

轧制变形程度对AZ31镁合金板材组织与性能的影响

胡冬, 周涛, 杨朝, 蒋伟

(重庆理工大学 材料科学与工程学院, 重庆 400054)

摘要: **目的** 研究轧制变形程度对AZ31镁合金板材组织和性能的影响。**方法** 主要设计了轧制变形程度分别为51%, 63%, 72%的3组轧制工艺并进行实验, 然后观察不同轧制变形程度下板材退火后的微观组织及力学性能。**结果** 当轧制变形程度72%时, 晶粒最细, 抗拉强度和断裂延伸率最高。**结论** 随着轧制变形程度的增加, 镁合金板材晶粒逐渐细化, 而抗拉强度和断裂延伸率随着轧制变形程度的增加而提高。

关键词: 变形程度; 微观组织; 抗拉强度; 断裂延伸率

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.02.003

中图分类号: TG335.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2016)02-0012-03

Effect of Rolling Deformation Degree on Microstructure and Properties of AZ31 Magnesium Alloy Sheets

HU Dong, ZHOU Tao, YANG Zhao, JIANG Wei

(College of Materials Science and Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

ABSTRACT: In order to study the effects of different rolling deformation degree on the microstructure and property of AZ31 magnesium alloy sheets, three groups of rolling processes with rolling deformation degrees of 51%, 63% and 72% were designed in the present work. The microstructure and mechanical properties of annealed sheets with different rolling deformation degree were observed. The results showed that: when the rolling deformation degree was 72%, the grains were fine, and the tensile strength and elongation were the highest. Finer grains were achieved with increasing rolling deformation degree and the tensile strength and elongation increased with increasing rolling deformation degree.

KEY WORDS: deformation degree; microstructure; tensile strength; elongation

镁合金具有密度低、比强度和比刚度高、阻尼减震性好、导热性好、易于回收等优点, 在航空、航天、汽车、计算机、电子、通讯和家电等行业已有多年的应用历史^[1]。大多数镁合金具有密排六方结构, 因此人们一直认为镁合金是一种难以塑性变形、压力加工成形性能差的金属材料。目前镁合金产品以铸件居多^[2-3]。

轧制是获得镁合金薄板的加工方式之一。镁合

金在轧制过程中会产生孪晶、动态再结晶、剪切带等微观组织形貌^[4], 材料的性能也会随着轧制工艺的不同而改变。影响镁合金轧制过程组织以及性能的因素有很多, 包括轧制方式、轧制温度、变形程度、变形速度等^[4-5]。本文主要研究变形程度对镁合金组织及性能的影响, 因此对不同轧制变形程度后的镁合金板材进行了微观组织以及性能表征分析, 分析了轧制变形程度对镁合金微观组织及性能的影响。

收稿日期: 2015-12-17

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(51301213); 重庆市基础与前沿研究计划(cstc2014jcyjA50008); 连云港市科技计划(CG1418, CXY1404)

作者简介: 胡冬(1989—), 男, 重庆人, 硕士, 主要研究方向为轻合金及其特种成形。

通讯作者: 周涛(1981—), 男, 重庆人, 博士, 副教授, 主要研究方向为轻合金及其特种加工技术。

1 实验

实验板材为长×宽为 300 mm×120 mm, 厚 4.3 mm 的商用普通热轧 AZ31 镁合金板材。第 1 组轧制工艺如下: 轧制温度为 400 °C, 轧制速度为 0.4 m/s, 道次间板材回炉温度为 400 °C, 保温 10~20 min, 板材终轧厚度为 2.1 mm, 轧制总变形程度为 51%。第 2 组轧制工艺: 轧制温度为 400 °C, 轧制速度为 0.4 m/s, 道次间板材回炉温度为 400 °C, 保温 10~20 min, 板材终轧厚度为 1.6 mm, 轧制总变形程度 63%。第 3 组轧制工艺: 轧制温度为 400 °C, 轧制速度为 0.4 m/s, 道次间板材回炉温度为 400 °C, 保温 10~20 min, 板材终轧厚度为 1.2 mm, 轧制总变形程度为 72%。最后将 3 种轧制工艺获得的终轧板材经过统一退火, 在 350 °C 条件下保温 1 h。

用水(98 mL)+草酸(1 g)+浓硝酸(1 mL)混合溶液侵蚀金相试样, 通过光学显微镜观察镁合金板材微观组织, 利用图像分析软件分析晶粒尺寸。常温单向拉伸在万能材料拉伸实验机上进行, 以获得材料的抗拉强度、断裂延伸率。

