

文章编号:1673-9981(2009)04-0264-05

AZ31 镁合金轧制板材冲压性能的研究

张文玉¹, 陈振华²

(1. 湖南工学院机械工程系, 湖南 衡阳 421002; 2. 湖南大学材料科学与工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 通过在不同温度下分别沿轧向、45°方向及横向进行了单向拉伸试验, 且对 AZ31 镁合金轧制板材的冲压性能进行了研究. 结果表明, 随着变形温度的升高, 板材抗拉强度和屈服强度下降, 断裂伸长率提高, 应变硬化指数和塑性应变比降低, 拉深性能得到改善; 变形温度高于 200℃时, 板材的冲压性能得到改善, 轧制方向上其屈强比为 0.876, 应变硬化指数为 0.158, 塑性应变比为 1.307.

关键词: AZ31 镁合金板材; 变形温度; 显微组织; 冲压性能

中图分类号: TG146.22; TG115.52 **文献标识码:** A

镁合金作为一种最轻的金属结构材料, 具有独特的优点, 得到越来越广泛地应用, 但镁的晶体结构为密排六方型, 塑性变形能力较差^[1-2], 从而限制了镁合金的应用. 镁合金在常温下很难成形, 随着温度的升高, 合金的活动滑移面增加, 塑性提高, 这为镁合金板料的热成形提供了可能^[3-5]. 所以, 为了扩大镁合金板材的应用范围, 对其冲压性能进行研究, 是镁合金研究的重点之一.

本文在不同温度下对 AZ31 镁合金轧制板材分别沿轧向(0°)、45°及横向(90°)方向进行单向拉伸试验, 并对其冲压性能进行研究, 为变形镁合金塑性变形行为的研究、冲压成形工艺的开发提供试验依据.

1 试验部分

1.1 材 料

试验所用材料为 AZ31 镁合金轧制板材, 其经铸造—挤压—交叉轧制工艺制得, 合金的名义化学成分为 Mg-3Al-0.8Zn-0.4Mn. 取初始板材挤压方向为轧制方向, 分别沿与轧制方向成 0°, 45°及 90°方向取拉伸试样, 拉伸试样按照 GB/T4338-1995 中规定的方法截取.

1.2 方 法

用浸蚀剂对拉伸试样进行处理, 其组成为 5 g 苦味酸+5 g 冰醋酸+10 mL 蒸馏水+80 mL 无水乙醇, 用 XJL-03 型金相显微镜对轧制板材的金相组织进行分析; 在 WDW-E200 微机万能试验机上进行高温拉伸试验, 温度分别为 150℃, 200℃, 250℃, 300℃, 350℃及 400℃, 温差控制在±5℃以内, 保温时间约 20 min, 试样标距部分的尺寸为 15 mm×3.5 mm, 拉伸速度 $v=2$ mm/min, 根据 GB5028-85 和 GB5027-85, 对 AZ31 镁合金板材的拉伸应变硬化指数 n 及塑性应变比 r 进行测定计算, 其中测量 r 时应变量为 12%.

2 结果与讨论

2.1 金相组织分析

图 1 为 AZ31 镁合金轧制板材的金相组织. 从图 1 可以看出, 板材的晶粒组织较细小, 部分晶粒为等轴晶, 平均晶粒尺寸约为 10 μm. 表明轧制板材发生了动态再结晶, 形成了大量的细小晶粒.

收稿日期: 收稿日期: 2009-09-16

作者简介: 张文玉(1967—), 湖南攸县人, 硕士, 副教授.

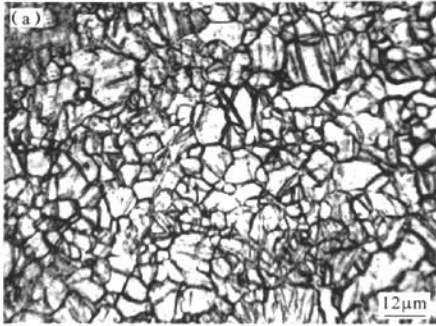


图1 AZ31 镁合金轧制板材微观组织

Fig.1 Microstructure of AZ31 Mg alloy rolling sheets

2.2 AZ31 镁合金轧制板材的单向拉伸曲线

图2为不同拉伸温度下镁合金轧制板材的应力-位移曲线。从图2可以看出,在不同拉伸温度下合金的拉伸曲线呈现出较宽的波动。这是因为在高温拉伸变形过程中,板材不断产生加工硬化和动态回复,两者交替进行,从而使拉伸曲线变宽,且这种趋势随温度的升高而加剧。同时从图2还可看出,当拉伸温度超过300℃时,拉伸曲线没有明显的硬化阶段,在板材达到屈服点后,随即达到最大强度。这表明在温度较高时,板材变形时的硬化能力减弱,由高温导致的动态回复引起的软化处于主导地位。

