

文章编号:1000-582X(2005)12-0009-03

温度对镁合金铸锭压缩变形行为的影响*

曹韩学^{1,2}, 龙思远^{1,2}, 廖慧敏¹, 邓永涛¹

(1. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400030; 2. 重庆市镁合金材料工程技术研究中心, 重庆 400030)

摘要:论述了在不同温度下对 AM60B 镁合金铸锭单向压缩的塑性变形试验分析. 结果表明:室温下镁合金 AM60B 的变形能力有限, 在较小的变形量下即产生裂纹; 在 300~400 °C 范围内, AM60B 表现出良好的塑性, 且温度越高, 塑性越好; 经过压缩变形后, 试样硬度明显提高.

关键词:镁合金; AM60B; 塑性变形

中图分类号: TG151

文献标识码: A

镁晶体结构中原子以密排六方(HCP)的形式排列, 室温下只有一个滑移面和 3 个滑移方向, 延展性非常低, 不易进行塑性变形, 限制了镁合金材料的塑性成形能力. 因此, 要对镁合金进行塑性成形, 必须将镁锭预热到较高的温度, 在启动锥面滑移系和棱面滑移系以产生交滑移和位错攀移的同时, 为镁合金在变形过程中发生动态回复和动态再结晶创造条件, 获得足够的塑性变形和型腔的充填能力, 才能得到合格的塑性成形工件^[1-3].

AM 系列铸造镁合金具有一定的强度、较好的韧性以及良好的疲劳性能和耐蚀性能, 是汽车轮毂等受力部件的首选材料, 但其铸态强度及凝固组织疏松, 难以满足轮毂等受力部件服役环境对材料静态和动态机械性能的要求. 因此, 引入塑性变形来提高材料机械性能及内在质量是目前国内外研究的方向之一. 但目前 AM 系列铸造镁合金的塑性变形能力及其与温度、化学成分、原始组织状态、变形工艺参数间的关系尚不完全清楚, 有待进一步研究^[4-5].

研究拟通过对镁合金 AM60B 铸锭在不同温度下进行单向压缩实验, 考察铸态镁合金 AM60B 在不同温度下的压缩塑性变形能力.

1 实验准备

为了考察镁合金 AM60B 铸锭的塑性变形能力及其对温度的依赖关系, 本研究采用圆柱形铸锭等温压缩的实验方法, 即将压缩试样和实验装置同时加热到

300~400 °C 温区的选定温度, 以相同速度进行压缩, 通过测量镁合金 AM60B 在设定温度下的塑性量来确定 AM60B 的塑性变形能力与温度之间的关系, 并考察不同温度下压缩试样的硬度^[6].

采用金属型重力铸造的方法浇铸出直径为 $\phi 16$ mm 的圆柱形试棒, 切除浇口, 得到高径比为 1 的圆柱体试样. 压缩实验在材料万能实验机上进行. 压缩实验装置如图 1 所示. 该装置由加热器、压头、砧板组成. 实验过程中, 将预热试样放置到压头与砧板间, 匀速压下压头, 对铸锭进行恒温、匀速压缩变形.

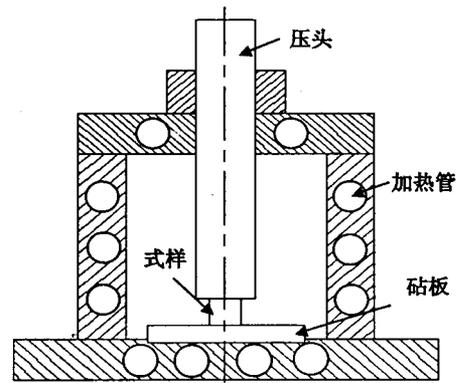


图 1 实验装置图

2 实验过程

2.1 试样加热

将第 1 批试样在加热炉中加热到 300 °C, 保温均热 10 min 后进行第 1 批压缩实验. 然后分别将每一批

* 收稿日期:2005-08-02

作者简介:曹韩学(1977-),男,广西凌云人,重庆大学博士,主要从事轻合金及其成形技术方面的研究.

