铸态 AZ31B 镁合金热压缩实验研究

孙付涛, 陈拂晓, 杨永顺, 陈 欢

(河南科技大学材料科学与工程学院,河南洛阳471003)

摘 要:研究了铸态 AZ31B 镁合金在温度 280~440 和应变速率 10³~10¹s¹ 范围内的变形规律。结果表明: 铸态 AZ31B 镁合金在高温下表现出较低的流变应力, 其真应力- 真应变曲线表现出明显的动态再结晶特征。再结晶 晶粒明显细化, 晶粒尺寸随着温度或 Z(Zener-Hollomon 常数) 值的下降而增大。在低应变速率下可以得到相对均匀 的变形组织。

关键词:铸态;动态再结晶;细化;Z常数 中图分类号:TG376.2 文献标识码:A 文章编号:1001-3814(2008)05-0026-03

Study of Hot Compression Experiment of As-cast AZ31B Magnesium Alloy SUN Futao, CHEN Fuxiao, YANG Yongshun, CHEN Huan

(School of Material and Engineering, He'nan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China) Abstract: The deformation law of as-cast AZ31B magnesium alloy at temperature 280 ~ 440 and strain rate 10³ ~ 10⁻¹s⁻¹ was investigated. The results indicate that the as-cast AZ31B exhibits low flow stress at high temperature, its flow stress curve showes the characters of dynamic recrystallisation. The grains of dynamic recrystallisation is obviously fine, and the mean size of recrystallisation grains increases with the decrease of temperature or value of Z (Zener-Hollomon parameter). The relative even grains could be gained at a low strain rate.

Key words: as-cast; dynamic recrystallisation; fine; Z parameter

镁合金材料以其质轻、抗震、高阻尼性、高导热 性、抗电磁干扰和易于回收利用等一系列明显性 能优势,日益受到汽车、电子通信、航空航天等领 域的青睐^[1]。近年来,随着人们环保和节能意识的 增强,镁合金的用途正逐步扩大。

由于镁为密排六方结构, 室温下塑性加工性 能差,目前大部分镁合金零件采用铸造成型,而采 用锻压、挤压、轧制等方法加工的镁制品很少,限 制了镁合金的应用范围^[2]。镁合金常温下易脆裂, 在 200 以上时,塑性明显提高;同时镁合金对应 变速率的敏感性很高,因此,在高温及低应变速率 下采用塑性加工方法制造镁制品存在可能。

铸坯塑性变形是近年发展起来的新工艺,该 工艺综合了铸造和塑性变形两种工艺的优点于一 体,同时达到了成形与改性的双重目的^[34]。对铸态 镁合金直接进行塑性加工可以得到微观组织和力 学性能良好的工件。因此,对铸态镁合金的压缩

26

作者简介:孙付涛(1983-),女,河南柘城人,在读硕士研究生,从事 镁合金塑性成形工艺研究; 电话:0379-64235954; E- mail: haiting1983@tom.com 性能进行实验研究可以为开发铸态镁合金加工工 艺提供参考。

1 实验条件及方法

实验材料采用铸态 AZ31B 镁合金,其主要成 分如表 1 所示。试样加工成 φ10 mm ×15 mm 的圆 柱体。压缩试验在 Gleeble-1500 热模拟实验机上进 行。压缩温度为 280~440 , 压缩速率为 10³~ 10⁻¹ s¹。进行压缩前以 5 /s 升至变形温度,保温 2min 消除试样内部温度梯度,在试样端面涂抹润 滑剂以减小摩擦力影响。压缩结束后,对试样进行 水冷,保留变形组织。压缩后的试样沿轴截面切 开,表面经研磨、抛光、腐蚀处理后,用金相显微镜 观察显微组织。

表 1 AZ31B 镁合金化学成分(质量分数,%) Tab.1 Chemical composition of AZ31B Mg alloy (wt%)