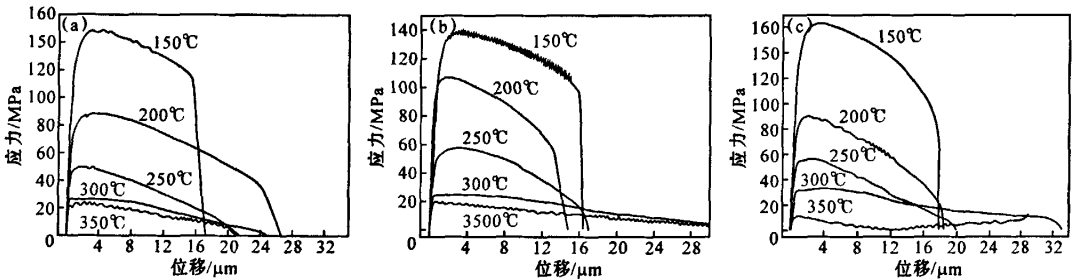


图2 沿不同方向 AZ31 镁合金板材的应力-位移曲线

Fig.2 Stress-displacement curves of AZ31 Mg alloy sheets in various directions

(a)0°; (b)45°; (c)90°

2.3 AZ31 镁合金的屈服强度及屈强比

在冲压过程中板材屈服强度小则材料容易屈服,成形后回弹小,贴模性及定形性较好。此外,屈服强度对零件表面质量也有影响。如果板材的拉伸曲线不连续而在屈服阶段出现台阶,且台阶长度较大,则经过屈服伸长后,板材表面就会出现明显的滑移线痕迹而导致零件外观粗糙。

图3为沿不同方向 AZ31 镁合金板的屈服强度随温度变化的曲线。从图3可见,随着温度的升高, AZ31 镁合金板材沿各方向的屈服强度均降低,其平均屈服强度由 150℃时的 127.6 MPa 降低至 400℃时的 9.3 MPa。这表明,随温度的升高,板材更容易发生塑性变形,有利于降低成形后的回弹,从而提高成形件尺寸的精度,减少后续的精整工序。

图4为镁合金板材的屈强比 σ_s/σ_b 随温度变化的曲线。在板材冲压过程中,屈强比 σ_s/σ_b 对板材冲压成形性能影响较大。从图4可以看出,沿不同方向

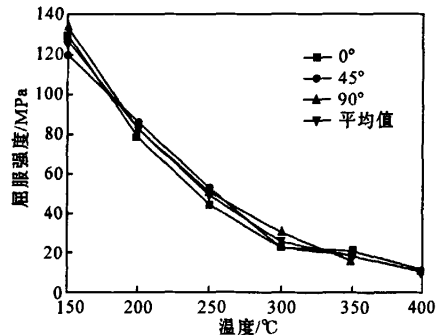


图3 AZ31 镁合金板材屈服强度与温度的关系

Fig.3 Relations between yield Strength and temperature of AZ31 Mg alloy sheets

AZ31 镁合金板材的屈强比 σ_s/σ_b 随温度的升高先增加后降低;轧制方向上(0°)的屈强比 σ_s/σ_b 由 150℃时的 0.861 增加至 200℃时的 0.876;平均屈服比 σ_s/σ_b 由 150℃时的 0.847 增加至 200℃时的

0.895,当温度为 300℃ 时,平均屈服比 σ_s/σ_b 为 0.891,随着温度的继续升高,屈服比 σ_s/σ_b 急剧减小.这种呈“M”形变化的趋势表明,温度对 AZ31 镁合金板材屈服比 σ_s/σ_b 的影响比较复杂.所以,在考虑屈服比 σ_s/σ_b 对拉深性能的影响时,应该合理地选择拉深成形温度区间,以得到最有利于拉深成形的屈服比 σ_s/σ_b .根据屈服比 σ_s/σ_b 小,板材达到最大强度的塑性变形阶段长,有利于冲压成形的原则,可选择较低温度 $t < 150^\circ\text{C}$ 或较高温度 $t > 300^\circ\text{C}$ 下进行冲压成形,但由前面的分析又可知,温度过低或过高均不利于 AZ31 镁合金板材的成形.所以,综合上述分析,在温度为 200℃ 左右时进行拉深,比较有利于板材的拉深成形.