2 结果与讨论

2.1 显微组织

不同轧制变形程度轧制镁合金板材经退火后的微观组织见图 1。从图 1 中可以看出, 当镁合金板材为原始板材时, 板材微观组织主要为粗大的原始晶粒, 以等轴晶居多, 分布也比较均匀。随着轧制过程的进行, 当变形程度达到 51% 时, 板材微观组织晶粒逐渐被拉长, 等轴晶逐渐消失, 组织中出现了一些不规则的扁长晶粒, 并且在晶界间出现了一些细小晶粒。当轧制继续进行, 变形程度达到 63% 时, 微观组织中出现了大量细小晶粒, 并且向等轴晶演化。而当变形程度达到 73% 时, 微观组织中晶粒大部分细化, 并且组织均匀。镁合金板材微观组织随变形程度出现这一特点的主要原因可能是^[4-6], 在轧制变形初期, 滑移受阻, 滑移面上的位错因局部受阻而堆积, 进而在晶界附件有少量的再结晶形核, 形成少量细小的再结晶新晶粒, 但其所占比例很小, 整体上无明显细化。当轧制过程继续进行, 由于此时金属晶体结构畸变累积为再结晶的产生提供了动力, 严重的晶格畸变高位能区域开始大量形核, 出现了大量细小、致密的

再结晶晶粒。再结晶晶粒主要在晶界处生成, 包围原始晶粒。当轧制过程到了后期, 随着轧制过程的进行以及变形程度的增加, 再结晶晶粒组织逐渐增多, 进而取代原始晶粒, 并且组织均匀, 晶粒细化^[7-10]。

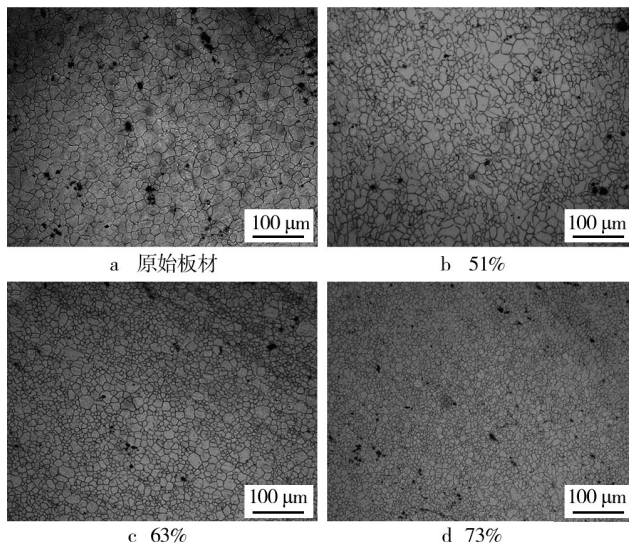


图 1 不同变形程度 AZ31 镁合金轧制板材后的显微组织

Fig.1 Microstructures of AZ31 Mg sheets with different deformation degree rolled at 400 °C

2.2 力学性能

从图 2 中可以看出, 随着轧过程的进行和变形程度的增加, 镁合金板材轧制退火后的抗拉强度、断裂为伸长率以不同趋势提高。轧制变形程度在 63% 以前,

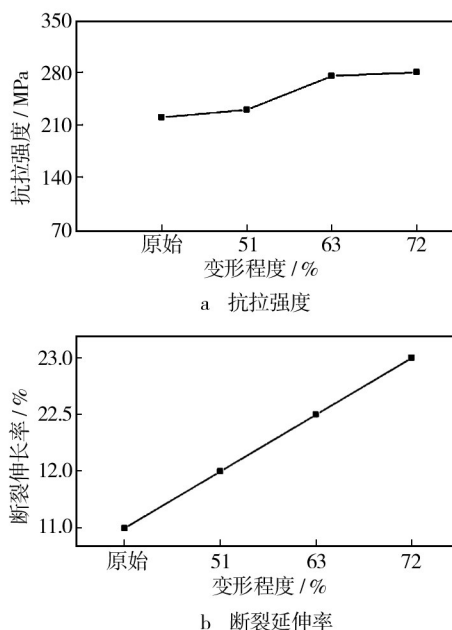


图 2 不同变形程度下 AZ31 镁合金轧制板材的显微组织

Fig.2 Microstructures of AZ31 Mg sheets with different deformation degree rolled at 400 °C

