

文章编号:1673-9981(2010)01-0048-04

# 大变形量挤压加工对 Mg-11Al-3Zn 组织及性能影响

郑晶, 马光, 王轶, 李银娥, 姜婷, 孙晓亮

(西北有色金属研究院, 陕西 西安 710016)

**摘要:**采用大变形量挤压工艺制备了高性能 Mg-11Al-3Zn 镁合金. 挤压变形可消除镁合金铸锭中的气孔、疏松和缩孔等缺陷; 经热挤压后, 晶粒显著细化, 由铸态的 120  $\mu\text{m}$  左右变为 30  $\mu\text{m}$  左右. 经挤压后合金的强度和塑性指标均有所提高.

**关键词:**镁合金; 大变形; 挤压加工

**中图分类号:** TG142

**文献标识码:** A

镁合金是最轻的工程金属材料之一, 具有很好的比强度、比刚度等性能, 特别适合制造有重量轻、强度高、减震降噪要求的工程结构部件和有一定强度要求的壳体类零件. 中国作为镁资源大国, 如何利用镁资源的优势正受到越来越多国内有识之士的关注. 随着镁合金及其相关技术的发展, 镁合金在中国各个领域的应用也得到了进一步的推广. 大变形量挤压加工是制备变形镁合金的一种重要方法. 尽管人们现在已经成功地生产出多种规格型号的镁合金产品, 包括不同型号的板、管、棒、型材等, 但目前国内外对镁合金大变形量挤压加工工艺的研究还处于起步阶段. 从可获得的文献来看, 目前的工作主要还集中在实验研究上, 系统的理论研究报道较少. 而制定合理的挤压加工工艺是镁合金挤压变形研究的重要内容<sup>[1]</sup>.

## 1 实验方法

在 300t 卧式挤压机上进行挤压实验, 挤压实验材料为 Mg-11Al-3Zn, 挤压筒直径为 90 mm, 模具内径为 15 mm, 挤压比为 36 : 1, 挤压速率为 0.8 mm/min. 实验中的挤压温度为 648 K, 预热时间为 150 min. 在 WDW3100 型微机控制电子万能试验机上测试抗拉强度和屈服强度, 拉伸速率为 2 mm/min. 分别对铸态、挤压态的试样取样观察金相, 对比合金在不同状态下、不同取样位置、不同观察角度下的晶

粒大小、沉淀相的数量和尺寸. 用 NEOPHOT-21 金相采集系统观察并照相. 用日本 JEOL 公司研制的 JSM-6700F 型扫描电镜观察拉伸试样断口.

## 2 结果与分析

### 2.1 金相组织

图 1 为 Mg-11Al-3Zn 合金铸态组织的金相照片. 铸态组织是由初生  $\alpha$ -Mg 相和晶界处出现的共晶相  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> 组成. 共晶相是由于非平衡凝固产生的.  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> 相形成网格状, 使镁合金的延伸率大大降低.

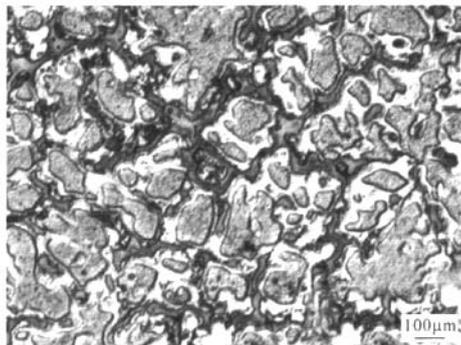


图 1 合金的铸态组织

Fig. 1 Microstructure of as-cast Mg-11Al-3Zn alloys

收稿日期: 2009-12-22

作者简介: 郑晶(1980-), 男, 浙江人, 工程师, 硕士.

图 2(a)、(b)分别是 Mg-11Al-3Zn 在挤压后横截面和纵切面的金相组织,图 2(c)是其 45°截面的金相组织.对比初始铸态组织可以发现:经热挤压后

晶粒明显细化,由铸态的 120 μm 左右变为 30 μm 左右,且沿着挤压方向形成明显的挤压组织,如图 2 (b)所示.

