

文章编号:1000-582X(2009)04-367-04

工业态 AZ31B 镁合金薄板的拉伸性能与组织变化

黄光胜^{a,b}, 李红成^{a,b}, 张雷^{a,b}, 宋波^{a,b}

(重庆大学 a. 国家镁合金材料工程技术研究中心; b. 材料科学与工程学院, 重庆 400030)

摘要:对厚度为 0.8 mm 的工业态 AZ31B 镁合金薄板在室温至 400 °C 条件下进行了轴向拉伸实验,研究了变形过程中的组织与性能变化。结果表明,室温至 100 °C 变形时,显微组织中出現少量孪晶;而 200 °C 及以上变形时发生了动态再结晶。室温下 AZ31B 镁合金薄板具有较高的强度和较好的塑性;随着变形温度的升高,塑性增加,并呈现出低温超塑性或高应变速率超塑性特征。

关键词:镁合金;薄板;拉伸性能;显微组织

中图分类号: TG115.5

文献标志码: A

Microstructures and tensile properties of commercial AZ31B magnesium alloy sheets

HUANG Guang-sheng^{a,b}, LI Hong-cheng^{a,b}, ZHANG Lei^{a,b}, SONG Bo^{a,b}

(a. National Engineering Research Center for Magnesium Alloys; b. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: Uniaxial loading tests are performed on 0.8 mm thick sheets of commercial AZ31B magnesium alloy in the temperature range from room temperature to 400 °C. The microstructures and tensile properties are studied. The results reveal that there are few twins in the deformation microstructures created when deformation occurs in temperatures ranging from room temperature to 100 °C, and dynamic recrystallization take place at deformation temperatures exceeding 200 °C. Commercial AZ31B magnesium alloy sheets have a preferable strength and ductility at room temperature. The ductility of the sheets is improved as the deformation temperature increases. Some characteristics of low temperature superplasticity or high strain rate superplasticity exist.

Key words: magnesium alloys; sheet; tensile properties; microstructure

镁合金密度低、比强度高,作为轻质结构材料在汽车、摩托车、高速列车、飞机等交通领域以及笔记本电脑、手机、数码相机等电子产品外壳等领域具有较大的应用潜力^[1-2]。由于常用镁合金属于密排六方晶体结构,室温下的塑性较差,阻碍了变形镁合金特别是镁合金薄板在上述应用领域内的开发与应用。

镁合金薄板的组织与性能研究不仅可以为板材的应用提供依据,还可为板材制备工艺的优化提供参考,因此这方面的研究引起了越来越多的关注。

铸锭开坯轧制是目前获得镁合金薄板的主要方法,对这种方法获得的板材的组织与性能研究较多^[3-6]。由于传统轧制方法加工的薄板具有较强的基面织构,而交叉轧制和差速轧制可削弱基面织构,因此对交叉轧制板薄板^[7-8]和差速轧制镁合金薄板^[9-10]拉伸性能也有一定的研究。此外,热挤压^[11-12]与冷挤压^[13]镁合金薄板拉伸性能研究也有文献报道。

目前的研究主要是使用实验室自制材料,不同研究之间的材料性能差异较大。而关于工业态

收稿日期:2009-01-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50504019);重庆市自然科学基金资助项目(2008BB4040)

作者简介:黄光胜(1974-),男,重庆大学副教授,博士,主要从事金属材料、太阳能电池材料与太阳能电池等研究,

(Tel) 023-65112239; (E-mail) gshuang@cqu.edu.cn.