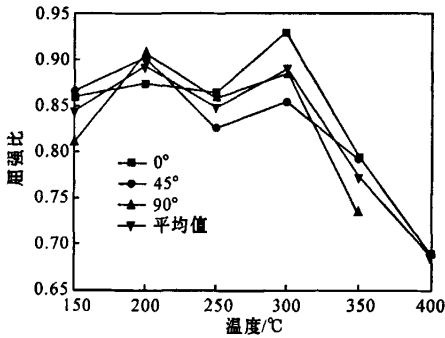


图4 AZ31 镁合金板材屈服比与温度的关系

Fig. 4 Relations between yield ratio and temperature of AZ31 Mg alloy sheets

2.4 AZ31 镁合金的断裂伸长率

一般来讲,板材的伸长率较大,其塑性变形稳定性较大,不易产生局部的过大变形而导致板材的破裂.图5为 AZ31 镁合金板材在不同温度下断裂伸长率 δ 随温度变化的曲线.从图5可见,AZ31 镁合金板材的断裂延伸率 δ 随温度的升高,基本呈线性增加,其平均断裂伸长率 δ 由 150℃ 时的 43.8% 增长至 400℃ 时的 109%.这表明,温度对 AZ31 镁合金板材断裂伸长率 δ 的影响显著.所以,在拉深成形过程中选择较高的拉深温度,能提高 AZ31 镁合金板材的断裂伸长率 δ ,对拉深成形有利.试验中发现,断裂伸长率 δ 沿 45° 及 90° 方向在 150℃ 和 350℃ 时出现波动的现象.这是因为影响板材断裂伸长率 δ 的因素较多,除了板材固有的杂质、孔洞等缺陷外,拉伸过程中试样的装夹、温度控制的精度等都会

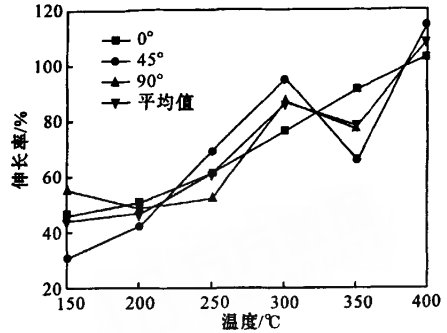


图5 AZ31 镁合金板材断裂伸长率与温度的关系

Fig. 5 Relations between break elongation and temperature of AZ31 Mg alloy sheets

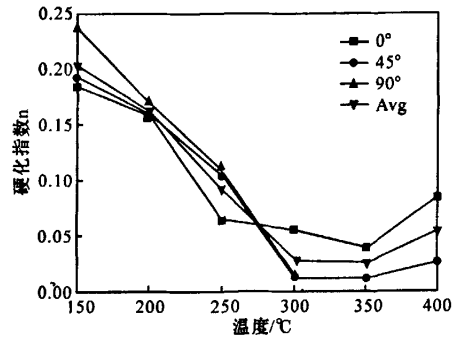


图6 AZ31 镁合金板材应变硬化指数 n 与温度的关系

Fig. 6 Relations between n and temperature of AZ31 Mg alloy sheets

对其产生一定的影响.Fuh-Kuo Chen 等人^[6]的研究结果也证实,AZ31 镁合金板材的断裂伸长率 δ 随温度的升高呈线性增加.

2.5 AZ31 镁合金应变硬化指数及塑性应变比

由于应变硬化指数 n 反映了板材变形过程中变形的硬化能力,即 n 值高的板材抵抗缩颈的能力高,均匀变形阶段长.因此,在冲压过程中为了获得优良的冲压性能,通常希望板材的 n 值尽可能的大.对于镁合金而言,随着温度的升高 n 值减小^[7].但影响镁合金板材 n 值的因素目前还不十分清楚,有研究表明^[8], n 值与板材的热处理温度有关.

