Modern Physics 现代物理, 2016, 6(3), 55-60
Published Online May 2016 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/mp
http://dx.doi.org/10.12677/mp.2016.63006

Hans汉斯

Effect of Electric Current Parameters on the Microstructural Evolution in AZ31B Magnesium Alloy

Xiyong Wu[1], Nan Wu[2], Xinli Wang[3], Wenbin Dai[4*]

[1]Tianjin Dongyi Magnesium Products Co., Ltd., Tianjin
[2]Key Laboratory for Anisotropy and Texture, Northeastern University, Shenyang Liaoning
[3]Research Institute, Northeastern University, Shenyang Liaoning
[4]School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang Liaoning
Email: *daiwb@smm.neu.edu.cn

Received: May 7th, 2016; accepted: May 23rd, 2016; published: May 26th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

Abstract

The effect of electric current parameters, including electric pulse voltage intensity and electric pulse acting times on twin content in AZ31B Magnesium alloy is studied. Results showed that twin contents enhanced not only with the increase of pulse voltage intensity but also with that of acting times. Especially, the enhancement became more obvious with the increase of pulse voltage intensity.

Keywords

Electric Current Pulse Treatment, AZ31B Magnesium Alloy, Twin Content

脉冲电流处理对AZ31B镁合金孪晶含量的影响

吴稀勇[1]，吴　楠[2]，王新丽[3]，戴文斌[4*]

[1]天津东义镁制品股份有限公司，天津
[2]东北大学各向异性与织构重点实验室，辽宁 沈阳
[3]东北大学研究院，辽宁 沈阳

*通讯作者。

文章引用: 吴稀勇, 吴楠, 王新丽, 戴文斌. 脉冲电流处理对 AZ31B 镁合金孪晶含量的影响[J]. 现代物理, 2016, 6(3): 55-60. http://dx.doi.org/10.12677/mp.2016.63006

[4]东北大学冶金学院，辽宁 沈阳
Email: *daiwb@smm.neu.edu.cn

收稿日期：2016年5月7日；录用日期：2016年5月23日；发布日期：2016年5月26日

摘 要

借助扫描电子显微镜及其配备的背散射电子(SEM-EBSD)系统研究了脉冲电压强度和脉冲作用次数对AZ31B镁合金中孪晶的影响。研究发现随着脉冲电压强度或脉冲作用次数的增加，孪晶含量均会呈现增加趋势，尤其电压强度的影响更明显。

关键词

脉冲电流处理，AZ31B镁合金，微观形貌

1. 引言

对于镁合金来说，使用砂型或铁模铸造制备的镁或镁合金锭坯其晶粒通常无明显的择优取向。而经过锻造、挤压、轧制、拉拔或等径角挤压等塑性变形过程后，由于滑移和孪生使镁合金晶粒发生转动而形成织构[1]-[3]。随着变形条件的不同所形成的织构组分也存在差异，并且织构组分还会随着变形的深入而发生变化。若镁合金在变形过程中还发生了再结晶和二次再结晶，则会形成再结晶织构[4]。再结晶织构组分取决于合金成分、退火前变形织构特征和退火工艺。所以探究镁合金的孪晶变化趋势，对于研究再结晶织构有重要的理论指导意义。

