

SiC_p/Al 复合材料的孔隙度测定^①

郭 蔚 桑吉梅 张少明 石力开

(北京有色金属研究总院, 北京 100088)

摘 要 通过对理论计算、腐蚀称重、碳含量测定等方法的比较, 研究了 SiC_p/Al 复合材料孔隙度的测定方法。结果表明, 采用理论计算法来表征复合材料的孔隙度很不准确, 腐蚀称重法虽然精确但比较繁琐, 碳含量测定存在较大的误差。提出了一种新的方法——车屑法, 并用此方法研究了复合材料搅拌时间和孔隙度的关系, 表明孔隙度随搅拌时间的上升而增加。

关键词 SiC_p/Al 复合材料 孔隙度 密度

SiC_p/Al 复合材料由于具有高的比强度、比弹性模量、良好的耐磨性和低的热膨胀系数而倍受人们的关注^[1]。孔隙度是影响复合材料性能的关键因素, 在用搅拌熔铸法制备 SiC_p/Al 复合材料的过程中, 由于搅拌器的旋转而使铝液产生漩涡, 这些漩涡在吸入增强相粉末的同时也容易吸入气泡, 最终在复合材料中形成孔洞。另外, 聚集的颗粒之间以及铸造的凝固过程也易形成孔洞。孔隙率(p)一般定义为材料中孔隙所占的体积分数, 忽略空气的密度, 可用材料的密度表达为:

$$\rho = 1 - \frac{\rho_{\text{mes}}}{\rho_{\text{th}}} \quad (1)$$

式中 ρ_{mes} 为材料的实测密度, ρ_{th} 为理论密度。实测密度一般采用标准称重法根据阿基米德原理进行测量^[2], 而理论密度则由计算获得。对于用搅拌熔铸方法制备的 SiC_p/Al 复合材料而言, 由于工艺研究中 SiC_p 的名义添加量与实际加入量有时并不相符, 因此, 若采用根据名义添加量计算出的理论密度来计算材料的孔隙度, 就有可能造成错误的结果。因此, 对于 SiC_p/Al 复合材料而言, 必须寻找一种新的、有效的计算材料孔隙度的方法, Gupta^[3]和 Hanumanth^[4]分别提出了用腐蚀称重法和测定材料中碳含量的方法。但是对 SiC_p/Al 复

合材料的孔隙度的测定还没有系统的方法。本章将对上述方法加以总结和验证, 并提出一种新的方法——车屑法。

1 实验材料及方法

所选材料为搅拌熔铸法制备的 SiC_p/6061 复合材料锭坯, 锭坯为圆柱形, 直径为 125 mm, 高 160 mm, 重 6 kg, 在锭坯的 5 个不同部位取样, 材料的原始添加成分及密度如表 1 所示。

表 1 所选材料的原始添加成分及密度

成分	添加量/g	密度/g·cm ⁻³
6061 铝合金	6 600	2.70
SiC 颗粒	800	3.20
Mg	70	1.74

腐蚀称重法步骤如下: (1) 先称出烧杯的质量, 再把样品放入烧杯中称重; (2) 加入稀盐酸进行腐蚀, 直至基体合金反应完全为止; (3) 多次清洗后放入烘箱烘干; (4) 称出 SiC_p + 烧杯的质量。计算出 SiC_p 和样品的质量, 换算出 SiC_p 所占的体积分数, 也就可以计算出复合材料的密度。

C 含量的测定采用高频燃烧红外测定法,

① 收稿日期: 1996-06-24; 修回日期: 1996-10-28

郭 蔚, 男, 26 岁, 硕士

在美国 Leco 公司 CS-444 型仪器上进行。测出的 C 含量减去 SiC 粉中游离的 C 后就等于 SiC_p 中的 C 含量(质量分数), 这样 SiC_p 的体积分数 φ 就可由下式来表达

$$\varphi = \left(\frac{W_c}{100}\right) \left(\frac{M_r(\text{SiC})}{A_r(\text{C})}\right) \left(\frac{\rho_c}{\rho_{\text{SiC}}}\right)$$

式中 $M_r(\text{SiC})$ 和 $A_r(\text{C})$ 分别为 SiC 和 C 的分子量和原子量。

对于搅拌熔铸制备的复合材料, 其中的孔隙有的比较大, 甚至用肉眼都能看出。因此设法把材料粉碎成粉末以排除孔隙, 测量粉末的真实密度, 其结果应该近似等于材料在密实状态下的密度(理论密度)。在本实验中, 把材料车成细屑, 经去油、干燥后测量其密度。

2 实验结果及讨论

腐蚀称重法所得的结果如表 2 所示。从表 2 可以看出, 铸锭不同部位的 SiC_p 的含量基本一致, SiC_p 的分布从宏观上来看是均匀的。但是和原始添加的 SiC_p 的质量分数(11.99%)相比却相差很大, 这是由于在搅拌过程中 SiC_p 并没有完全被搅入铝液里, 在加粉和搅拌过程中都有可能造成 SiC 颗粒的损失。这也证明了仅采用理论计算来获得 SiC_p/Al 材料的理论密度是不精确的。腐蚀称重法所得的结果是真实可靠的, 但该方法也比较繁琐。