图6为 AZ31 镁合金板材在不同温度下应变硬化指数 n 随温度变化的曲线.由图6可知,随着温度的升高,AZ31 镁合金板材的 n 值逐渐减小.在轧制方向(0°)上,当温度为 150℃ 时 n 值为 0.185,200

℃时为0.158,而在250℃时 n 值已减小为0.064,至350℃时降低为0.038,其平均值也由150℃时的0.205降低至350℃时的0.025.这表明,随着温度的升高,尤其当变形温度高于200℃时,就 n 值而言,不利于AZ31镁合金板材冲压性能的提高.从图6还可以看出,总体上 $n < 0.25$,这说明试验所用AZ31镁合金板材的 n 值较小.由于 n 值的测定对试验精度要求较高,在试验过程中容易出现误差,因此,在400℃左右时 n 值出现一定的反弹升高,是由试验误差所致.Yoshihara^[9]等人的研究结果也证实,对于AZ31镁合金板材,当温度为150~400℃时 n 值随温度的升高而线性降低.

塑性应变比 r 反映薄板在成形过程中抵抗变薄或变厚的能力, r 值对拉深成形性能影响很大. r 值大,板材在平面方向易发生变形,而径向不容易起皱且拉深力小,传力区不容易拉裂,有利于板材的拉深成形.制耳参数反映了板材在平面各方向的塑性各向异性,板材的塑性平面各向异性常会使拉深件口部出现制耳,而制耳的大小及位置与 Δr 有关,它随角度的变化而变化,与 r 值的变化是一致的.在 r 值较低的方向,板材变厚,故筒壁高度较低;在 r 值高的方向,板材厚度变化不大,故筒壁高度较高.当 $\Delta r > 0$ 时,制耳在0°和90°处出现;当 $\Delta r < 0$ 时,制耳在±45°处出现;若 Δr 过大高于 r 值,对LDR的有利影响便消失了^[10].所以,冲压后制品如产生制耳,必须切除,这样不仅增加了金属的损耗及切边工序,而且还会因各向异性使冲压件产生壁厚不均,影响生产效率及产品质量.

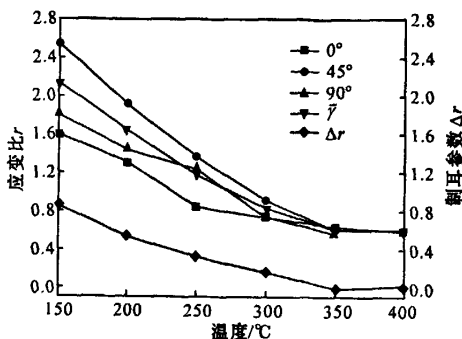


图7 AZ31镁合金板材 r 值与温度的关系

Fig.7 Relations between r and sample orientation of AZ31 Mg alloy sheets

图7为镁合金板材塑性应变比 r 随温度变化的曲线.从图7可见,在轧制方向(0°)上,150℃时 r 值为1.598,200℃时为1.307,300℃时为0.737;随温度的升高AZ31镁合金板材的制耳参数递减,由150℃时的0.858减小至300℃时的0.170.这表明,温度升高,有利于板材朝各方向均匀地变形,从而降低拉深件的制耳高度,这有利于提高拉深件的LDR及成形质量,减少材料修边的余量,提高材料的利用率.

3 结论

- (1) 经轧制后板材的晶粒组织较细小,部分为等轴晶,平均晶粒尺寸在10 μm以下.
- (2) 随着变形温度的升高,板材抗拉强度和屈服强度下降,断裂延伸率提高,应变硬化指数和塑性应变比降低,拉深性能得到改善.
- (3) 变形温度高于200℃时,板材的冲压性能得到改善,轧制方向上其屈强比为0.876,应变硬化指数为0.158,塑性应变比为1.307.

