

## 半固态 ZA12 合金的瞬态流变性能\*

朱鸣芳 高志强 苏华钦  
(东南大学机械工程系, 南京 210096)

**摘要** 采用自行研制的高温同轴双筒流变仪对半固态 ZA12 合金的流变性能进行研究, 结果表明, 半固态合金的剪切应力与剪切时间的关系曲线的特征与固相分数和剪切速率有关。此外, 在稳态条件和瞬态条件下, 半固态合金浆液表现出不同的流体特征。

**关键词** 半固态合金, 瞬态流变性能, 固相分数, 剪切速率

中图分类号 TG115

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(1999)10-1021-03

### A STUDY ON THE TRANSIENT STATE RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF SEMI-SOLID ZA12 ALLOY

ZHU Mingfang, GAO Zhiqiang, SU Huaqin

Department of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096

Correspondent: SU Huaqin, professor, Tel: (025)3793027, Fax: (025)7712719, E-mail: hqsu@seu.edu.cn

Manuscript received 1999-03-08, in revised form 1999-07-15

**ABSTRACT** The rheological behavior of semi-solid ZA12 alloy was studied using a specially designed high temperature Coutte rheometer. The results show that the characteristic of the relationship curves between shear stress of the semi-solid ZA12 alloy and shear time is related to the solid fraction and shear rate. In addition, the semi-solid alloy slurry exhibits the different rheological behaviors under the conditions of steady state and transient state.

**KEY WORDS** semi-solid alloy, transient state rheological behavior, solid fraction, shear rate

近 20 年来, 半固态合金及复合材料成形技术已成为国际上材料热加工领域的研究热点之一<sup>[1-4]</sup>。为了提高和控制半固态合金成形产品的质量, 寻找和控制最佳工艺条件, 有必要对半固态合金成形过程进行计算机模拟。为了提高模拟结果的准确性和实效性, 首先必须了解半固态合金的流变特性。因此, 对半固态合金流变性能的研究是半固态合金成形领域的一项重要基础研究内容。但以往大部分研究结果都是在稳态条件下获得的, 即流变曲线是在恒定剪切数十分钟后得到的<sup>[5-8]</sup>。但在实际工况中, 如压铸的充型过程一般只持续零点几秒, 而半固态非枝晶组织合金的流变行为对时间有很强的依赖性(即触变性)<sup>[9]</sup>。因此, 稳态条件下取得的结果不能代表实际工况条件下半固态金属的流变行为。本文采用自行研制的高温流变仪, 对半固态 ZA12 合金的瞬态流变性能进行分析与研究, 并与稳态流变性能进行比较, 为半固态合金成形技术实用化和充型过程计算机模拟提供依据。

#### 1 实验方法

本实验采用的设备是自行研制的由旋转坩埚和静置悬锤组成的同轴双筒高温流变仪。坩埚的旋转由电磁调速电机驱动, 悬锤上安装有扭矩传感器, 测定受到剪切的半固态合金作用在悬锤上的扭矩。从传感器输出的电压信号通过信号放大器, 再经高速 A/D 转换后, 输入到计算机终端进行数据采集及处理。

将在 5 kW 电阻炉中精炼好的 ZA12 液态合金转入高温流变仪坩埚中, 控制温度至固液两相区的某一预定值后, 先以 250 r/min 的速度(对应于剪切速率  $\dot{\gamma}_0=260 \text{ s}^{-1}$ ) 旋转坩埚 5 min, 使得半固态合金的初生相为非枝晶组织, 再静置 30 s, 然后瞬时使坩埚以一定速度旋转, 测定不同条件下半固态合金的剪切应力与剪切时间的关系曲线。本试验所取的温度范围为 425—395 °C, 固相分数  $f_s$  为 0—0.7, 坩埚的旋转速度  $n$  为 150—600 r/min, 剪切速率  $\dot{\gamma}$  为 175—700  $\text{s}^{-1}$ 。

#### 2 实验结果及讨论

将经过初始剪切速率  $\dot{\gamma}_0=260 \text{ s}^{-1}$  的剪切作用, 已成为非枝晶组织的半固态 ZA12 合金浆液, 静置  $t_r$  时间后, 再瞬时施加一个剪切速率  $\dot{\gamma}$ , 得到半固态合金浆液的剪切应力

\* 国家自然科学基金资助项目 59571042

收到初稿日期: 1999-03-08, 收到修改稿日期: 1999-07-15

作者简介: 朱鸣芳, 女, 1957 年生, 副教授, 博士

与剪切时间的关系曲线, 结果见图 1.