因此，本论文拟通过改变脉冲电压强度和脉冲电流作用次数，系统研究高密度脉冲电流作用下 AZ31B 镁合金中孪晶含量的变化，并探讨相关机制。

2. 实验过程

采用热轧的 AZ31B 镁合金为本实验研究对象。材料成分如表 1 所示。

首先将该板在 400℃退火保温 4 h，空冷到室温。然后用电火花切割机切割成工字型试样，有效部分的尺寸为：4 mm 长，3 mm 宽，1 mm 厚。图 1 为脉冲电流设备示意图，实验时，试样的两端部完全夹持在铜电极中，当脉冲电流处理时，两端部的温度升高非常小，可以认为是室温。脉冲电流处理后试样均在空气中冷却，但由于试样两个冷端的冷却作用，试样有效部分的冷却速度将高于一般空冷的冷却速度。另外，大的端部也便于夹持。从图可见试样两端部的尺寸不同于有效部分的尺寸，前者远大于后者。这意味着脉冲电流处理时，两端部的电流密度远低于有效部分的电流密度。脉冲电流的波形和基本参数由 TDS3012 型示波器测定，施加到试样上的脉冲电流波形图，其中 4.5 kv 的脉冲电流的放电周期 tp ≈ 700 μs，脉冲的持续时间约为 110 μs；4.8 kv 的脉冲电流的放电周期 tp ≈ 650 μs，脉冲的持续时间约为 110 μs。

3. 实验结果

借助 SEM-EBSD 观察分析了样品中间有效区在不同脉冲电流处理条件下的孪晶含量的变化，如图 2~4 所示(放大倍数均为 500 倍)。其中图 2 为脉冲电流处理前样品的微观形貌，可观察到晶粒尺寸非常不

Table 1. Chemical composition of AZ31B magnesium alloy (mass%)
表 1. AZ31B 镁合金化学成分表(质量分数%)

Al	Zn	Mn
2.8 - 3.3	0.8 - 1.1	0.5

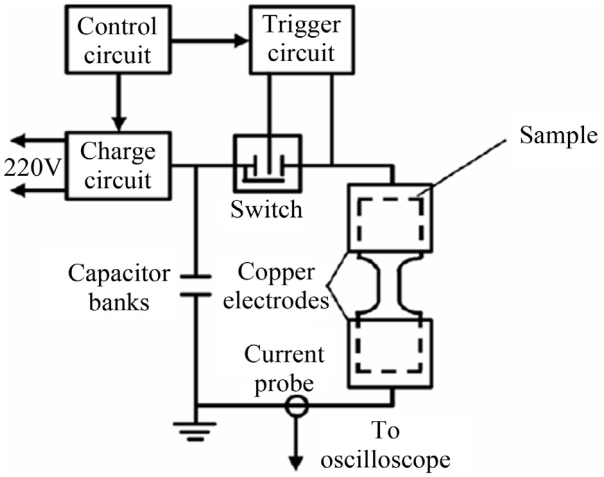

Figure 1. Schematic of ECP equipment
图 1. 脉冲电流设备示意图

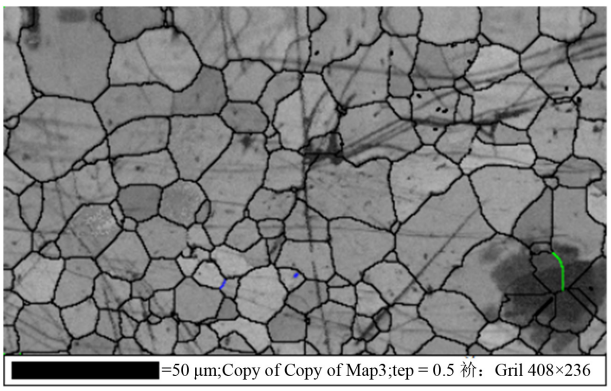

Figure 2. SEM-EBSD map of the original sample
图 2. 脉冲电流处理前样品的 SEM-EBSD 图

均匀，且从图中几乎观察不到孪晶。图 3(a)~(d)分别表征了 4.5 kV 脉冲电流处理作用一次、作用二次、作用三次和作用四次后样品微观形貌以及孪晶含量的演变。经一次脉冲电流处理样品中晶粒尺寸变化不明显，但观察到孪晶生成；作用二次时，三晶交界处细小晶粒长大，晶粒呈均匀分布趋势，但是孪晶含量减少；继续增加作用次数时，晶粒分布明显均匀化，且孪晶含量随作用次数增加而增多。