AI	Mn	Zn	Ca	Si	Cu	杂质	Mg
3.0 ~ 4.0	0.15 ~ 0.5	0.2 ~ 0.8	0.04	0.01	0.05	0.30	余量

2 实验结果与分析

2.1 流变应力特征

图 1 所示为 AZ31B 镁合金在等应变速率、不 同变形温度下压缩的应力应变曲线。从流变应力

收稿日期: 2007-08-27



曲线可以看出镁合金的流变应力对温度的变化很 敏感。镁合金在压缩变形初期表现出加工硬化,应 力迅速增加到一个峰值;随着应变增加,镁合金表 现出明显的软化特征,应力逐渐减小,最终达到稳 态流动。应力达到峰值后曲线趋势下降的原因是 镁合金在变形过程中发生了动态再结晶。镁合金 较之铝等金属具有低的层错堆垛能,因此在变形 初期容易发生动态再结晶,再结晶后晶粒得到细 化,流变应力下降。随着变形增加,镁合金的动态 再结晶软化大于加工硬化,流动应力逐渐达到一 个稳定值,曲线趋于平缓。

温度和应变速率对流变应力的影响可以用公 式^[57]表示为:

$A[sinh(\alpha\sigma)]^{n} = \dot{\varepsilon} exp(Q/RT) = Z$

式中:A,n,为与材料有关的常数,R为普适气体 常数,T为绝对温度,为流变应力,Q为变形激 活能, *i*为应变速率,Z为 Zener-Hollomon参数,其 物理意义是温度补偿的应变速率因子,因此,Q可 以表示为:

$$\mathsf{Q}=\mathsf{R}\Big[\frac{\partial\mathsf{ln}\mathsf{sinh}(\alpha\sigma)}{\partial(1/\mathsf{T})}\Big]_{\dot{\varepsilon}}\Big[\frac{\partial\mathsf{ln}\dot{\varepsilon}}{\partial\mathsf{ln}\mathsf{sinh}(\alpha\sigma)}\Big]_{\mathsf{T}}$$

根据实验数据,可以计算出Q的具体数值。此压 缩实验的平均Q值为156kJ/mol。而且,Insinh ()与 InZ之间的关系由图 2 所示,从图中可以 看出,两者之间表现出近似线性的关系。这说明 AZ31B 镁合金的变形是个热激活过程。



2.2 微观组织演化

2.2.1 温度对再结晶晶粒的影响

图 3 表示了 AZ31B 镁合金在同一应变速率 下,不同变形温度的金相显微组织。图 3(a)~3(c) 分别是应变速率为 10³/s 时在 280、360 和 440 下,应变 =0.7 时的金相照片。从图中可以看出, 随着温度的增高,动态再结晶进行的越来越充分。 可以看出,280 时,原始粗大晶粒已经得到了破 坏,垂直于压缩方向的晶界上出现了大量的细小 等轴晶粒,这时组织已经表现出了明显的动态再 结晶特征;当温度升至 360 时,大部分区域被细 小的晶粒覆盖,只能找到很少的原始粗大晶粒;而 440 时,几乎所有的晶粒都是发生动态再结晶 后形成的,已经找不到粗大的原始晶粒。另一方 面,再结晶晶粒大小随着温度的增高不断增大。当 温度为 280 时,再结晶晶粒约为 5 µm,温度增 至 360 时,晶粒增至 8 µm,温度继续增加到 440

时, 晶粒尺寸达到 14 μm 左右。这是由于温度 越高, 再结晶晶粒生长速度越快, 晶粒越粗大。图 4 给出了再结晶晶粒尺寸 d 与 Zener-Hollomon 参 数之间的关系。可以看出。随着 Z 参数的增加, 晶 粒尺寸逐渐减小。其值可以由下式计算得到:



图 3 *ɛ*=10³s⁻¹, *ɛ*=0.7 时不同温度的变形组织 Fig.3 Deformation microstructure at different temperature (*ɛ*=10³s⁻¹, *ɛ*=0.7)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net





