

[文章编号] 1004- 0609(2002)04- 0774- 05

SiC_p/ ZL102 复合材料的半固态流动变形性能^①

王宏坤¹, 黄洁雯², 吴 锵²

(1. 上海交通大学 微纳米科学技术研究院, 上海 200030; 2. 南京理工大学 材料科学与工程系, 南京 210094)

[摘 要] 对颗粒增强铝基复合材料进行压力铸造工艺加工, 是解决颗粒增强铝基复合材料近终成形的一种新方法。在模拟压铸充型的条件下, 研究了 SiC_p/ ZL102 复合材料的半固态流动变形性能。结果表明, 在相同的实验条件下, 复合材料的半固态流动变形性能比基体合金优越, 且在 SiC 颗粒体积分数低于 12% 的条件下, SiC 颗粒越多, 材料的半固态流动变形性能越好。此外, 随保温温度的提高、保温时间和重锤高度的增加, 复合材料和基体合金的半固态流动变形性能都有所提高。

[关键词] SiC 颗粒; 复合材料; 半固态; 流变性能

[中图分类号] TB 331

[文献标识码] A

颗粒增强铝基复合材料因具有比强度和比刚度高、高温强度及耐磨性好、尺寸稳定、制造工艺简单等一系列优点而成为铝基复合材料发展的重要方向^[1~7]。但是, 由于颗粒增强铝基复合材料的加工性较差, 且成本较高, 因而成形问题, 特别是近终成形是制约这种复合材料应用的关键因素^[8, 9]。虽然国内外对颗粒增强铝基复合材料进行了超塑成形及液态模锻直接成形等工艺探索, 但对形状较为复杂的零件, 这些工艺仍无法满足要求。

众所周知, 压力铸造是一种比较先进且应用广泛的近终成形工艺, 压铸件的形状可以非常复杂。对颗粒增强铝基复合材料进行压铸工艺加工, 是解决颗粒增强铝基复合材料近终成形问题的一个新思路。但是, 由于颗粒增强铝基复合材料重熔后一般产生颗粒的下沉现象, 所以全液态下压铸颗粒增强铝基复合材料比较困难。为了克服全液态的这个工艺问题, 可以采用半固态压铸技术^[10, 11]。作者在大量的合金半固态研究的基础上, 以压铸充型过程的流动性为背景, 初步探索了颗粒增强铝基复合材料的半固态流变性能。

1 实验材料和方法

1.1 材料

研究所用的 SiC 颗粒增强铝基复合材料采用铸造法制备。SiC 为绿色的工业 SiC 颗粒, 基体合金

为 ZL102+ 1% Mg(质量分数)。Mg 的加入是为了改善基体的力学性能并提高基体与颗粒之间的浸润性。在复合材料中, 加入的 SiC 颗粒体积分数为 4%, 12%。分别用 A0, A1, A3 来代表 SiC 颗粒体积分数为 0, 4%, 12% 的复合材料。图 1 所示为复合材料 A1, A3 的扫描电镜照片。可以看出, 2 种复合材料中, SiC 颗粒与基体复合较好, 颗粒分布较均匀。

1.2 流变性能测试方法

在半固态压铸过程中, 只有当材料在浇杯中表现出良好流变性能时, 才能保证后续充型过程的顺利进行。由于材料的流变性能与受力状态有关, 所以需要尽可能模拟材料在浇杯中的受力状态。分析表明, 浇杯中材料受到单向冲击力作用, 材料所受的约束在垂直于冲击力的径向, 而自由变形方向就是冲击力的方向。完整地模拟上述受力状态需要比较复杂的装置, 为了简化起见, 设计了如图 2 所示的装置, 材料在其中的约束状态由径向变为轴向, 而自由变形方向改为径向。尽管该装置中的受力状态与浇杯有所不同, 但它们之间大体相似。用该装置虽然不能测定流变性能的绝对数值, 但完全可以衡量流变性能的相对变化。

实验时, 将试样放入电阻炉中保温, 然后将加热至半固态的试样从炉中迅速取出, 3 s 内完成悬锤下冲的流变实验。为了具体表征颗粒增强铝基

① [基金项目] 江苏省应用基金研究资助项目(BJ99027)