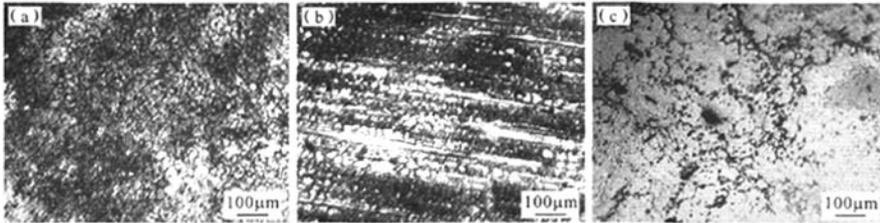


图 2 合金的挤压态显微组织

(a)横截面;(b)纵切面;(c)45°斜截面

Fig. 2 Microstructure of extruded Mg-11Al-3Zn alloys

(a) cross section;(b) longitudinal section;(c) 45°oblique section

## 2.2 力学性能

挤压可使镁合金的铸态组织得到较大改善,性能得到显著提高.表 1 列出了 Mg-11Al-3Zn 合金铸态与挤压态的力学性能.由表 1 可知,经挤压后合金的强度和塑性指标均有所提高.挤压变形程度越大,效果越明显,尤其是塑性指标的提高更为显著.

表 1 铸态及挤压态合金的力学性能比较

Table 1 Mechanical properties comparison of as-cast and extruded magnesium alloys

合金	加工状态	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈服强度 $\sigma_s$ /MPa	延伸率 $\delta$ /%
Mg-11Al-3Zn	挤压态	315.6	274.3	11.4
	铸态	178.9	124.7	4.5

## 2.3 断口分析

### 2.3.1 挤压棒材拉伸和冲击断口形貌分析

图 3 和图 4 分别是挤压态 Mg-11Al-3Zn 合金拉伸断口和冲击断口的 SEM 照片.对于挤压态镁合金,拉伸断裂处未发生明显的颈缩现象.拉伸断口除了存在大量的韧窝外,还可看到一些解理台阶和细小撕裂棱,表现为混合断裂特征.而冲击断口的韧窝数量明显减少,表现出准解理断裂的特征.

由于镁合金具有密排六方晶体结构,对称性差,室温滑移系少,只有一个滑移面{0001},滑移面上有三个密排方向<1120>、<2110>和<1210>,组成三个滑移系,塑性变形能力比面心和体心立方晶体都差,铸态试棒在轴向拉力的作用下,产生脆性解理断裂.而经过挤压的试样,柱状晶和粗大枝晶被破碎,使偏析均匀化;通过气孔的压合,使材料的致密度提高;在三向压应力作用下,铸造期间产生的缩孔和疏松可以得到焊合,使铸造缺陷大大减少,从而减少了裂纹源,所以力学性能得到显著提高.

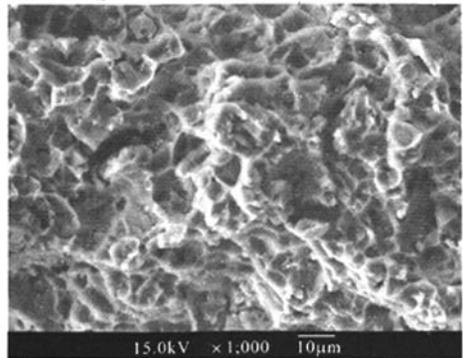


图 3 拉伸断口形貌

Fig. 3 Tensile fracture morphology of extruded Mg-11Al-3Zn alloys

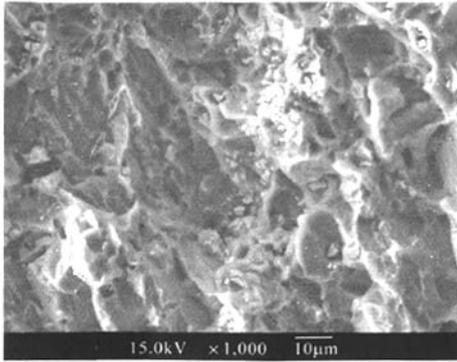


图4 冲击断口形貌

Fig. 4 Impact fracture morphology of extruded Mg-11Al-3Zn alloys

### 2.3.2 镁合金的拉伸断裂机制

金属材料的断裂过程大多是借助裂纹的萌生和扩展而发生的。对于不同的断裂类型,其机制与特征也不相同。材料的断裂类型根据其断裂分类方法的不同而有很多种。

对于多晶体金属材料,根据金属完全断裂前的总变形量(宏观变形量),可将断裂分为两大类:脆性断裂——断裂前几乎不产生显著的塑性变形;韧性断裂——断裂前发生显著的塑性变形。这种根据宏观总变形量划分断裂类型的方法只具有相对的意义。例如,同一种材料,在变形条件改变时(如应力、环境、温度等发生变化),其变形量也可能发生显著的变化<sup>[2]</sup>。又如,在宏观范围内是脆性断裂,但在局部范围内或微观区域却可能发生大量的集中变形。