欢迎访问重庆大学期刊社 <http://qks.cqu.edu.cn>

AZ31B 镁合金薄板的拉伸性能以及拉伸过程中组织变化的研究较少,针对这种情况,研究了工业态 AZ31B 镁合金薄板在室温至 400 °C 并以不同应变速率拉伸下的性能与组织变化。

1 实验材料与方法

实验材料为工业态 AZ31B(名义成份(质量百分比)Al:3%, Zn:1%, Mn:0.5%,其余 Mg)镁合金板薄板,厚 0.8 mm,购于国内某企业,组织为均匀细小的等轴晶,平均晶粒尺寸为 10 μm 左右。

用线切割把镁合金薄板加工成标距 25 mm,宽 5 mm、厚 0.8 mm 的拉伸试样,拉伸方向平行于板材轧制方向。轴向拉伸在 HT91-02B 电脑式伺服控制材料实验机上进行,初始应变速率从 1.0×10^{-1} ~ 1.0×10^{-4} s⁻¹,变形温度为从室温至 400 °C,保温 10 min 后开始拉伸。对拉伸变形后的样品取样,用苦味酸酒精溶液浸蚀,在 OLYMPUS 金相显微镜上对纵剖面进行微观组织观察。用场发射扫描电镜 EBSD 附件测试了原始板材的极图。

2 实验结果

2.1 应力应变曲线

图 1 是 AZ31B 镁合金薄板拉伸的典型真应力-应变曲线。图 1(a)的初始应变速率是 1×10^{-2} s⁻¹,随着温度的升高,流变应力降低。图 1(b)变形温度为 300 °C,在相同变形温度下,随着应变速率的降低,流变应力降低。在高温低应变速率下,曲线上出现了锯齿形,表明在拉伸变形过程中发生了非连续动态再结晶。

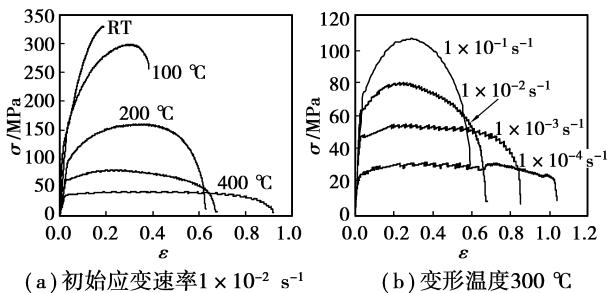


图 1 典型的拉伸真应力-应变曲线

拉伸断裂延伸率如图 2 所示,室温下 AZ31B 镁合金薄板具有较好的塑性,其延伸率在 20% 左右,初始应变速率为 1×10^{-4} s⁻¹,最大达到 22.4%。随着温度的升高,AZ31B 镁合金薄板的塑性得到明显的改善,其延伸率显著增加。在 400 °C 并以应变速率 1×10^{-4} s⁻¹ 轴向拉伸时,其延伸率达到 191%。

当材料的延伸率超过 100%,通常认为具有超塑性。因此在 200 °C 低应变速率拉伸时,其延伸率超过 100%,呈现出低温超塑性特征。而在 400 °C 初始应变速率为 1×10^{-1} s⁻¹ 拉伸时,其延伸率也超过 100%,表现出高应变速率超塑性特征。

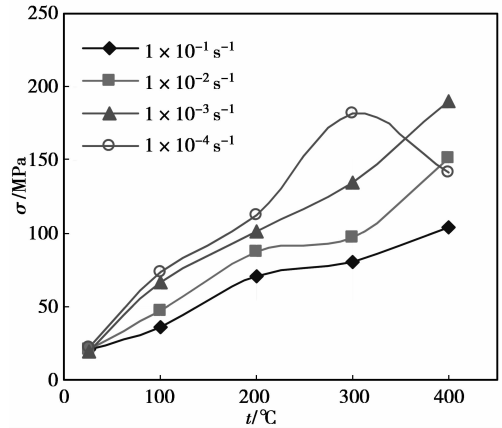


图 2 拉伸断裂延伸率

图 3 是应变分别等于 0.1 和 0.3 时的应力与应变速率的关系图,ln(σ)与 ln(ε̇)存在线性关系,表明 AZ31B 镁合金在拉伸变形过程中满足 Backofen 方程。

