

泡沫 SiC 颗粒增强铝基复合材料的 制备工艺和拉伸强度

Fabrication Processing and Tensile Strength of Foam of
Al/ SiC_p Composites

桂满昌, 吴洁君, 袁广江, 王殿斌 (北京航空材料研究院, 北京 100095)

GUI Man-chang, WU Jie-jun, YUAN Guang-jiang, WANG Dian-bin
(Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

摘要: 介绍了一种新的泡沫金属材料——泡沫 SiC 颗粒增强铝基复合材料, 泡沫的孔隙率为 60% ~ 85%。用 TiH₂ 作发泡剂, 采用直接发泡工艺制备。由于复合材料熔体自身粘度较大, 不需要采用任何增粘措施, 发泡工艺简单, 易于操作。该泡沫材料比普通泡沫铝或铝合金具有更高的抗拉、抗压强度。

关键词: 颗粒增强铝基复合材料; 泡沫; 拉伸强度; 孔隙率

中图分类号: TQ153 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381 (2001) 01-0026-02

Abstract: A new metallic foam, i. e. the foam of SiC particle-reinforced aluminum matrix composite with the porosity of 60% ~ 85% is introduced. The foam is produced by the foaming process with TiH₂ blowing agent. The foaming process is controlled easily since the viscosity of composite melts is quite great, without the addition of viscosity-increasing agent. Comparing with common foamed aluminum or its alloys, the composite has greater tensile and compression strength.

Key words: aluminum matrix composite; foam; tensile strength; porosity

泡沫金属材料尤其是泡沫铝是近几十年内发展起来的一种新型功能材料, 由于其多孔结构和金属特征, 具有重量轻, 和许多优良的功能特性, 如减振、吸音、防火和可渗透性^[1]。在航空、航天、运输、建筑等领域有广泛地应用前景。如利用减振特性, 用于制做精密仪器的基底和防护罩, 运输包装箱内衬; 利用吸音特性, 制做高速列车发动机室的隔音墙, 汽车发动机消音器; 以及用做新型的防火、隔音建筑装饰材料。也可作为轻质结构材料, 如飞机夹层材料, 空心支撑体的增强添料。

一般泡沫铝或铝合金材料的强度和刚度非常低, 在一些场合下, 不能满足应用要求。同时, 低的力学性能也限制了其各种独特功能性能的发挥。如 30% ~ 60% 孔隙率的 ZL104 (Al-Si 合金) 胞状铝抗拉强度仅为 3 ~ 4MPa^[2]。对于提高泡沫铝的强度, 已经采取了一些措施, 如: (1) 使用某些含氧的增稠剂, 使胞状铝中形成金属氧化物, 增加其强度或在发泡时添加一些废的发泡剂^[3,4]; (2) 对于含 Cu、Mg 的泡沫铝, 通过热处理强化^[5]; (3) 在泡沫中添加玻璃或金属增强纤维等^[6]。

SiC 颗粒增强铝基复合材料是近年来发展的一种新的金属材料, 在普通的铝合金中加入高强度、高硬

度的陶瓷颗粒, 使材料的室温和高温力学性能如抗拉强度、屈服强度和刚度明显提高, 具备提高其泡沫材料力学性能的内在潜力。本研究采用直接发泡工艺制备 SiC 颗粒增强铝基复合材料泡沫, 并对其拉伸力学性能进行了测试。

1 试验方法

采用直接发泡工艺制备泡沫材料, TiH₂ 粉作为发泡剂。将 1.2kg 用搅拌铸造法制备的 SiC 颗粒增强铝基复合材料铸锭放在坩锅中升温熔化, 熔化后在 620 ~ 650 °C 下保温。用工具上下搅拌复合熔体, 使 SiC 颗粒在熔体中均匀分布 (因为 SiC 颗粒比铝熔体重, 有比重偏析)。将 0.5% ~ 1.5% 发泡剂 (TiH₂ 粉+ 分散剂) 加入复合熔体, 立即以 500 ~ 1000r/min 转速搅拌 1 ~ 2min, 使发泡剂均匀弥散分布于熔体中, 搅拌后随炉冷却, 发泡过程在坩锅中完成。用线切割切取 12mm × 12mm × 80mm 拉伸试样和 14mm × 14mm × 28mm 试样, 拉伸和压缩试验在 TMS 试验机上进行。