表 2 也列出了 5 个样品碳含量检测的结果, 经检测 SiC 粉中游离的 C 含量小于 0.2%, 因而可以忽略。C 含量测定法能够迅速测定出材料中的 C 含量, 进而换算出 SiC 所占的质量分数, 然而从表 2 所列的数据来看, 此方法误差较大。因为高频燃烧红外测定法的原理是把材料中的 C 元素完全燃烧变成 CO₂, 从而测定 C 元素的含量, 一旦反应不完全就有可能造成误差。表 2 所列数据均低于用腐蚀称重法所得的结果也证实了上述想法。

前面已述, 按照名义添加成分来计算理论密度得出的值是不可信的, 因为它完全没有考虑搅拌过程中出现的情况。比较表 2 中的数据

可以看出车屑法得出的密度值比腐蚀称重法略低, 这是合理的, 因为车屑不可能完全去除材料中的孔隙, 特别是微细的孔隙, 因此造成测量值略低。但这种方法基本上能反应材料的真实密度, 而且误差不大, 操作简单, 因此在实验过程中可以采用。

表 2 腐蚀称重法, 高频燃烧红外法, 车屑法所得结果比较

样品 编号	腐蚀称重法		高频燃烧红外法		车屑法 材料密度 / g·cm ⁻³
	SiC 质量 分数/ %	材料密度 / g·cm ⁻³	C 质量 分数/ %	SiC _p 质量 分数/ %	
1	8.165	2.716	1.81	6.03	2.70
2	8.372	2.717	1.84	6.13	2.71
3	8.075	2.716	1.80	5.99	2.70
4	8.990	2.720	2.04	6.80	2.71
5	8.405	2.717	1.84	6.13	2.70

利用车屑法, 我们研究了搅拌熔铸工艺中搅拌时间和材料的孔隙度之间的关系。所选材料为 SiC_p 增强 A356 基复合材料, 在不同的搅拌时间取样后, 测量样品的实测密度并测量其车屑密度, 并认为车屑密度近似等于材料的理论密度, 代入(1)式后计算得出其孔隙度随时间的变化如图 1 所示。

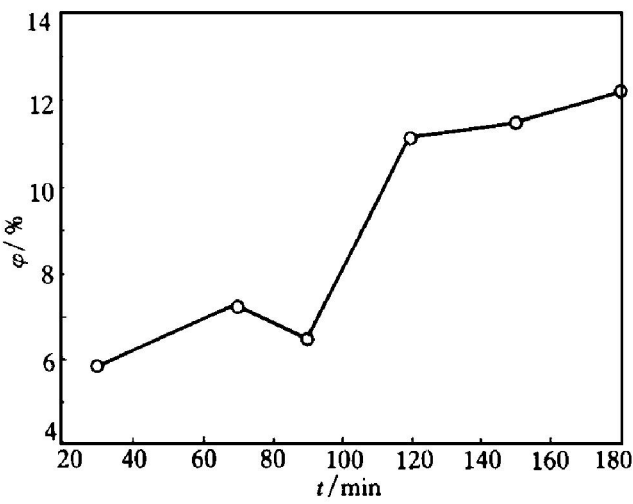


图 1 SiC_p/A356 的孔隙度和搅拌时间之间的关系

从图可以看出, 孔隙度随搅拌时间的延长而呈逐渐上升的趋势。这是符合实际情况的, 搅拌时间的延长使得更多的气体被吸入, 造成了材料孔隙度的增加。因此, 可用孔隙度作为

优选工艺参数的依据之一,选择合适的搅拌时间有利于制备出更高质量的材料。

3 结论

对搅拌熔铸法制备的 SiC_p/Al 复合材料的孔隙度测定,不能简单地采用理论计算密度,最精确的是用腐蚀称重法,然而该方法较为繁琐,高频红外法测定 C 含量方法误差较大,而车屑法由于简单实用且误差较小,所以较为适

合。采用此方法研究了该材料搅拌时间和孔隙度的关系,结果表明孔隙度随搅拌时间的上升而增加,因此在实际工艺过程中可以采用孔隙度作为优选工艺参数的依据之一。

参考文献

- 1 Lloyd D J. Int Mat Rew, 1994, 39: 1.
- 2 Ghosh P K, Ray S. Trans Jpn Inst Met, 1988, 29: 502.
- 3 Gupta M, Mohamed F, Lavernin E *et al.* J Mat Sci, 1993, 83: 2245.
- 4 Hanumanth G S, Irons G A. J Mat Sci, 1993, 28: 2459.

MEASUREMENT OF POROSITY IN SiC_p/Al COMPOSITES

Guo Wei, Sang Jimei, Zhang Shaoming, Shi Likai

General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing 100088

ABSTRACT The porosity of SiC_p/Al MMCs was quantitatively investigated by means of theoretic calculation, chemical dissolution and carbon content measuring methods. It was found that theoretic calculation method will bring errors in some cases, chemical dissolution method is the most accurate but overelaborate, carbon content measuring method also brings about big errors; thus the cuttings method, whose essential lies in fact of that the specimen was cut into small cuttings of porous-free and then measured its density after degreasing and drying, was established and used to study the relationship of porosity with stirring time in stirring casting process. The results indicate that the porosity increases with the increase of stirring time, and the cuttings method can be used to measure the porosity of SiC_p/Al MMCs in stead the traditional methods.

Key words SiC_p/Al MMCs porosity density

(编辑 黄劲松)