[收稿日期] 2001- 09- 10; [修订日期] 2001- 12- 03

[作者简介] 王宏坤(1976-), 男, 博士。

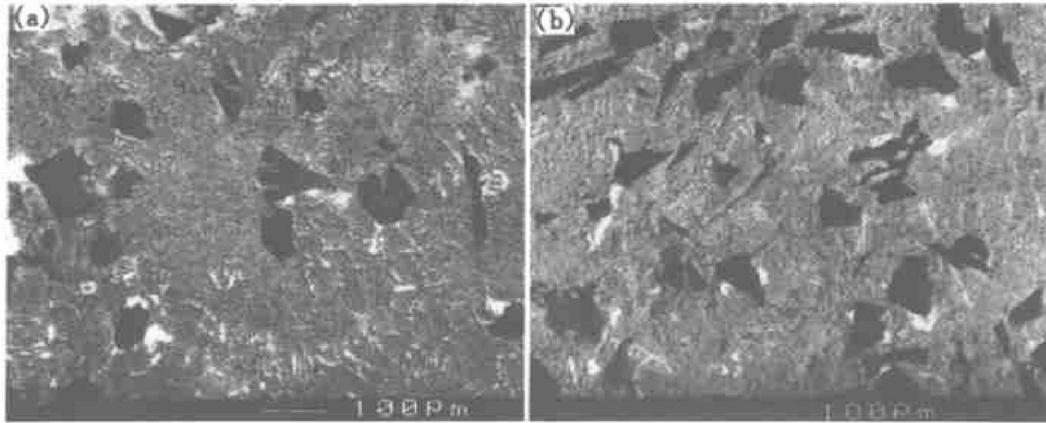


图 1 复合材料的显微组织

Fig. 1 Microstructures of composites

(a) —Sample A1; (b) —Sample A3

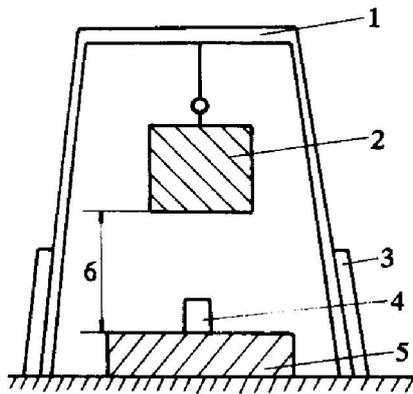


图 2 半固态流动变形性能测试原理及装置图

Fig. 2 Survey installation of semi-solid flow and deformation

1—Bracket; 2—Hammer; 3—Shield;

4—Sample; 5—Armor plate;

6—Distance between hammer and sample

复合材料的半固态流动变形性能, 定义了参数 ϕ :

$$\phi = \frac{S - S_0}{S_0}$$

式中 ϕ 为试样在冲压前后面积的相对变化, S 为试样冲压后的截面积, S_0 为试样的原始截面积。

ϕ 的值越大, 材料的流动变形性能越好。试样外形为圆柱状, 尺寸为 27 mm × 30 mm (直径 × 高)。

2 结果与讨论

基体合金和复合材料试样在加热时, 金属基体将首先于界面处熔化, 生成液相, 这些界面主要包括枝晶界面和 SiC 颗粒/铝基体界面。由于液相的存在, 试样的变形可以依靠液相的流动和枝晶间滑动来进行。同时, 由于枝晶本身之间的相互牵连和

阻碍, 变形过程中, 枝晶也会发生变形。复合材料中, 变形除了包括这些过程以外, 还包括 SiC 颗粒的滑动。

试样变形过程中, 需要施加外力来克服变形阻力, 重锤冲压试样时所产生的压力, 即为所施加的外力。而变形阻力主要包括枝晶的变形阻力、枝晶之间的摩擦阻力和固相对液相的流动阻力, 对于复合材料, 还包括 SiC 颗粒滑动时的摩擦阻力。

