

# 热变形参数对镁合金力学性能及微观组织的影响

刘婵楨

(重庆医科大学附属第一医院信息中心,重庆 400016)

**文 摘** 基于热模拟机 GLEEBLE1500,以 AZ31 为研究对象进行热压缩实验,获得材料的应力-应变曲线。用金相显微镜对不同温度及应变速率下的金相进行观察分析,并对比分析热压缩前后的微观组织。同时分析了不同温度及应变速率下材料的力学行为,其行为属于典型的动态再结晶型。当热压缩温度为 350℃ 和 400℃ 时,材料强度随应变速率增大而增大,且加工硬化也增大。当应变速率为 0.01 和 0.1/s 时,随着变形温度的升高,材料的应力逐渐降低。在不同温度下,应变速率为 0.01/s 时的应力比应变速率为 0.1/s 时的应力要低。

**关键词** AZ31,热变形行为,微观组织,应变速率,变形温度

中图分类号: TG476.2

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.05.010

## Effect of Thermal Deformation Parameters on Mechanical Properties and Microstructure of AZ31

LIU Chanzhen

(Information Center, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016)

**Abstract** AZ31 was as the research object based on thermal simulator Gleeble1500 under the conditions of hot compression experiment to obtain material stress-strain curve. Under different temperature and strain rate, using metallographic microscope analysis of metallographic observation was condensate, and comparative analysis of the microstructure before and after compression was nerforel. At the same time the mechanical behavior of materials under different temperature and strain rate was analyzed, its behavior belongs to the typical type of dynamic recrystallization. When hot compress temperature is 350℃ and 400℃, material strength increases with the strain rate, and strain hardening is also increased. When the strain rate is 0.01/s and 0.1/s, with the increase of deformation temperature and stress of the material is gradually reduced. Compared with strain rate of 0.01/s, the stress with strain rate of 0.1/s is lower under different temperature.

**Key words** AZ31, Hot deformation behavior, Microstructure, Strain rate, Deformation temperature

### 0 引言

镁合金具有强度高、质量轻、尺寸稳定性高等优点<sup>[1-2]</sup>,使其广泛应用于生活的各个方面。很多学者对此材料做了相关研究。张浩<sup>[3]</sup>研究了时效处理工艺对等温模锻件的组织和性能的影响规律;张华、林三宝等<sup>[4]</sup>对 AZ31 镁合金搅拌摩擦焊接的过程进行了有限元分析;韩修柱<sup>[5]</sup>基于 DEFORM 软件研究了镁合金等温锻造工艺。

镁合金的高温变形抗力与温度及应变速率关系密切,对其高温力学性能的研究有助于分析材料的高温成形时的加载力并为其成形工艺参数提供了充分

的依据。本文基于 AZ31 材料,采用 Gleeble1500 热模拟实验机在不同参数条件下进行热压缩试验,探索了热压缩参数对其热力学性能以及微观组织的影响并基于实验数据进行了详细分析。

### 1 实验

#### 1.1 材料

铸态镁合金 AZ31,进行时效热处理,放在 350℃ 下保温 14 h。其主要成分见表 1。从图 1 中可以看出, AZ31 经过热处理后其微观组织中出现了明显枝晶,这是因为 Zn 元素主要以固溶状态存在于  $\alpha$ -Mg 固溶体