依断裂路径的走向,金属材料的断裂可分为穿晶断裂和晶间断裂两类:穿晶断裂的特点是裂纹穿过晶粒内部,断裂可以是韧性的,也可以是脆性的;晶间断裂的特点是裂纹沿晶界扩展,如焊接热裂纹、蠕变断裂、应力腐蚀断裂等,一般都属于晶间断裂,晶间断裂多数属脆性断裂,但也有韧性断裂。

镁合金在单向拉伸载荷作用下发生断裂时,是以穿晶方式发生的。初始裂纹一般起源于粗大的析出相,特别是晶界处的析出相。析出相周围产生裂纹是因为其本身的脆性以及外加载荷在局部导致的应力集中所致。析出相的尺寸决定合金产生裂纹和裂纹扩展的能力,析出相越粗大,裂纹越容易产生和扩展<sup>[3]</sup>。

镁合金在高温下拉伸断裂后,其断口上遍布着韧窝,这一特征说明这些合金在拉伸载荷作用下发生的是韧性断裂。微孔形核长大和聚合是合金发生韧性断裂的主要过程。微孔是通过析出相质点本身碎裂或析出相与基体界面脱离而成核的,它们是合金在断裂前塑性变形进行到一定程度时产生的。在第二相质点处微孔成核的原因有:位错引起的应力集中,或高应变条件下因第二相与基体塑性变形不协调而产生分离。微孔形核长大和聚合在拉伸断口上留下的痕迹就是在扫描电子显微镜下观察到的大小不等的圆形或椭圆形韧窝。韧窝的大小(直径和深度)主要取决于第二相质点的大小和密度、基体的塑性变形能力以及形变强化指数等因素。

镁合金室温拉伸断口上除了表征韧性断裂特征的韧窝之外的那些解理台阶是通过二次解理和撕裂(剪切断裂)两种方式形成的,两个相互平行具有一定高度差的解理裂纹在扩展过程中通过二次解理或撕裂而连接形成台阶。有研究者指出,撕裂棱的产生通常需要交叉滑移的参与<sup>[4]</sup>。解理台阶的出现意味着合金的拉伸断口形貌具有脆性断裂的特征。

## 3 结论

挤压变形可消除 Mg-11Al-3Zn 合金铸锭中的气孔、疏松和缩孔等缺陷,显著地细化晶粒,从而提高和改善该合金的力学性能。经热挤压后, Mg-11Al-3Zn 合金的晶粒在沿着挤压方向形成明显的挤压织构。在挤压加工过程中,预热温度和时间、挤压比以及挤压速度的确定是一个复杂的过程,为了获得较好的挤压制品,需对上述工艺参数加以综合考虑并进行合理选择。挤压变形可消除镁合金铸锭中的气孔、疏松和缩孔等缺陷;经热挤压后,晶粒显著细化,由铸态的 120  $\mu\text{m}$  左右变为 30  $\mu\text{m}$  左右,且沿着挤压方向形成明显的挤压织构。经挤压后,合金的强度和塑性指标均有所提高。挤压态 Mg-11Al-3Zn 合金拉伸断口属于混合断裂,而冲击断口的断裂方式属于准解理断裂。

### 参考文献:

- [1] 陈振华. 变形镁合金[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 崔约贤, 王长利. 金属断口分析[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998.
- [3] RAVI KUMAR N V, BLANDIN J J, DESRAYAUD C.

et al. Grain refinement in AZ91 magnesium alloy during thermomechanical processing[J]. *Materials Science and Engineering*, 2003, A359:150-157.

[4] KLEINER S, UGGOWITZER P J. Mechanical anisotropy of extruded Mg-6% Al-1% Zn alloy[J]. *Materials Science and Engineering A*, 2004;379-258.

## Effect on microstructure and property of Mg-11Al-3Zn alloy by extrusion processing of large deformation

ZHENG Jing, MA Guang, WANG Yi, LI Yin'e, JIANG Ting, SUN Xiao-liang  
(Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

**Abstract:** High-performance Mg-11Al-3Zn alloy were fabricated by hot extrusion of large deformation. Some defects in magnesium alloy ingot, such as gas cavity, shrinkage porosity, shrinkage void, can be eliminated by hot extrusion. After hot extrusion, the grain sizes become distinctly finer from around 120 $\mu\text{m}$  to about 30 $\mu\text{m}$ . The strength and plasticity of Mg-11Al-3Zn alloy are evidently enhanced after hot extrusion.

**Key words:** magnesium alloy; large deformation; extrusion processing