保温后试样中的液相含量越多, 冲压变形的阻力越小, 材料的半固态流动变形性能越好。

2.1 保温时间与流动变形量的关系

图 3 所示为基体合金 A0 和复合材料 A1, A3 在保温 560 °C、重锤高度 30 cm, 保温 575 °C、重锤高度 30 cm 和保温 560 °C、重锤高度 50 cm 3 种条件下的流动变形量—时间曲线图。可以看出, 在其它条件相同时, A0, A1, A3 的流动变形量随保温时间的增加而增大。表明随保温时间的增加, 基体合金和复合材料的半固态流动变形性能提高。在初始保温阶段, 随保温时间的增加, 材料的流动变形量增加缓慢, 保温一定时间以后, 流动变形量迅速增加, 半固态流动变形性能迅速提高。

基体合金和复合材料的流动变形量随时间的变化规律可作如下解释。试样在半固态保温温度加热熔化形成固、液两相状态需要一定的时间, 其他条件相同时, 若保温时间短, 则试样中的液相含量少, 材料不易变形, 流动变形量小, 半固态流动变形性能差。随着保温时间的增加, 试样中的液相含量增多, 固相含量减少, 材料的变形容易进行, 流动变形量增加, 半固态流动变形性能提高。当保温一定时间以后, 试样中的固相分数降低到某一特定

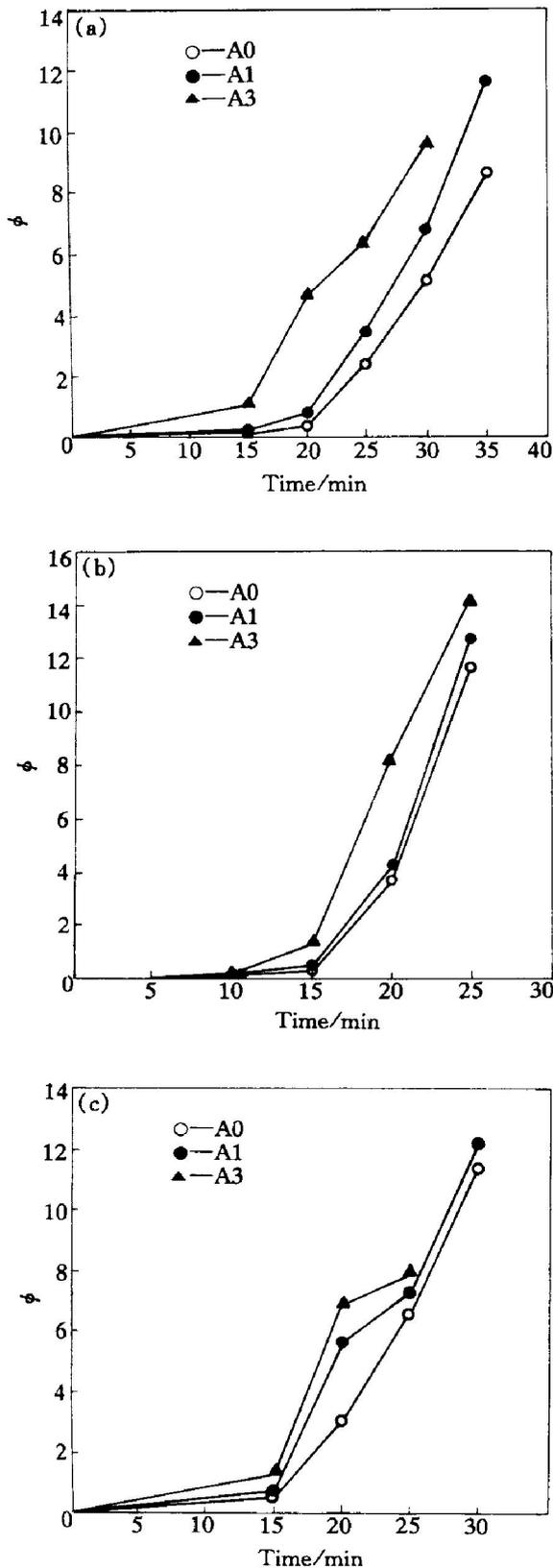


图3 材料的流动变形量—时间曲线

Fig. 3 Plots of flow and deformation value—time

(a) -560 °C, 30 cm; (b) -575 °C, 30 cm;