图 4(a)~(c)分别表征了 4.8 kV 脉冲电流处理作用一次、作用二次、作用三次后样品微观形貌和孪晶含量的演变。可以观察到在 4.8 kV 作用一次时，与初始样品图 2 相比，三晶交界处细小晶粒增多且有孪晶生成；作用二次时，由于再结晶过程中明显的晶界迁移，可以观察到有粗大晶粒生成，孪晶含量增多；随着作用次数增加到三次时，晶粒尺寸分布均匀，且随着作用次数的增加孪晶含量增多。

4. 结果分析与讨论

比较相同电压强度处理条件下，不同电流处理次数对样品中孪晶含量的影响可知，尽管在 4.5 kV 作

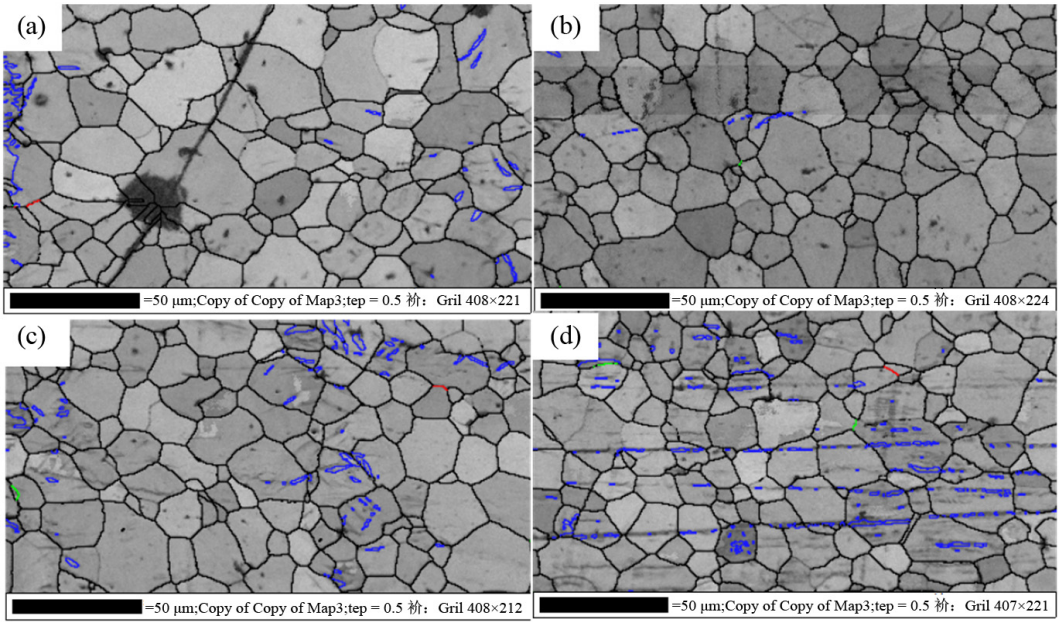

Figure 3. Distribution of twins by SEM-EBSD map for samples treated by ECP at 4.5 kv, the blue color marks twin morphology. (a) ECP-1; (b) ECP-2; (c) ECP-3; (d) ECP-4

图 3. 电压强度为 4.5 kv 作用下样品中孪晶分布的 SEM-EBSD 图，其中蓝色标注了孪晶形貌。(a) 脉冲作用 1 次；(b) 脉冲作用 2 次；(c) 脉冲作用 3 次；(d) 脉冲作用 4 次