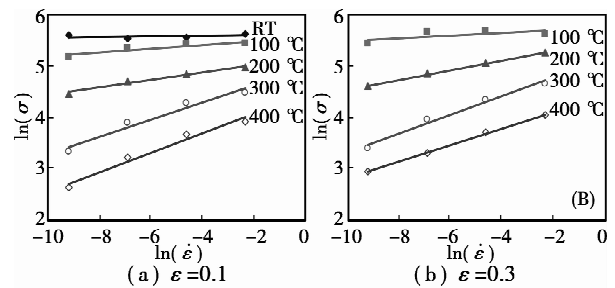


图 3 真应力与应变速率的关系

$$\sigma = K\dot{\epsilon}^m, \quad (1)$$

式中 K 是材料常数, m 是应变速率敏感系数, m 等于图 3 中 ln(σ)与 ln(ε̇)线性关系直线的斜率。分别计算了应变为 0.1~0.4 的 m 值,如图 4 所示。室温下 m 非常低,随着温度的升高 m 值逐渐增加。 m 值越大,试样局部颈缩处截面变小的速度越慢,能呈现出稳定的均匀延伸,可获得越大的延伸率。在 300 ~ 400 °C 时, m 值较高,在 0.15 至 0.2 之间,AZ31B 镁合金也表现出较高的拉伸延伸率。

2.2 显微组织

室温与 100 °C 拉伸变形下的金相组织中出现了孪晶,但是观察到的孪晶量很少。通常镁合金在室温下的变形主要是依靠基面(0001) <112̄0> 滑移和锥面{101̄2} <1̄011> 孪生,由于研究所用 AZ31B

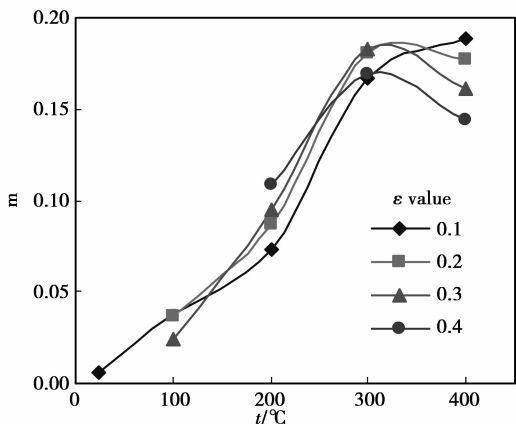


图 4 应变速率敏感系数

镁合金薄板的晶粒细小,变形过程中除滑移外,晶界滑移也是一种重要的变形方式,因此对于细晶镁合金,孪生对变形的贡献要弱一些。

在 200 °C 变形条件下,当应变速率为 0.1 s⁻¹ 时,金相几乎没有变化,如图 5(a) 所示。但随着应变速率的降低,可观察到细小的动态再结晶晶粒,并且随应变速率的降低动态再结晶晶粒占整体组织的比例也越大,如图 5(b)~(d) 所示。

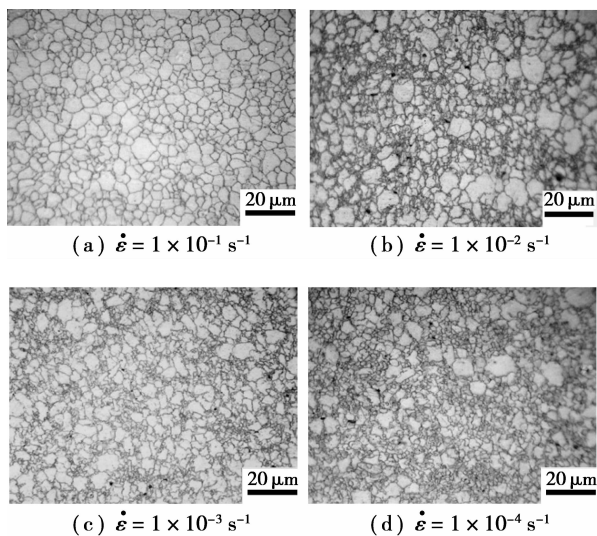


图 5 200 °C 拉伸断裂时的显微组织

在相同应变速率下,随温度的升高,动态再结晶晶粒越大,也越充分。如应变速率为 0.1 s⁻¹ 时,在 200 °C 及以下时,没有动态再结晶发生,在 300 °C 时,则发生完全动态再结晶,并且晶粒也变得粗大,而在 400 °C 时,动态再结晶晶粒则进一步变形粗大,如图 6 所示。这主要是在 300 °C 与 400 °C 时,镁合金具有较高的塑性,其拉断时间也越长,这样在相同应变速率下的变形时间也越长,就有充足的时间进行动态再结晶形核和长大。