从图 1 可以看出, 在开始以一定的剪切速率进行剪切的瞬间, 半固态合金浆液的剪切应力迅速达到最大值 (称为瞬态剪切应力  $\tau_t$ ), 然后逐渐衰减, 最后达到一个稳态值 ( $\tau_s$ ).

图 1a 为不同剪切速率时, 剪切应力随时间的变化规律. 其结果表明, 剪切速率越大, 瞬态剪切应力  $\tau_t$  值越大.

图 1b 为在不同固相分数时, 剪切应力随时间的变化规律. 由图可以看出, 固相分数越高, 瞬态剪切应力值越大. 而在全液态 ( $f_s=0$ ) 时, 剪切应力随时间的变化曲线中没有出现峰值.

从剪切应力与剪切时间的关系曲线可知, 非枝晶组织的半固态 ZA12 合金的流变行为具有依时性, 即具有触变性. 静置时, 初生相会产生团聚, 在受到剪切作用后, 团聚体受到破坏, 因此剪切应力随受剪切作用的延长而下降. 当剪切作用一定时间后, 半固态合金浆液的组织结构达到一个动态平衡, 使得剪切应力趋于一个稳态值. 当固相分数高时, 固相间的聚集作用加强, 使得流动阻力增加, 从而出现较大的瞬态剪切应力值 ( $\tau_t$ ), 而在全液态时, 由于不存在静置时的初生相团聚, 因此, 在剪切应力与剪切时间的关系曲线中不

出现峰值. 另一方面, 在剪切速率高的情况下, 体系受到的外载荷的作用力增加, 表现为瞬态剪切应力 ( $\tau_t$ ) 增大.

为了将半固态 ZA12 合金的稳态流变性能和瞬态流变性能进行比较, 将应力松弛曲线中的稳态剪切应力值  $\tau_s$  和瞬态剪切应力值  $\tau_t$  分别与剪切速率之间的关系作图, 得到图 2.

根据表观粘度 ( $\eta_a$ ) 的定义 [3]

$$\eta_a = (d\tau/d\dot{\gamma})_{t=t_i} \quad (1)$$

可知图 2 中曲线的斜率即代表了某一条件下半固态浆液的表现粘度.

将图 2a, b 进行比较可以发现, 在稳态条件下, 半固态合金浆液的表现粘度随剪切速率的增加而降低, 表现出假塑性流体的特征. 这与文献 [10] 对其它半固态合金系列进行的稳态流变性能实验研究所得出的规律相类似. 但在瞬态条件下, 半固态合金浆液的表现粘度却随剪切速率的增加而增加, 表现出胀流型流体的特征. 这一实验结果表明, 在半固态合金成形过程中, 即使在较高的成形速度下, 半固态合金浆液也能实现平稳地充型.

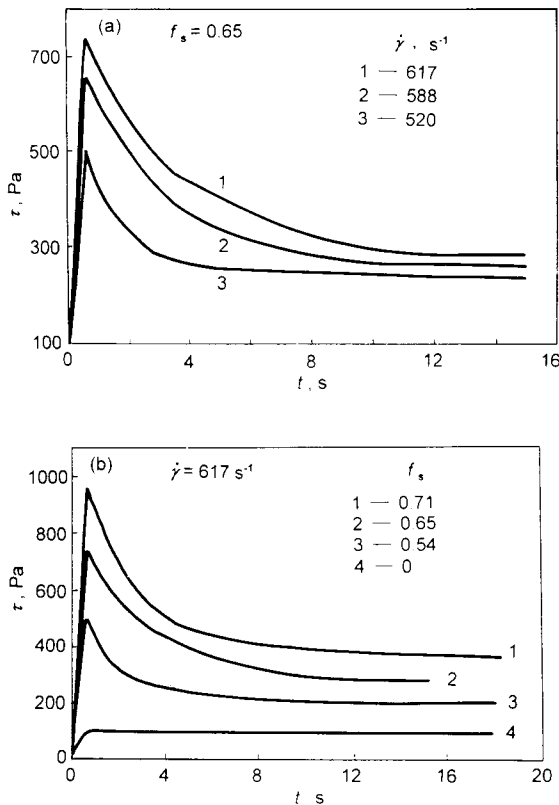


图 1 不同剪切速率及不同固相分数时半固态 ZA12 合金剪切应力与剪切时间的关系曲线

Fig.1 The relationship between shear stress ( $\tau$ ) of semi-solid ZA12 alloy and shear time ( $t$ ) for different shear rates (a) and solid fractions (b)