2.2.2 变形量对再结晶晶粒的影响

在 360 下以应变速率 10²s¹ 进行不同变形 量的压缩试验,变形后的金相组织如图 5 所示。由 图 5(a)可以看出, 原始试样材料为铸态 AZ31B 镁 合金, 其晶粒粗大, 组织不均匀, 晶粒内部存在铸 造缺陷。当变形量为 0.2 时, 见图 5(b), 在原始粗 大晶粒周围, 出现了细小晶粒, 形成典型的"项链" 式动态再结晶结构。不过大部分的原始组织仍然 保留, 其内部有孪生的痕迹。应变达到 =0.4 时, 见图 5(c), 动态再结晶已经大量发生, 有些区域 的原始晶粒已经完全被消耗掉, 取代的是细小的 再结晶晶粒。许多初始晶界被拉长, 晶界变得比较 粗糙。图 5(d) 为 =0.7 时的金相组织。从图中可 以看出, 随着应变量的增加, 动态再结晶晶粒已经 覆盖了微观组织的大部分区域。基体面积大幅度 减小, 很多原始晶粒已被消耗掉, 仅可找到极少的 原始组织。晶粒得到了很大程度地细化, 组织均匀 致密, 可近似看作等轴晶组织。



图 5 360℃以应变速率 10² s⁻¹ 进行不同变形量压缩得到的组织 Fig.5 Microstructure of samples after compression at different deformation quantity (360 ℃, *é*=10² s⁻¹)

2.2.3 应变速率对再结晶晶粒的影响

图 6 为两个典型速率下变形后的金相照片。 从图中可以看出,在高应变速率下得到的动态再 结晶晶粒细小,但是原始晶粒消耗不多,仍有大量 的原始晶粒存在,组织不均匀。应变速率低时,得 到的晶粒尺寸稍大,动态再结晶进行的充分,可得 到致密均匀的组织。



(a) ἐ=10⁻¹s⁻¹, ε=0.7, T=360 °C
(b) ἐ=10⁻²s⁻¹, ε=0.7, T=360 °C
图 6 两个典型速率下变形后的金相照片
Fig.6 Microstructure of samples after deformation at different rates

由此可以看出,在一定条件下变形时,镁合金 经历了一个动态再结晶的过程,此过程具有一定 的规律,可以细化晶粒,降低变形抗力。因此,对铸 态镁合金进行塑性加工时,可以通过选取适当的 变形条件得到性能优良的制品。

3 结论

(1) 铸态镁合金在压缩变形中表现出动态再结 晶的特征, 流变应力随着温度的上升而下降, 应力正 弦函数的对数与 Z参数的对数具有近似线性关系。

(2)动态再结晶发生后,再结晶晶粒尺寸随着温度的降低而减小,晶粒尺寸与Z参数呈线性关系。

(3)随着应变的增加,动态再结晶作用增强, 变形组织得到细化,因此可以通过塑性加工获得 组织细小致密的工件。

参考文献:

- [1] 张士宏,许沂等,王忠堂,等.镁合金成形加工技术[J].世界科技 研究与发展,2002,(6):18-21.
- [2] 黎文献.镁及镁合金[M].长沙:中南大学出版社,2005. 5-17
- [3] 胡建国. 复合成形技术[J]. 锻压机械, 2002, (5): 39-41.
- [4] 胡建国. 复合成形技术[J]. 锻压机械, 2002, (5): 39-4.
- [5] McQueen H J, Myshlaev M, Sauerborn M, et al. Magnesium technology [M]. TMMMS: Warrendale, 2000.
- [6] Mwembela A, Konopleve, Mcqueen H J. Microstructural Development in Mg alloy AZ31 during hot working [J]. Scr. Mater.,1997, 37: 1789-1795.
- [7] Sellars C M. Modelling microstructural development during hot rolling[J]. Materials Science and technology. 1990, (6):1072-1081.