收稿日期:2015-05-23

作者简介:刘婵楨,1985 年出生,助理工程师,硕士,主要从事医疗器械材料的研究及计算机技术。E-mail: 1813962472@qq.com

宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015 年 第 5 期

— 49 —

和二元 Mg-Al 相中,不形成新的化合物,热处理后可以消除内应力且微观组织相对比较均匀<sup>[6]</sup>。

表 1 AZ31 的成分  
Tab. 1 AZ31 composition wt%

Al	Zn	Mn	Fe	Si	Au	Ni
2.94	0.87	0.57	0.0027	0.00112	0.0008	0.0005



图 1 AZ31 热处理后的微观组织

Fig. 1 Microstructure after heat treatment

## 1.2 实验设备及工艺方案

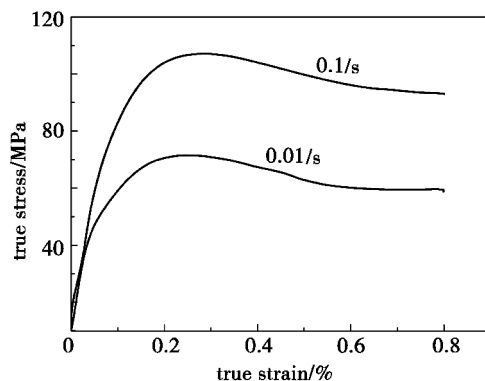
在 Gleeble-1500 热模拟机上实现试样的热压缩试验,实验步骤如下:(1)以 10℃/s 的速度对试样进行加热,并使其温度分别达到 350、400℃,且保温 3 min。为防止材料高温氧化,对试样的热压缩控制室进行真空处理,将电极丝通过焊接与试样接触,并使样件在标距范围内均匀加热,为避免摩擦力对实验产生影响,将试样的两端加涂石墨;(2)分别以 0.01 和 0.1/s 的应变速率将试样在各成形温度下进行热压缩并确保压缩率为 60%;(3)热压缩后进行水冷。实验结束后,将试样经打磨、抛光及腐蚀后,采用扫描显微镜对显微组织结构进行观察。

## 2 结果与讨论

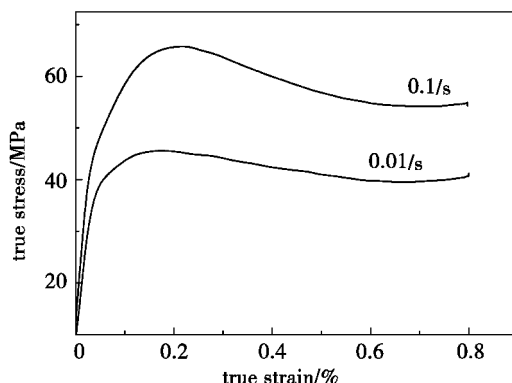
### 2.1 应变速率对应力—应变的影响

图 2 所表示的是 AZ31 在热压缩参数下的应力—应变曲线,其热压缩行为属动态再结晶型,即应力—应变曲线总现象是随着应变的增大,应力先随之增大,随着时间的推移,进入稳态阶段。

当材料的热压缩温度在 350℃ 时[图 2 (a)], $\dot{\epsilon} = 0.01/s$  与 0.1/s 相比,材料在单位时间内的变形量要小,故晶粒尺寸大。当温度达到 400℃ 时[图 2 (b)],其应力—应变曲线的表征与 350℃ 几乎一样。但是在变形结束时,随着压缩变形时间的增加,材料在外力作用下产生蠕变现象,从而使材料的应力—应变曲线出现了稍微上升趋势,这是因为材料高温压缩时,压缩时间对其力学性能也产生重要影响。



(a) 350℃



(b) 400℃

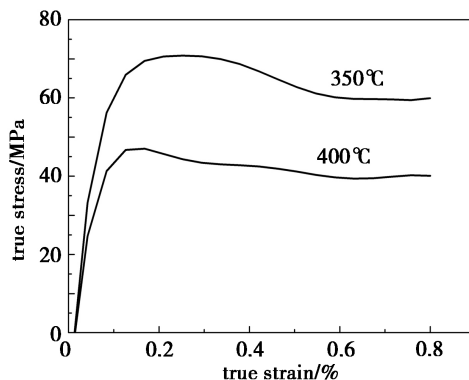
图 2 材料在同一温度不同应变速率下的应力—应变曲线

Fig. 2 True strain-stress curves of different strain rate at the same temperature

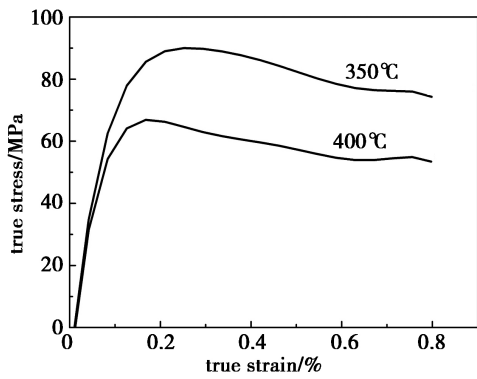
### 2.2 温度对应力—应变的影响

从图 3 可看出,温度对材料热力学行为的影响。在应变速率一定时,随着热压缩温度的升高其应力值降低。原因是在热成形过程,随着温度升高,材料的热激活作用明显增强,晶界间的切变抗力降低,晶间滑移行为变得容易进行。同时,随着温度升高,动态回复与动态再结晶现象也容易进行,这种现象将会抵消塑性变形中的加工硬化。