试样缓慢升温到 325 °C、350 °C、375 °C、400 °C, 在每一个温度下保温 10 min 使试样均温。

2.2 实验装置的预热和压缩实验

将实验装置加热到与试样相同的温度(300 °C、325 °C、350 °C、375 °C、400 °C)并均温(加热过程中, 压头通过与砧板保持紧密接触而得到加温, 可获得与砧板同样的温度), 然后将加热后的试样从加热炉中取出, 迅速放入压头与砧板间, 然后关闭实验装置 2 min, 使试样与实验装置内的温度保持在所需的实验温度, 再以相同的压头压下速度(1 mm/min)和相同的最大压力(25 kN)进行压缩试验, 观察试样的变形情况。

2.3 实验记录

实验前, 分别记录每次实验的温度、试样编号、初始高度 H_0 、初始直径 D_0 等数据; 试验中, 用计算机采集试验中压下量、压力的变化情况; 实验后, 测量出试样的实际高度 H , 计算出 $\Delta H/H_0$, 表 1 是详细的实验记录。最后在产生最大变形的边缘部位观察有无变形裂纹, 并在截面上测量压缩变形后的硬度值。

表 1 实验数据

温度/°C	H_0 /mm	D_0 /mm	H /mm	$\Delta H/H_0$ /%	屈服力/kN
300	16.50	17.00	9.02	45.3	17.666
325	16.28	17.14	8.26	49.3	16.980
350	17.08	17.06	7.66	55.2	12.641
375	17.06	17.16	7.38	58.6	12.166
400	17.48	17.32	5.40	69.1	11.238

3 试验结果

3.1 试样外貌观察

图 2 是 AM60B 镁合金在不同温度下进行单向压缩后的试样图。

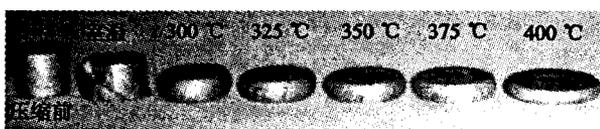


图 2 不同温度下压缩后的试样外观对比

从图 2 看出, AM60B 在室温下塑性变形能力很差, 在变形量很小时就产生剪切裂纹。在 300 ~ 400 °C 的温度范围, 可获得较大的塑性变形量。试样变形流动前沿都有微量鼓形产生, 无外缘裂纹。

3.2 变形率随温度的变化

图 3 为变形率与温度的关系。由图 3 可见, 变形率随着温度的升高而增大。在 300 ~ 400 °C 的温度范围内, 材料塑性变形能力随温度升高而改善; 当温度升高到 400 °C 时, 材料塑性变形率可达到 70% 以上。

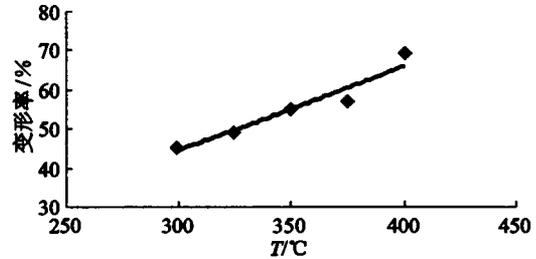


图 3 变形率与温度的关系

3.3 不同温度下变形负荷与时间关系

图 4 是在变形速率为 1 mm/min、不同温度下, 负荷与时间的变化曲线。为了更清楚地看出负荷与时间的变化关系, 现选出 300 °C、400 °C 2 条曲线进行分析。