材料的抗拉强度提高趋势明显,而在变形程度为63%~72%时,材料的抗拉强度提高相对缓和。材料断裂伸长率在整个轧制过程,提升斜率很大。随着变形程度的增加,引起板材强度以及塑性提高的机制可能有^[12]细晶强化、加工硬化。其主要作用还是细晶强化,根据轧制过程中,组织变化特点,即随着变形程度的增加,原有的粗大晶粒逐渐被拉长,并且组织中细小的等轴晶逐渐增多,晶粒度不断降低,根据Hall-Petch公式^[5],材料的各项性能均相应提高。除此之外,加工硬化也起到一定的作用。轧制过程中,由于采用400℃的轧制温度,高于再结晶温度范围。变形过程中晶粒滑移、位错缠结等形成的晶格严重畸变高能区域将产生动态再结晶,而新产生的动态再结晶晶粒会受到轧制应力的作用,产生一定的应变。因此,组织中存在一定的加工硬化,对板材强度起到了增强作用^[12-14]。

3 结论

1) 在轧制过程中,随着轧制变形程度的增加,动态再结晶也随之发生,当变形程度达到一定程度,动态再结晶完全取代原始晶粒,出现细小等轴晶,并且组织均匀。

2) 在轧制过程中,随着轧制变形程度增加,抗拉强度、断裂伸长率逐渐提高,出现这种现象主要是由于细晶强化以及加工硬化的作用。

参考文献:

- [1] 陈振华. 镁合金[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
CHEN Zhen-hua. Magnesium Alloy[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [2] 陈振华, 夏伟军, 严红革, 等. 镁合金材料的塑性变形理论及其技术[J]. 化工进展, 2004(2): 127—135.
CHEN Zhen-hua, XIA Wei-jun, YAN Hong-ge, et al. Theory and Technology of Plastic Deformation of Magnesium Alloy[J]. Advances in Chemical Engineering, 2004(2): 127—135.
- [3] 刘楚明, 刘子娟, 朱秀容, 等. 镁及镁合金动态再结晶研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2006, 16(1): 1—12.
LIU Chu-ming, LIU Zi-juan, ZHU Xiu-rong, et al. Research Progress of Dynamic Recrystallization of Magnesium and Its Alloys[J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2006, 16(1): 1—12.
- [4] 靳丽. 通道角挤压变形镁合金微观组织与力学性能研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2006.
JIN Li. Microstructure and Mechanical Properties of Magnesium Alloy Extruded by Equal Channel Angular Pressing[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2006.
- [5] 常量. AZ31 镁合金水平连铸板材轧制工艺研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
CHANG Liang. Study on Rolling Process of AZ31 Magnesium Alloy Horizontal Continuous Casting Sheet[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2007.
- [6] 张丁非, 方霖, 刘郭平, 等. 镁合金板材轧制技术与工艺的研究进展[J]. 兵器材料科学与工程, 2010, 33(5): 96—102.
ZHANG Ding-fei, FANG Lin, LIU Guo-ping, et al. Research Progress on Rolling Technology and Technology of Magnesium Alloy Sheet[J]. Weapons Materials Science and Engineering, 2010, 33(5): 96—102.
- [7] 傅定发, 许芳艳, 夏伟军, 等. 退火工艺对轧制AZ31镁合金组织和性能的影响[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2006, 27(4): 57—61.
FU Ding-fa, XU Fang-yan, XIA Wei-jun, et al. Effect of Annealing Process on Microstructure and Properties of Rolled AZ31 Magnesium Alloy[J]. Journal of Natural Science of Xiangtan University, 2006, 27(4): 57—61.
- [8] 谢广明, 骆宗安, 王国栋. 轧制工艺对真空轧制复合钢板组织与性能的影响[J]. 钢铁研究学报, 2011, 23(12): 27—30.
XIE Guang-ming, LUO Zong-an, WANG Guo-dong. Effect of Rolling Process on Microstructure and Properties of Vacuum Rolling Clad Steel Plate[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2011, 23(12): 27—30.
- [9] 董勇, 董明, 汪哲能, 等. 初始晶粒尺寸对大应变轧制AZ31镁合金板材显微组织和力学性能的影响[J]. 机械工程材料, 2014(7): 33—37.
DONG Yong, DONG Ming, WANG Zhe-neng, et al. Effect of Initial Grain Size on Microstructure and Mechanical Properties of AZ31 Magnesium Alloy Sheet with Large Strain Rolling[J]. Mechanical Engineering Materials, 2014(7): 33—37.
- [10] 孙瑞. 异步轧制AZ31镁合金板材的微观组织及力学性能研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2012.
SUN Rui. Study on Microstructure and Mechanical Properties of AZ31 Magnesium Alloy Sheet by Asynchronous Rolling[D]. Shenyang: Shenyang Ligong University, 2012.
- [11] 董勇, 刘吉兆. 初始取向对大应变轧制AZ31镁合金板材显微组织和力学性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2014, 24(7): 1700—1706.
DONG Yong, LIU Ji-zhao. Influence of Initial Orientation on Microstructure and Mechanical Properties of AZ31 Magnesium Alloy Sheet with Large Strain Rolling[J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2014, 24(7): 1700—1706.
- [12] 刘劲松, 竺晓华, 张士宏, 等. AZ31镁合金轧制板材退火后的组织与力学性能[J]. 材料热处理学报, 2010, 31(2): 104—107.
LIU Jin-song, ZHU Xiao-hua, ZHANG Shi-hong, et al. Microstructure and Mechanical Properties of AZ31 Magnesium