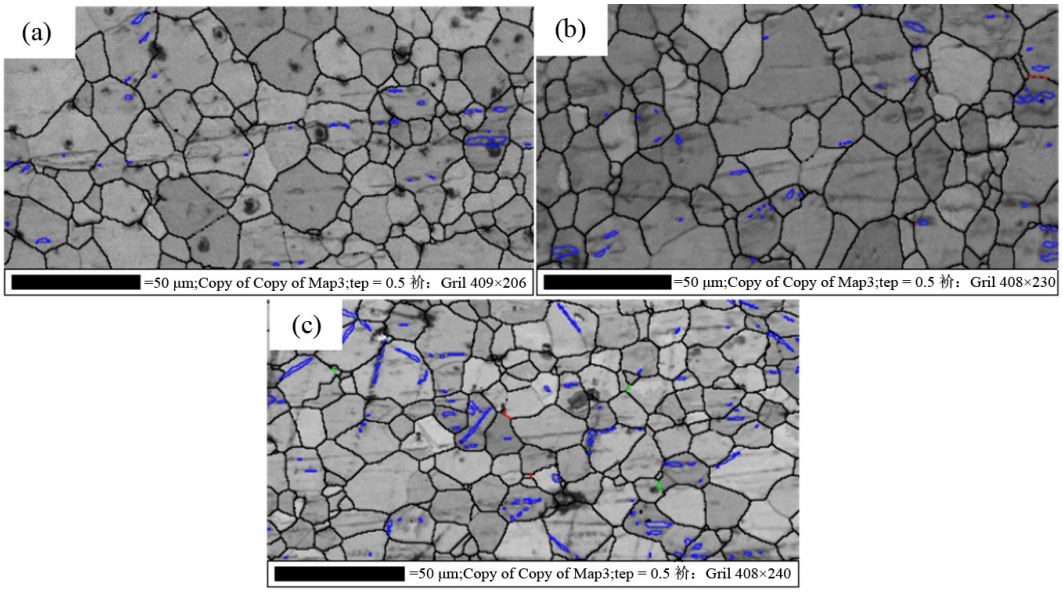

Figure 4. Distribution of twins by SEM-EBSD map for samples treated by ECP at 4.8 kv, the blue color marks twin morphology. (a) ECP-1; (b) ECP-2; (c) ECP-3

图 4. 电压强度为 4.8kv 作用下样品中孪晶分布的 SEM-EBSD 图，其中蓝色标注了孪晶形貌。(a) 脉冲作用 1 次；(b) 脉冲作用 2 次；(c) 脉冲作用 3 次

用第二次时样品中出现孪晶含量减少的原因，但总的来说孪晶含量还是随着作用次数的增加而增加，另外随着电压强度的增大，孪晶含量明显增多。

众所周知，镁合金是密排六方，一般变形只能启动基面滑移，而柱面和锥面滑移则很难启动，这是因为变形过程中基面滑移所需的临界剪切应力较柱面和锥面滑移要小的多，因此，低温下只有有限的滑移系，限

制了其塑性变形能力，此时孪生成为协调塑性变形的重要机制。而当有电流通过样品时，给样品内部瞬间输入高能量，由于热膨胀与升温不同步而产生的热压应力将引起晶体的微形变。热压应力的作用如下[5]-[8]：

$\theta(t)$ 是任一时刻 t 的无因次温升，$\theta(t)=\dfrac{\Delta T(t)}{\Delta T_{\max}}$，其中 $\Delta T(t)$ 是瞬时的温度变化，$\Delta T_{\max}$ 是最大温度变化；$l(t)$ 是无因次膨胀长度，$l(t)=\dfrac{\Delta L(t)}{\Delta L_{\max}}$，其中 $\Delta L(t)$ 是瞬时长度变化，$\Delta L_{\max}$ 是最大长度变化。

$$\Delta L_{\max}=\alpha\Delta T_{\max}\Delta L_0 \tag{1}$$

其中 α 是样品的热膨胀系数，L_0 是试样的原始长度。

由式(1)推倒可知，热压应力为：

$$\sigma_x'(t)=-\sigma_x(t)=E\alpha\Delta T_{\max}\left[\theta(t)-l(t)\right] \tag{2}$$