图 3(a)可知,材料在热压缩过程中发生塑性变形,材料的应力随温度的升高而降低,材料的强度将降低,这说明材料的力学性能受到温度的影响很大。



(a)  $\dot{\epsilon} = 0.01/s$

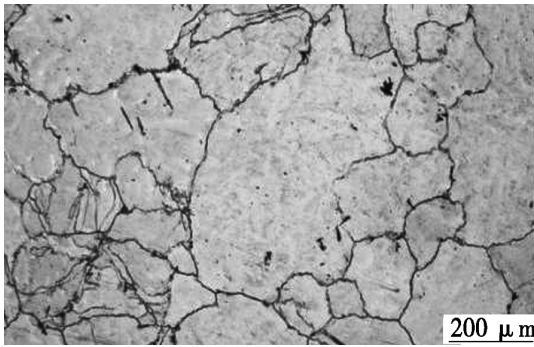


(b)  $\dot{\epsilon}=0.1/s$

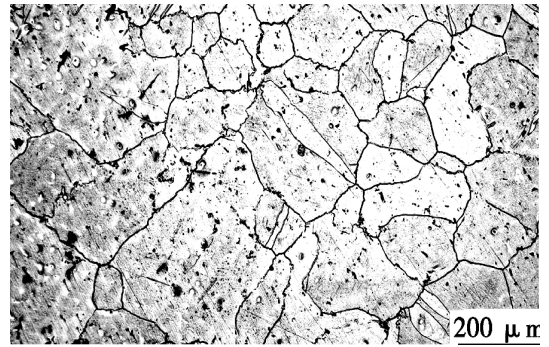
图3 材料在同一应变速率不同温度下的应力—应变曲线

Fig.3 True strain-stress curves of different temperature at the same strain rate

将图3(b)(a)进行对比可知,其应力应变曲线的表征几乎是一样的,但图3(b)中单位时间内的变



(a) 350°C



(b) 400°C

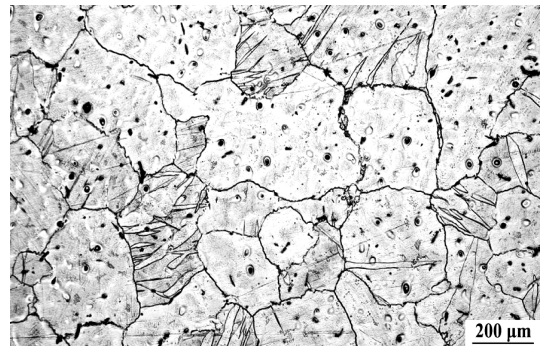
图4 当 $\dot{\epsilon}=0.01/s$ 时,材料在不同温度下的金相

Fig.4 Metallurgical materials at different temperatures

从图5可以看出,AZ31镁合金在变形温度为400°C,应变速率为0.1/s时进行热压缩,镁合金的晶粒分布较为均匀,但是材料的晶粒与变形温度在350°C下的相比较,材料的晶粒整体上要大。这主要是因为温度的升高,使原子的活动能力大大增强,使



(a) 350°C



(b) 400°C

图5 当 $\dot{\epsilon}=0.1/s$ 时,材料在不同温度下的金相

Fig.5 Metallurgical materials at different temperatures

形量大,流变应力相对较大。这是因为材料在热变形过程中,随之应变速率材料出现了明显的加工硬化现象,使得材料的强度增加。

### 2.3 热变形参数对材料金相的影响

为了观察不同热压缩参数下的镁合金微观组织,采用配制的腐蚀剂,其成分为10 mL 乙酸,4.2 g 苦味酸,10 mL 水,70 mL 乙醇(95%),将镁合金试样粗磨+精磨、腐蚀、微观组织观察并拍照。

从图4中可以看出,在相同的应变速率下,随着热压缩温度的升高,晶粒尺寸增大,但是温度在400°C时,材料的微观组织比较均匀。与图1相比,在热压缩变形后材料的微观组织中出现了孪生,与图5相比,随着应变速率的增大,孪生的效果更为明显,此时,动态再结晶的效果会变弱。材料350°C时还发生了滑移,使位错重新排列,在晶界的附近形成了小角度晶界,这是发生了连续的动力再结晶<sup>[5-6]</sup>。

在热压缩过程中动态再结晶比较容易进行。与图4相比,图5的应变速率增大,镁合金材料变形后的晶粒度有所下降,不是很明显。主要是因为热压缩过程中,在变形量一定的情况下,材料的变形时间减少,使该过程中的动态回复作用时间缩短,效果也减弱。

(下转第61页)