参考文献:

- [1] 余琨,黎文献,王日初,等.变形镁合金的研究、开发及应用[J].中国有色金属学报,2003,13(2):277-288.
- [2] 陈振华,严红革,陈吉华,等.镁合金[M].北京:化学工业出版社,2004:19-20.
- [3] KOIKE J, OHYAMA R, KOBAYASHI T, et al. Grain boundary sliding in AZ31 magnesium alloys at room temperature to 523K[J]. Materials Transactions, 2003, 44(4):445-451.
- [4] AGNEW S R, ÖZGÜR D. Plastic anisotropy and the role of non-basal slip in magnesium alloy AZ31B[J]. International Journal of Plasticity, 2005, 21:1161-1193.
- [5] AGNEW S R, TOMÉ C N, BROWN D W, et al. Study of slip mechanisms in a magnesium alloy by neutron diffraction and modeling [J]. Scripta Materialia, 2003, 48: 1003-1008.
- [6] CHEN F K, HUANG T B, CHANG C K. Deep drawing of square cups with magnesium alloy AZ31 sheets[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2003, 43:1553-1559.
- [7] 轻金属協會, マグネシウム委員会. マグネシウム合金展伸材の標準性質の測定研究[M]. 东京:轻金属協會, 1961:657.
- [8] 田浩彬, 康达昌. 板料 n 值测量方法的研究[J]. 塑性工

程学报, 2003, 110(11), 36-39.

- [9] YOSHIHARA S, YAMAMOTO H, MANABE K. Formability enhancement in magnesium alloy deep drawing by local heating and cooling technique[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, 143/144: 612-615.

- [10] KAISER F, BOHLEN J. Correlation of microstructure and mechanical properties of polled magnesium sheet AZ31[C]//*Proceedings of the 6th International Conference in Magnesium Alloy and Their Application*. Weinheim: Wiley-VCH, 2004: 456-462.

Research on the drawability of AZ31 magnesium alloy rolling sheet

ZHANG Wen-yu¹, CHEN Zhen-hua²

(1. *Department of Mechanical Engineering, Hunan Institute of Technology, Hengyang 421002, China;*

2. *School of Material Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China*)

Abstract: Drawabilities of AZ31 magnesium alloy rolling sheet were studied by using the simple tension test at different temperature along the orientation of rolls, 45° and traverse. The results showed that both the tensile strength and yield strength decreased and the break elongation ratio increased as the deformation temperature rose, and also the strain-hardening exponent and the plastic strain ratio reduced and the drawing performance was improved as well. When the temperature is higher than 200 °C, the tensile ratio, the strain hardening exponent and the plastic strain ratio are up to 0.876, 0.158 and 1.307 respectively in the rolling direction.

Key words: AZ31 magnesium alloy sheet; deforming temperature; microstructure; drawability

(上接第 263 页)

- [2] 赵浩峰, 池成忠. 镁合金及复合材料[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003: 3.
- [3] 陈彬, 林栋, 曾小勤, 等. AZ31 镁合金大压下率轧制的研究[J]. *锻压技术*, 2006(3): 1-3.
- [4] 汪凌云, 黄光杰, 陈林, 等. 镁合金板材轧制工艺及组织性能分析[J]. *稀有金属材料与工程*, 2007, 36(5):

910-914.

- [5] 陈刚, 范培耕, 彭晓东. Sr 对 AZ91 镁合金的组织性能的影响[J]. *轻合金加工技术*, 2008, 36(8): 15-18.
- [6] 王慧源, 刘生发, 徐萍. 铈在镁及其合金中的作用[J]. *铸造*, 2005, 54(11): 1221-1224.
- [7] 王俊隆. 合金化元素对弹性模量的影响[J]. *稀有金属*, 1979(4): 1-10.

Research on the mechanical properties of magnesium-manganese-strontium alloy

ZHAO Hao-feng^{1,2}, WANG Ling^{1,2}, SUN Lei¹, ZHANG Shuai¹, YAN Kai¹, LI Qing-fang², LIU Men-yin¹

(1. *Amorphous and Advanced Composite Lab, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing*

210044, China; 2. *Department of Materials, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing* 210044, China)

Abstract: The effect of element Sr on the mechanical properties of Mg-Mn based alloy was investigated using the tensile test. The test results showed that the grains in microstructure of Mg-Mn-Pb alloy were refined with the addition of element Sr and the tensile strength and toughness of the alloy increased as well, while the elastic modulus of the alloy decreased.

Key words: magnesium alloys; mechanical properties; Sr