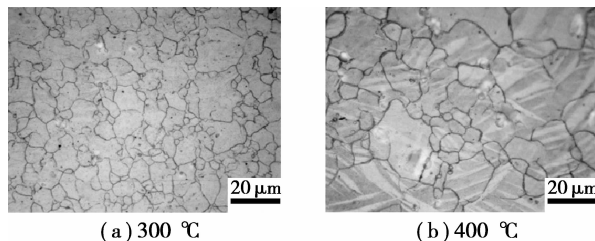


图 6 应变速率 1 × 10⁻¹ s⁻¹ 拉伸断裂时的显微组织

3 分析与讨论

研究所用材料 AZ31B 镁合金薄板为国内某企业生产的商品板材,其织构如图 7 所示,呈现出较强的 {0001} 基面织构,但织构漫散度较大,并沿轧制方向被拉长。因此部分晶粒的基面与板面呈一定的夹角,这使得这部分晶粒的基面滑移系具有较大的 Schmid 因子,图 8 是基面滑移系的 Schmid 因子分布, Schmid 因子较大的软取向晶粒与硬取向晶粒几乎相当。因此在室温或低温下处于软取向的这部分晶粒的基面滑移系容易启动。Ono 等^[14] 认为室温下多晶体纯镁中激活的非基面滑移系占总滑移系的大约 40%,并随温度的增加,非基面滑移系所占比例增加。Koike 等^[15] 认为由于晶界应力的作用,激活了非基面滑移,形成交滑移。因此工业态 AZ31B 镁合金薄板在室温与 100 °C 下变形表现出良好的塑性。

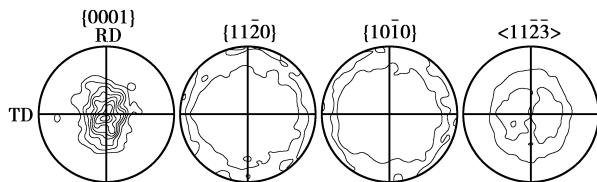


图 7 工业态 AZ31B 镁合金薄板的极图,最大值 8.66。极密度水平线为 1,2,3 ……

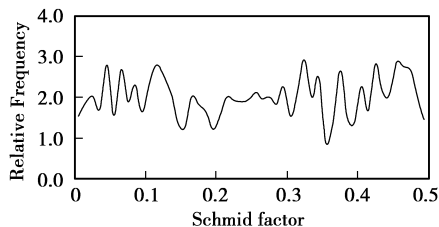


图 8 基面滑移系的 Schmid 因子分布

由于镁及镁合金只有较低的堆垛层错能,在热变形过程中易发生再结晶。再结晶可使内部有畸变的晶粒变为无畸变的晶粒,从而消除应变硬化。高温变形时的再结晶过程是一个动态的、连续的过程,即一边产生应变硬化,一边产生再结晶软化。应变速率较低时,再结晶过程进行充分,晶粒容易长大;

应变速率较高时,再结晶受到抑制,应力集中得不到及时松弛,材料内容易过早出现空洞和裂纹。因此AZ31B镁合金薄板在300℃和400℃拉伸变形时,可以获得较高的延伸率,甚至出现了超塑性特性。

4 结 论

通过对工业态AZ31B镁合金薄板在室温至400℃并以初始应变速率 $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 条件下进行了轴向拉伸实验,获得了以下结论:

1)室温下AZ31B镁合金薄板的具有较高的强度和较好的塑性;随着温度的升高,塑性增加,并呈现出低温超塑性特征或高应变速率超塑性。在400℃以初始应变速率 $1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 轴向拉伸时,其延伸率达到191%。

2)室温至100℃变形时,显微组织中出現少量孪晶;而200℃及以上变形时发生了动态再结晶。

参考文献:

- [1] MORDIKE B L, EBERT T. Magnesium properties-applications-potential [J]. *Materials Science and Engineering A*, 2001, 302, 37-45.
- [2] K. H. 马图哈. 非铁合金的结构与性能[M]. 丁道云译. 北京: 科学出版社, 1999.
- [3] 闰蕴琪, 陈琦, 翁文凭, 等. AZ31合金板材的显微组织、拉伸性能与冲压工艺探索[J]. *稀有金属材料与工程*, 2008, 37(4), 670-673.
- YAN YUN-QI, CHEN QI, WENG WEN-PING, et al. Investigations on microstructures evolution, tensile mechanical properties and stamping process of AZ31 alloy sheets [J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2008, 37(4), 670-673.
- [4] 周珂, 于彦东. 镁合金AZ31轧制板材的单向拉伸行为[J]. *轻合金加工技术*, 2007, 35(1), 49-51.
- ZHOU KE, YU YAN DONG. Uniaxial tensile behavior of AZ31 magnesium alloy rolling sheet [J]. *Light Alloy Fabrication Technology*, 2007, 35(1), 49-51.
- [5] HENG, Y Q, ZHANG H, CHEN, Z H, et al. Flow stress equation of AZ31 magnesium alloy sheet during warm tensile deformation [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, 208: 29-34.
- [6] JÄGER A, LUKÁČ P, GÄRTNEROVÁ V, et al. Tensile properties of hot rolled AZ31 Mg alloy sheets at

elevated temperatures [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2004, 378: 184-187.

- [7] 张青来, 卢晨, 朱燕萍, 等. 轧制方式对AZ31镁合金薄板组织和性能的影响[J]. *中国有色金属学报*, 2004, 14(3): 391-397.
- ZHANG QING-LAI, LU CHEN, ZHU YAN-PING, et al. Effect of rolling method on microstructure and properties of AZ31 magnesium alloy thin sheet [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2004, 14(3): 391-397.
- [8] HINO Y, SASSA K, KAMIYA A, et al. Microstructure and press formability of a cross-rolled magnesium alloy sheet [J]. *Materials Letters*, 2007, 61: 1504-1506.
- [9] HUANG X S, SUZUKI K, WATAZU A, et al. Mechanical properties of Mg-Al-Zn alloy with a tilted basal texture obtained by differential speed rolling [J]. *Materials Science and Engineering A*, 2008, 488: 214-220.
- [10] XIA W J, CHEN Z H, CHEN D, et al. Microstructure and mechanical properties of AZ31 magnesium alloy sheets produced by differential speed rolling [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, 209: 26-31.
- [11] CHANG L L, WANG Y N, ZHAO X, et al. Microstructure and mechanical properties in an AZ31 magnesium alloy sheet fabricated by asymmetric hot extrusion [J]. *Materials Science and Engineering A*, 2008, 496: 512-516.
- [12] 李章刚, 张士宏. AZ31B镁合金挤压板材单向拉伸的取向演变研究[J]. *塑性工程学报*, 2008, 15(3): 37-41.
- LI ZHANG-GANG, ZHANG SHI-HONG. An experimental study on grain orientation evolution of Mg alloy extruded sheet AZ31B during uniaxial tensile deformation [J]. *Journal of Plasticity Engineering*, 2008, 15(3): 37-41.
- [13] LIANG S J, LIU Z Y, WANG E D. Microstructure and mechanical properties of Mg-Al-Zn alloy sheet fabricated by cold extrusion [J]. *Materials Letters*, 2008, 62: 4009-4011.
- [14] ONO N, NOWAK R, MIURA S. Effect of deformation temperature on Hall-Petch relationship registered for polycrystalline magnesium [J]. *Materials Letters*, 2003, 58: 39-43.
- [15] KOIKE J, KOBAYASHI T, MUKAI T, et al. The activity of non-basal slip systems and dynamic recovery at room temperature in fine-grained AZ31B magnesium alloys [J]. *Acta Materialia*, 2003, 51: 2055-2065.

(编辑 陈移峰)