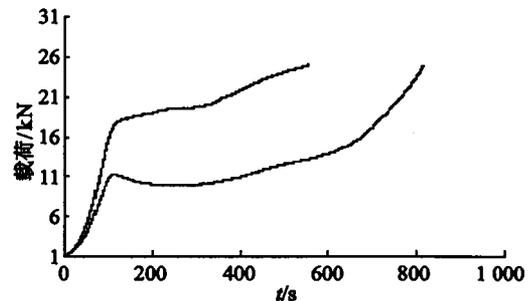


图 4 不同温度下“下压时间与载荷关系”曲线

如图 4 所示, 在 300 °C 时, 负荷随时间不断增大, 达到屈服点后增加的速度趋缓, 没有下降趋势。

在 400 °C 时, 变形曲线发生明显变化, 主要表现在: 负荷达到峰值(屈服点)后, 开始下降, 最后达到平稳状态, 并在此状态下产生塑性变形, 60 min 以后, 加工硬化增加显著, 塑性变形基本结束, 负荷迅速增加到设定最大值。

另外, 图 4 还表明, 随着温度的不断升高, 试样的最大屈服力(屈服点)不断降低, 同时, 试样的压缩弹性模量不断减小。

3.4 不同温度压缩试样的硬度比较

压缩后试样的硬度与变形温度的关系。如图 5 所示, 与铸态硬度(53.3 HB)相比, 试样经压缩变形后因加工硬化, 硬度上升到 61 ~ 73.5 HB, 提高幅度为 12% ~ 35%。

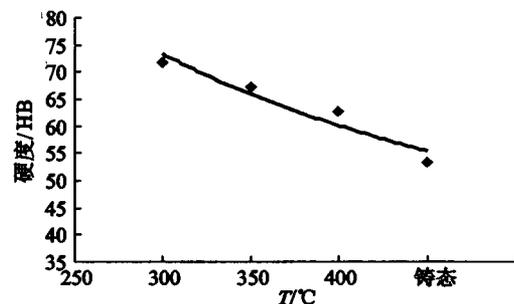


图 5 硬度与变形温度关系

4 结果分析

众所周知,金属在高温下进行塑性变形,在产生加工硬化的同时,还伴随着动态回复和动态再结晶的产生,加工硬化与动态回复和动态再结晶共同影响着金属的塑性变形行为. AM60B 镁合金的高温塑性变形同样受到加工硬化与动态回复和动态再结晶的共同影响.

图3和图4显示,变形温度对变形率以及变形负荷有明显影响,具体表现为:随着变形温度的升高,变形率逐渐增大,塑性也越来越好,同时变形负荷越小. 这一现象可以由以下几个方面来解释^[7-8]:

4.1 发生了动态回复和动态再结晶

动态回复使变形镁合金得到一定程度的软化,动态再结晶则更大程度地消除了加工硬化效应. 随着温度的升高,镁合金的动态回复和动态再结晶也越充分,从而使其塑性显著提高.

300 °C时,AM60B 镁合金铸锭在整个变形过程中的加工硬化效果大于由温度上升引起的软化效果,所以材料屈服后无软化现象;当变形温度升高到400 °C时,当材料屈服后,金属中发生明显的动态回复和动态再结晶,软化的作用大于硬化的作用,于是曲线有所下降,塑性变形加快,并保持比较平稳的塑性变形过程;当动态再结晶基本结束后(变形时间为60 min左右),变形难度增加,此时加工硬化又开始大于由温度上升引起的软化效果,变形负荷也急剧增大,直到设定最大值.

镁合金试样在塑性变形后,其位错密度将显著增加,从而还将引起硬度的增加(如图5,试样经压缩变形后硬度提高12%~35%). 但动态回复和再结晶的产生又会引起镁合金位错密度的降低,从而一定程度降低镁合金试样塑性变形后的硬度,动态回复和动态再结晶对镁合金塑性变形后位错密度的降低效果随着温度的升高而增大. 在300 °C时,由动态回复和动态再结晶引起的金属的位错密度减少有限,塑性变形产生的加工硬化效果更为明显,所以变形后式样的硬度较高(71.7 HB);随着变形温度的升高,试样产生了明显的动态回复和动态再结晶,金属的位错密度显著降低,由此所引起了更大的软化作用,使得变形后试样的硬度不断降低(如图5).

4.2 临界剪应力降低,滑移系增加

温度越高,原子的动能越大,原子间的结合力就越弱,也即临界剪应力越低. 对于镁合金来说,随着温度的升高,不同的滑移系临界剪应力降低的速度不同,将出现新的滑移系,使得塑性明显增加,同时变形负荷降低.