(下转第21页)

- 79—81.
- [2] BUNGE H J. Quantitative Texture Analysis. DGM Informations Gesellschaft, Oberursel, Germany, 1981/Texture Analysis in Materials Science. Cuviller Verlag, 1993.
- [3] 马全仓, 毛卫民, 冯惠平. 3104 深冲铝板织构对初始 R 值的影响[J]. 北京科技大学学报, 2004, 26(1): 79—81.
MA Quan-cang, MAO Wei-min, FENG Hui-ping. Influence of Texture on Initial R-value of Deep Drawing 3104 Aluminum Sheet[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2004, 26(1): 79—81.
- [4] ASARO R J, NEEDLEMAN A. Texture Development and Strain Hardening Inratedependent Poly Crystals[J]. Acta Metallurgical, 1985, 33: 923—953.
- [5] BALASUBRAMANIAN S, ANAND L. Single crystal and Polycrystalelasto-viscoplasticity: Application to Earing in Cup Drawing of FCC Materials[J]. Computational Mechanics, 1996, 17: 209—225.
- [6] ZHOU Y, JONAS J J, SAVOIE J, et al. Effect of Texture on Earing in FCC Metals: Finite Element Simulations[J]. International Journal of Plasticity, 1998, 14: 113—138.
- [7] SHIN H J, AN J K, PARK S H, et al. The Effect of Texture on Ridging of Ferritic Stainless Steel[J]. Acta Materialia, 2003, 51: 4693—4706.
- [8] 陈洪荪. 金属的弹性各向异性[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
SUN Hong-sun. Metalicaeolotropism' s Modulus of Elasticity [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996.
- [9] 魏齐龙, 陈铮, 王永欣. T1 相 (Al₂CuLi) 对铝锂合金各向异性的贡献[J]. 有色金属, 2002(8): 4—7.
WEI Qi-long, CHEN Zheng, WANG Yong-xin. Contribution of T1 Precipitate (Al₂CuLi) to Anisotropy in Al-Li Alloys[J]. Nonferrous Metals, 2002(8): 4—7.
- [10] NACK J K, EIO W L. Effect of T1 Precipitate on the Anisotropy of Al-Li Alloy 2090[J]. Acta Metal Mater, 1993, 41(3): 941.
- [11] KOTHARI M, ANAND L. Elasto-viscoplastic Constitutive Equations for Polycrystalline Metals: Application to Tantalum [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1998, 46(1): 51—83.
- [12] HUANG Y. A User-material Subroutine Incorporating Single Crystal Plasticity in the ABAQUS Finite Element Program[R]. Mech Report 178, Division of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, 1991: 2—9.
- [13] PEIRCE D, ASARO R J, NEEDLEMAN A. An Analysis of no Uniform and Localized Deformation in Ductile Single Crystals [J]. Acta Metallurgica, 1982, 30(6): 1087—1119.
- [14] 杨进. Al-Mg-Mn-Sc-Zr 合金板材平面力学各向异性研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2005.
YANG Jin. Study on Mechanical Aeolotropism of Al-Mg-Mn-Sc-Zr Alloy Panels[D]. Changsha: Central South University, 2005.
- [15] 刘力力. 身管径向锻造工艺及锻后身管性能研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.
LIU Li-li Study on Measurement of Residual Stresses in Forged Barrel Surface[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2013.
- [16] HALL E O. The Deformation and Ageing of Mild Steel: III Discussion of results[J]. Proc Phys Soc, 1951, 64B: 747—753.

(上接第 14 页)

- Alloy Rolled Sheet After Annealing[J]. Journal of Heat Treatment, 2010, 31(2): 104—107.
- [13] 许光明, 王东钢, 李金涛, 等. 轧制工艺对双辊铸轧 AZ61 镁合金组织性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2009, 29(7): 599—600.
XU Guang-ming, WANG Dong-gang, LI Jin-tao, et al. Effect of Rolling Process on Microstructure and Mechanical Properties of Twin Roll Cast AZ61 Magnesium Alloy[J]. Special Casting and Nonferrous Alloys, 2009, 29(7): 599—600.
- [14] 吴明富. 轧制工艺对 AlMgSi 合金组织及性能的影响[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2010.
WU Ming-fu. Effect of Rolling Process on Microstructure and Properties of Alloy AlMgSi[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2010.