(c) -560 °C, 50 cm

值, 树枝晶的网状连接被破坏, 其变形阻力大大降低, 变形更容易进行, 并且随着保温时间的增加, 流动变形量迅速增大, 半固态流动变形性能迅速提高。

2.2 增强物颗粒体积分数与流动变形量的关系

由图3可以看出, 保温时间相同时, 3种条件下复合材料的流动变形量均高于基体合金, 并且随着SiC颗粒体积分数的增加, 材料的流动变形量增大。这表明SiC颗粒的加入, 非但没有使材料的半固态流动变形性能降低, 反而使这一性能提高, 并且SiC颗粒体积分数越大, 材料的半固态流动变形性能越好。

材料流动变形量随SiC颗粒体积分数的变化规律可解释如下。SiC颗粒的存在, 提供了大量的SiC颗粒/铝基体界面。加热时, 界面是复合材料中首先熔化的位置, 因此在同样的保温温度和保温时间下, 复合材料试样中的液相含量比基体合金试样中的液相含量多。在重锤高度相同条件下, 冲压时试样中液相含量越多, 变形越容易进行, 流动变形量越大, 半固态流动变形性能也越好。所以, 在同样的保温温度和保温时间下, 复合材料的半固态流动变形性能比基体合金好, 并且SiC颗粒体积分数越多, 提供的SiC颗粒/铝基体界面材料越多, 材料的半固态流动变形性能也就越好。另一方面SiC颗粒的存在促进了凝固时基体合金的形核, 细化了枝晶组织, 使复合材料的基体枝晶尺寸比基体合金的枝晶尺寸细小。在重锤高度相同的条件下, 复合材料的枝晶变形阻力也小, 变容易进行。SiC颗粒体积分数增加, 对枝晶的细化作用也增强, 枝晶尺寸进一步细化, 变形更容易进行, 材料的半固态流动变形性能提高。

2.3 保温温度与流动变形量的关系

图4所示为基体合金A0和复合材料A3的流动变形量—保温温度条形图。可以看出, 无论是基体合金还是复合材料, 在重锤高度、保温时间相同条件下, 随着保温温度的升高, 材料的流动变形量增加。表明若其他条件相同, 随保温温度的升高, 材料的半固态流动变形性能提高。原因是保温时间相同时, 随着保温温度的提高, 液相含量增多, 使材料的流动变形量增大, 半固态流动变形性能提高。故重锤高度和保温时间相同的条件下, 材料在575 °C的半固态流动变形性能比560 °C的半固态流动变形性能好。

2.4 重锤高度与流动变形量的关系

图5所示为基体合金A0和复合材料A3的流动变形量—重锤高度条形图。可以看出, 在保温温度和保温时间相同的条件下, 随重锤高度的增加, 基体合金A0和复合材料A3的流动变形量均增