由式(2)可看出，当处在稳态膨胀时，温升过程与膨胀过程同步，此时 $\theta(t)-l(t)=0$，试样内无应力存在。而快速加热时，由于膨胀过程与温升过程不同步，此时 $\theta(t)-l(t)\neq 0$，这样即便是在自由边界条件下也会在试样中产生瞬时热压应力，而且试样温升速度愈快，内部瞬态热压应力愈大。最大可能热压应力可由下式求得[5]-[11]：

$$\sigma_{\max}=E\alpha\Delta T_{\max} \tag{3}$$

由于镁合金中的拉伸孪晶在形变前期或较小的形变量下就容易形成，且呈粗大的透镜状，其界面易于滑移。当镁合金在脉冲电流作用下，尤其脉冲电流作用次数增加的情况下，材料内部组织连续承受由于热膨胀和升温不同不引起的热压应力作用，因此，可能在材料内部再结晶过程中生成大量的拉伸孪晶。

5. 结论

(1) 相同电压强度条件下，脉冲电流作用次数的增加有利于孪晶的生成。

(2) 不同电压强度条件下，随着电压强度的增大，孪晶含量明显增大。

参考文献 (References)

[1] Avedesian, M.M. and Baker, H. (1999) Magnesium and Magnesium Alloys. ASM Speciality Handbook, ASM International, Metals Park.

[2] 陈振华, 严红革, 陈吉华, 等. 镁合金[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 211-213.

[3] 余锟, 黎文献, 李松瑞. 变形镁合金材料的研究进展[J]. 轻合金加工技术, 2001, 29(7): 6-9.

[4] 毛卫民. 金属材料的晶体学织构与各向异性[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[5] Zhou, Y.Z., Zhang, W., Wang, B.Q., He, G.H. and Guo, J.D. (2002) Grain Refinement and Formation of Ultrafine-Grained Microstructure in a Low-Carbon Steel under Electropulsing. *Journal of Materials Research*, **17**, 2105-2111. http://dx.doi.org/10.1557/JMR.2002.0311

[6] Zhou, Y.Z., Zhang, W., Sui, M.L., Li, D.X., He, G.H. and Guo, J.D. (2002) Formation of a Nanostructure in a Low-Carbon Steel under High Current Density Electropulsing. *Journal of Materials Research*, **17**, 921-924. http://dx.doi.org/10.1557/JMR.2002.0134

[7] Du, X.N., Yin, S.M., Liu, S.C., Wang, B.Q. and Guo, J.D. (2011) Effect of the Electropulsing on Mechanical Properties and Microstructure of an ECAPed AZ31 Mg Alloy. *Journal of Materials Research*, **23**, 11-15.

[8] Hu, G.L., Shek, C.H., Zhu, Y.H. and Tang, G.Y. (2011) Electropulsing Induced Texture Evolution in the Primary Recrystallization of Fe-3%Si Alloy Strip. *Metallurgical and Materials Transactions A*, **42**, 3484-3490. http://dx.doi.org/10.1007/s11661-011-0770-4

[9] Dai, W.B., Wang, X.L., Zhao, H.M. and Zhao, X. (2012) Effect of Electric Current on Grain Orientation in a Cold Rolled Fe-3%Si Steel. *Materials Transactions*, **53**, 229-233. http://dx.doi.org/10.2320/matertrans.M2011272

[10] Zhu, Y.H., To, S., Lee, W.B., Liu, X.M., Jiang, Y.B. and Tang, G.Y. (2009) Effects of Dynamic Electropulsing on Microstructure and Elongation of a Zn-Al Alloy. *Materials Science and Engineering A*, **501**, 125-132. http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2008.09.080

[11] Tang, D.W., Zhou, B.L., Cao, H. and He, G.H. (1993) Thermal Stress Relaxation Behavior in Thin Films under Transient Laser-Pulse Heating. *Journal of Applied Physics*, **73**, 3749-3752. http://dx.doi.org/10.1063/1.352907