2 试验结果与分析

直接发泡工艺是泡沫金属的一种主要制备工艺, 它是将发泡剂如 TiH₂、ZrH₂ 等加入金属熔体, 热分解

产生气体，气体滞留在熔体内凝固后即产生大量孔洞。由于气体易于从熔体中逃脱，该方法缺点是很难控制孔洞的均匀性。解决措施主要有添加发泡剂时施加高速搅拌作用（高达 10000r/min）或添加各种增粘剂如 N₂、O₂、MnO₂ 等提高熔体粘度，这两种方法同时使用效果更好。以上措施实际操作上有一定困难，搅拌速度过高，对搅拌器有很高的要求，而且不安全；熔体增粘，增加发泡工艺复杂程度，而且很难保持不同炉次增粘效果的一致性。同时，也难以控制好合适熔体粘度，粘度低，气体逸出过多，粘度大，发泡剂在熔体中难以均匀分散。对于 SiC 颗粒增强的复合材料熔体，由于颗粒的添加，自身粘度大，发泡剂分解产生的气体，容易滞留在熔体内，因此不需要采用任何增粘措施。粘度大小仅有温度控制，发泡工艺简单，易于操作。发泡剂加入熔体后，迅速加以搅拌作用可将发泡剂均匀分散到整个熔体内，得到较均匀的孔洞组织。另外，TiH₂ 粉很细，容易抱团，因此加入一定量的分散剂可以使孔洞更均匀。

试验表明，孔隙率和孔洞尺寸主要是通过固态发泡剂的加入量、搅拌速度、发泡剂中 TiH₂ 和分散剂配比来控制。对于自由发泡过程，发泡剂的加入量与孔隙率的一般关系列于表 1，其中发泡剂中的 TiH₂ 粉与分散剂的配比为 1 0.5。图 1 为两种不同孔径大小的复合材料泡沫的截面。

表 1 发泡剂加入量与胞状材料孔隙率的关系

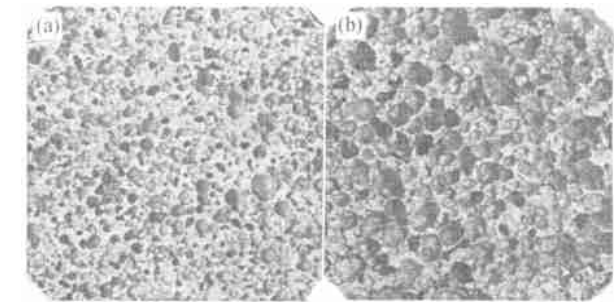
Table 1 Relationship between blowing agent and porosity

发泡剂加入量/wt%	孔隙率/%
1.4	80
1.1	70
0.9	62

制备的复合材料泡沫力学性能与孔隙率、孔洞尺寸有关。表 2 是 15vol.% 和 20vol.% SiC 颗粒增强的 Al-7Si-0.4Mg（ZL101）复合材料泡沫在不同孔隙率和孔径下的抗拉和抗压强度（均以整个拉、压试样截面计算强度，即包括孔洞部分）。表 3 是孔径大小对性能的影响。可以发现，82% 孔隙率的 SiC 颗粒增强复合材料泡沫的拉伸强度就已达到 3.5MPa，可见该泡沫比普通铝或铝合金泡沫具有更高的强度性能。

3 结论

- (1) SiC 颗粒增强铝基复合材料泡沫比普通泡沫铝或铝合金具有更高的抗压、抗拉强度。
- (2) 由于复合材料熔体自身粘度较大，不需要采用任何增粘措施，直接发泡工艺简单，操作性好。



1 制备的复合材料泡沫截面 (×0.5) (a) 平均孔径 2.5mm, 孔隙率 70%; (b) 平均孔径 4.5mm, 孔隙率 82%

Fig. 1 Foam section of composite (×0.5)

(a) average hole diameter 2.5mm, porosity 70%;

(b) average hole diameter 4.5mm, porosity 82%

表 2 SiC 颗粒增强 Al-7Si-0.4Mg 铸造铝基复合材料泡沫拉、压强度

Table 2 Tensile and compression strength of Al-7Si-0.4Mg / SiCp composite

孔隙率/%	平均孔径/mm	20vol % SiC		15vol % SiC	
		拉伸强度/MPa	压缩强度/MPa	拉伸强度/MPa	压缩强度/MPa
82	4.5	3.58	5.78	3.36	4.74
75	2.5	4.32	12.78	4.23	7.84
70	2.5	7.47	16.25	6.99	13.35
65	2.5	9.16	25.34	7.78	23.36

表 3 孔径大小对 82% 孔隙率的 15vol% SiC 颗粒增强铸造铝基复合材料泡沫拉、压强度的影响

Table 3 Effect of hole diameter on tensile and compression strength of Al / 15vol% SiC composite with porosity 82%

平均孔径/mm	拉伸强度/MPa	压缩强度/MPa
4.5	3.36	4.74
2.5	3.77	7.74

(3) 分散剂的加入，使反应物 TiH₂ 更均匀地弥散到熔体中，同时可以减缓反应速度。泡沫中孔洞的大小和分布更均匀。

参考文献

[1] G J Davis, S Zhen. J Mater Sci, 1983, 18: 1899.

[2] 吴炳尧, 等. 铸造, 1994, (6): 30.

[3] C B Berry Jr, R J Fanning. US Patent 3705030, 1972.

[4] C B Berry Jr, A R Valdo. US Patent, 3725037, 1973.

[5] L M Niebylski, et al. US Patent 3794481, 1974.

[6] L M Niebylski, et al. US Patent 3940262, 1976.