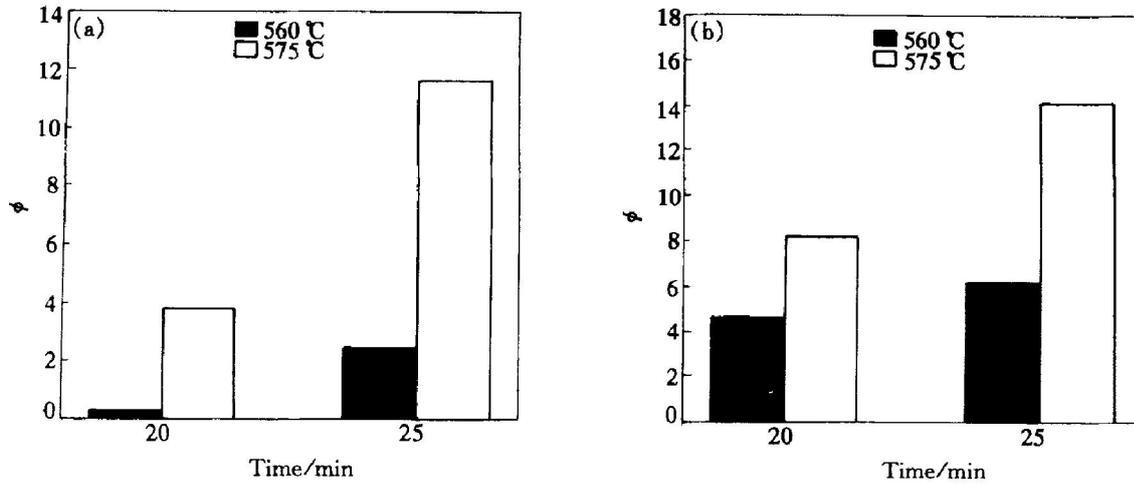


图 4 流动变形量—保温温度条形图

Fig. 4 Diagrams of flow and deformation value—temperature

(a)—Sample A0; (b)—Sample A3

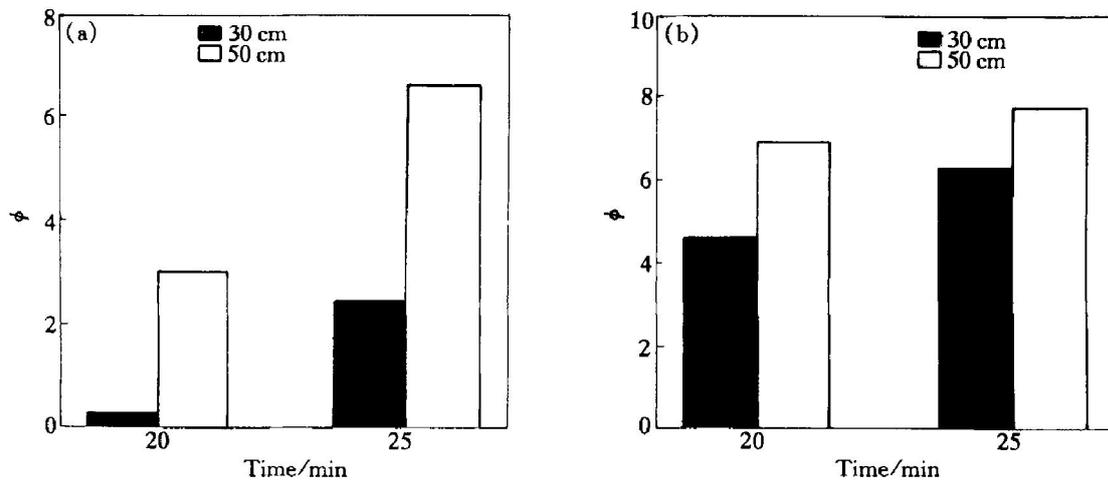


图 5 流动变形量—重锤高度条形图

Fig. 5 Diagrams of flow and deformation value—height of hammer

(a)—Sample A0, 560 °C; (b)—Sample A3, 560 °C

大。重锤高度变化是压力变化的反映, 重锤高度越高, 压力越大。表明随压力的增加, 基体合金和复合材料的流动变形量均增大, 半固态流动变形性能提高。原因是随着重锤高度的增加, 作用在试样上的压力增大, 变形更容易进行。故在保温温度和保温时间相同的条件下, 材料在重锤高度 50 cm 时的半固态流动变形性能比重锤高度 30 cm 时的半固态流动变形性能要好。

3 结论

1) 在保温温度、保温时间和重锤高度相同的条件下, SiC 颗粒增强铝基复合材料的半固态流动变形性能优于基体合金, 且在 SiC 颗粒体积分数低于 12% 的条件下, 复合材料中 SiC 颗粒体积分数越

大, 半固态流动变形性能越好。

2) 随保温时间、保温温度和重锤高度的增加, 材料的半固态流动变形性能均有所提高。

[REFERENCES]

- [1] FAN T X, SHI Z L, ZHANG D. The interfacial reaction in SiC/ Al composite above liquidus during remelting [J]. Mater Sci Eng, 1998, A257: 281– 286.
- [2] 葛晓玲, 吴东栋. Al/SiC_p 复合材料断裂失效的微观机理 [J]. 复合材料学报, 1994, 11(4): 44– 48.
GE Xiaoling, WU Dongdong. Microanalysis of Al/SiC composite material fracture [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 1994, 11(4): 44– 48.
- [3] 吴 锵, 孙 斐, 孙强金, 等. AlMg-Si 合金的凝固过程 [J]. 中国有色金属学报, 2000, 10(5): 688– 692.