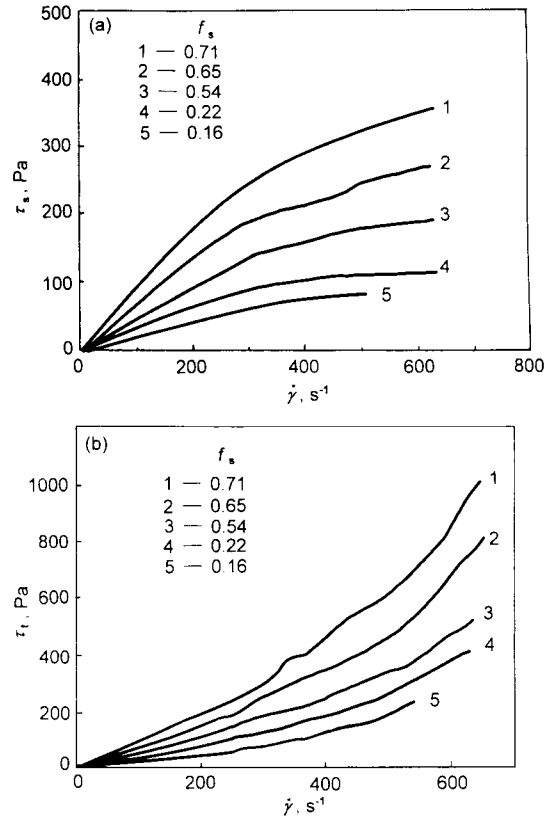


图 2 半固态 ZA12 合金稳态及瞬态剪切应力与剪切速率的关系

Fig.2 The shear stress ( $\tau$ ) of semi-solid ZA12 alloy vs shear rate ( $\dot{\gamma}$ ) under steady state (a) and transient state (b) conditions

### 3 结论

(1) 静置的半固态合金浆液在受到剪切的瞬间, 将达到一个最大的剪切应力值, 随剪切时间的延长, 剪切应力下降, 最终达到一个稳态值, 而全液态合金的剪切应力随时间的变化曲线中不出现峰值。

(2) 在相同的固相分数条件下, 剪切速率越高, 瞬态剪切应力值越大。

(3) 在相同剪切速率条件下, 固相分数越高, 瞬态剪切应力值越大。

(4) 在瞬态条件下, 半固态合金浆液的表现粘度随剪切速率的增加而增加, 表现出与稳态条件下所不同的胀流型流体的特征。

### 参考文献

- [1] Yong K P. In: *Solidification Processing of Advanced Materials*, May 29—June 1, 1989, Oiso, Kanagawa, Japan, 181
- [2] Lapkowski W, Pictrzyk M. *J Mater Proc Technol*, 1994; 45: 365
- [3] Suery M, Martin C L, Salvo L. In: *Proc Int Conf on the Processes of Semi-Solid Alloys and Composites*, Sheffield, June, 19-21, 1996: 21
- [4] Marsh S P, Glicksman M E, Zwillinger D I. In: Giamei A F ed., *Modeling of Casting and Welding Processes IV*, Warrendale, PA: TMS, 1988: 921
- [5] Brown S B, Kumar P, Martin C L. In: *Proc 2nd Int Conf on the Processes of Semi-Solid Alloys and Composites*, MIT, Cambridge, Massachusetts, June 10-12, 1992: 183
- [6] Flemings M C, Chen S F, Diewwanit I et al. In: *Proc 2nd Int Conf on the Processes of Semi-Solid Alloys and Composites*, MIT, Cambridge, Massachusetts, June 10-12, 1992: 202
- [7] Gunasekera J S. In: *Proc 2nd Int Conf on the Processes of Semi-Solid Alloys and Composites*, MIT, Cambridge, Massachusetts, June 10-12, 1992: 211
- [8] Taha M A, El-Mahallawy N A, Assar A M. *J Mater Sci*, 1988; 23: 1385
- [9] Flemings M C. *Metall Trans*, 1991; 22B: 269
- [10] Turng L S, Wang K K. *J Mater Sci*, 1991; 26: 2173