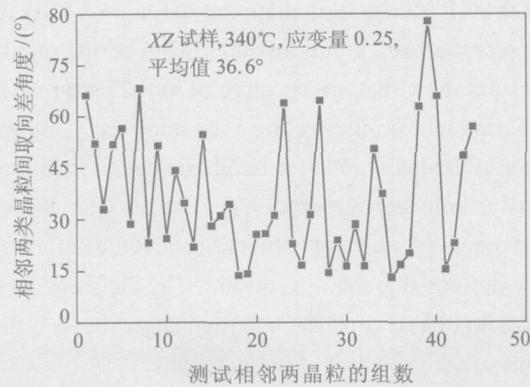


图 7 XZ 试样两类晶粒间取向差分布

Fig.7 Distribution of misorientation between two sorts of grains of sample XZ

3 结论

(1) 镁合金AZ31在不同初始织构和不同形变量下发生的动态再结晶新晶粒取向与其周围的形变晶粒相近,表现出连续式动态再结晶的特点,即新晶粒是通过亚晶的逐渐转动形成的。

(2) 随着形变量增加,不同初始取向试样的晶粒都向基面{0002}平行于轧面的方向转动形成基面织构,说明塑性滑移仍在起作用;取向成像显示大的形变晶粒内亚晶界较少而且晶粒内部菊池带质量较高,说明滑移主要发生在晶界附近,大的形变晶粒应是逐渐被剪切而消失的。

(3) 动态再结晶新晶粒与形变晶粒的取向差统计结果说明ZY试样有较大的取向差,这是由原始织构造成的,但总的趋势相同。

参 考 文 献

- [1] Galiyev A, Kaibyshev R, Gottstein G. Correlation of plastic deformation and dynamic recrystallization in magnesium alloy ZK60. *Acta Mater*, 2001, 49: 1199
- [2] Ion S E, Humphreys F J, White S H. Dynamic recrystallization and the development of microstructure during the high temperature deformation of magnesium. *Acta Metall*, 1982, 30: 1909
- [3] Tan J C, Tan M J. Dynamic continuous recrystallization characteristics in two stage deformation of Mg-3Al-1Zn alloy sheet. *Mater Sci Eng*, 2003, A339: 124
- [4] Myshlyayev M M, McQueen H J, Mwembela A, Konopleva E. Twinning, dynamic recovery and recrystallization in hot worked Mg-Al-Zn alloy. *Mater Sci Eng*, 2002, A337: 121
- [5] Tan J C, Tan M J. Superplasticity and grain boundary sliding characteristics in two stage deformation of Mg-3Al-1Zn alloy sheet. *Mater Sci Eng*, 2003, A339: 86
- [6] de Valle J A, Pe' rez-Prado M T, Ruano O A. Texture evolution during large-strain hot rolling of the Mg AZ61 alloy. *Mater Sci Eng*, 2003, A355: 68
- [7] Philippe M J. Texture formation in hexagonal materials. *Mater Sci Forum*, 1994, 157-162: 1337
- [8] Mukai T, Yamanoi M, Watanabe H, et al. Ductility enhancement in AZ31 magnesium alloy by controlling its grain structure. *Scripta Mater*, 2001, 45: 92
- [9] Klimanek P, Poetsch A. Microstructure evolution under compressive plastic deformation of magnesium at different temperatures and strain rates. *Mater Sci Eng*, 2002, A324: 148
- [10] Yang P, Cui F E, Ma S C, et al. Influence of initial textures on dynamic recrystallization and textures in AZ31 magnesium alloys. *Trans Nonferrous Met Soc China*, 2003, 13: 504
- [11] Yang P, Cui F E, Bian J H, et al. Relationships between deformation mechanisms and initial textures in polycrystalline magnesium alloys AZ31. *Trans Nonferrous Met Soc China*, 2003, 13(2): 279
- [12] 杨平, 胡铁嵩, 崔凤娥. 镁合金AZ31高温形变机制的组织分析. *材料研究学报*, 2004, 18(1): 52

Analysis on behavior of dynamic recrystallization in magnesium alloy AZ31 by orientation mapping

MENG Li¹⁾, YANG Ping¹⁾, CUI Feng-e¹⁾, ZHAO Zude²⁾

1) Materials Science and Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2) The 59th Institute of Chinese Weapon Industry, Chongqing 400083, China

ABSTRACT Orientation mapping based on EBSD technique is applied to reveal the orientation features of dynamic recrystallized grains and their neighboring matrix in a magnesium alloy AZ31 with different initial textures. The results show that, irrespective of initial texture and strain amount, new grains are similarly orientated to their neighboring matrix, illustrating a dynamic recrystallization through progressive subgrain rotation. In addition, the new grains gradually rotate to basal orientation in different samples, which indicates an important role of plastic slip during dynamic recrystallization in stead of superplastic deformation. The less subgrain boundaries in deformed grains under heavy strain were observed and these deformed grains have high quality of Kikuchi bands, which indicates that the deformed grains are consumed by the shear stress of grain boundaries parallel to the compression plane, rather than non-basal slip. The misorientation between the new and the deformed grains are measured and discussed in terms of the influence of initial texture.

KEY WORDS magnesium alloy; dynamic recrystallization; orientation mapping; misorientation