- WU Qiang, SUN Fei, SUN Qiang-jin, et al. Solidification process of AlMg-Si alloys [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2000, 10(5): 688- 692.
- [4] 秦蜀懿, 张国定. 改善颗粒增强金属基复合材料塑性和韧性的途径与机制 [J]. *中国有色金属学报*, 2000, 10(5): 621- 629.
- QIN Shu-yi, ZHANG Guo-ding. Methods and mechanisms to improve ductility and toughness of particle reinforced metal matrix composites [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2000, 10(5): 621- 629.
- [5] Wang R M, Surappa M K, Tao C H. Microstructure and interface structure studies of SiC_p-reinforced Al(6061) metal matrix composites [J]. *Mater Sci Eng*, 1998, A254: 219- 226.
- [6] 郭宏, 李义春, 姚忠凯. 原始 SiC 颗粒表面及 SiC_p-Al 复合材料界面化学状态的研究 [J]. *复合材料学报*, 1997, 15(4): 42- 47.
- GUO Hong, LI Yi-chun, YAO Zhong-kai. Study on the chemical states of both the original surface of SiC particles and the interface of SiC_p/Al composite [J]. *Acta Materialiae Compositae Sinica*, 1997, 15(4): 42- 47.
- [7] 刘伯威, 潘进, 樊毅, 等. 复合材料的组织结构及力学性能 [J]. *中国有色金属学报*, 2001, 11(4): 631- 637.
- LIU Bo-wei, PAN Jin, FAN yi, et al. Microstructures and mechanical properties of composite [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2001, 11(4): 631- 637.
- [8] 张国定, 赵昌正. 金属基复合材料 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1996. 198- 202.
- ZHANG Guo-ding, ZHAO Chang-zheng. *Metallic Matrix Composite Material* [M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 1996. 198- 202.
- [9] 吴人洁. 金属基复合材料的发展现状与应用前景 [J]. *航空制造技术*, 2001(3): 19- 21.
- WU Ren-jie. Development situation and application prospects of metal matrix composites [J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2001(3): 19- 21.
- [10] 罗守靖, 田文彤, 谢水生, 等. 半固态加工技术及应用 [J]. *中国有色金属学报*, 2000, 10(6): 765- 773.
- LUO Shou-jing, TIAN Wen-tong, XIE Shu-sheng, et al. Technology and applications of semi-solid forming [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2000, 10(6): 765- 773.
- [11] 吴炳尧. 半固态金属铸造工艺的研究现状及发展前景 [J]. *铸造*, 1999(3): 45- 51.
- WU Bing-yao. Study situation and development prospects of the casting process of semi-solid metals [J]. *Foundry*, 1999(3): 45- 51.
- [12] 吴锵. 铝铜合金的流变行为显微组织及力学性能特点 [D]. 南京: 东南大学, 1990.
- WU Qiang. Flow and Deformation Behavior Microstructure and Mechanical Properties of AlCu Alloys [D]. Nanjing: Southeast University, 1990.

Semi-solid flow and deformation properties of SiC_p/ZL102 composites

WANG Hong-kun¹, HUANG Jie-wen², WU Qiang²

(1. Research Institute of Micro-nanometer Science and Technology,
Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Department of Materials Science and Engineering,
Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

[Abstract] The new moulding technics idea of particulates reinforced aluminum matrix composites is to apply die-casting into this kind of material. Semi-solid flow and deformation properties of SiC_p/ZL102 composites were studied. The results show that under the same experimental condition, the semi-solid flow and deformation properties of the composites are superior to that of matrix alloy and increase with increasing the SiC particles' volume fraction which is below 12%. The semi-solid flow and deformation properties of the composites also increase with the increasing of temperature, time and the height of hammer.

[Key words] SiC particle; composite; semi-solid; flow and deformation property

(编辑 陈爱华)