在图4中,随着温度的不断升高,试样的最大屈服力不断降低,就是由于镁合金在变形温度升高的过程中其临界剪应力降低,滑移系增加,从而引起变形抗力降低的缘故.

4.3 晶界滑动作用的加强

随着温度的升高,晶界切变抗力显著降低,使得晶界滑动易于进行,促使镁合金在高温下具有良好的塑性,并使其变形抗力降低.

5 结论

在不同温度下对AM60B 镁合金铸锭进行最大载荷为25 kN的单向压缩实验,结果表明:镁合金AM60B的室温变形能力较差,在较小的变形量下即产生剪切裂纹;在300~400 °C温度范围内,AM60B表现出良好的压缩塑性变形能力,温度越高,塑性变形能力越强,在400 °C时压缩变形率超过70%;压缩变形后,试样硬度值提高了12%~35%,变形温度越低,硬度提高幅度越大.

参考文献:

- [1] ANON. Precision Forging of Magnesium Wrought Alloys, Wire, 2002, v25, P 46 - 48 + 50 - 52. Forging[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2002, 42: 607 - 614.
- [2] MINGHETTI T, STEINHOFF K, NASTRAN M, et al. Advanced Forming Techniques for Magnesium Alloys[J]. Metallurgia Italiana, 2002, 94: 19 - 23.
- [3] ZHANG XIAN-HONG, RUAN XUE-YU, OSAKADA K. Forgeability of AZ31B Magnesium Alloy in Warm Forging[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition), 2003, 13: 632 - 635.
- [4] 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.
- [5] HATSUKANO KANICHI, MATSUZAKI KUNIO. Deformation Behavior and Forging of Magnesium Wrought Alloy[J]. Materials Science Forum, 2003. 426 - 432; 557 - 562.
- [6] OGAWA N, SHIOMI M, OSAKADA K. Forming Limit of Magnesium Alloy at Elevated Temperatures for Precision Forging[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2002, 42: 607 - 614.
- [7] 张娅,马春江,卢晨. 变形镁合金的塑性变形机制与动态再结晶[J]. 轻合金加工技术, 2003, 31(7): 35 - 39.
- [8] WILLIAM ALTENHOF, ANNA RACZY, MELISSA LAFRAMBOISE, et al. Numerical Simulation of AM50A Magnesium Alloy Under Large Deformation[J]. International Journal of Impact Engineering, 2004, 30: 117 - 142.

Modal Analysis and Optimization of Shaft

FU Dai-zhu^{1,2}, QIN Da-tong¹, WEI Zhi-guo², YANG Ya-lian¹, GONG Wei-lun²

(1. State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

2. Chongqing Tsingshan Industrial Company Ltd., Chongqing 402761, China)

Abstract: For a ISA HEV, the transmission gear shaft dynamic model is established and the 3-D modal analysis is carried out. Based on above work, the structure of the gear shaft is analysed, then the diameter of the gear shaft is taken as a design variable. With first order optimization, low inherent frequencies are optimized in order to avoid resonance and decrease NVH.

Key words: HEV; modal analysis; FEA; optimization

(编辑 张小强)

(上接第 18 页)

Influence of Temperatures on Compressive Deformation Behavior of Magnesium Casting Ingots

CAO Han-xue^{1,2}, LONG Si-yuan^{1,2}, LIAO Hui-min¹, DENG Yong-tao¹

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Chongqing Engineering Research Center for Magnesium Alloys, Chongqing 400030, China)

Abstract: The deformability of magnesium alloy AM60B is empirically investigated by compression AM60B casting ingots at different temperatures. It was found that AM60B is brittle at room temperature and prone to cracking during compression, while at the temperatures ranging from 300 to 400 °C it shows an excellent deformability. The higher compression temperatures are, the more excellent deformability will be. Subjected to the compression deformation, the hardness of the alloy increases significantly.

Key words: magnesium alloy; AM60B; plastic deformation

(编辑 成孝义)