

碳化硅颗粒增强铝合金复合材料特性

王治海

(中南工业大学粉末冶金研究所, 长沙 410083)

摘 要 用粉末冶金和热挤压工艺制备了碳化硅颗粒增强铝基复合材料。研究了碳化硅颗粒的体积分数对复合材料性能的影响。

关键词 碳化硅 颗粒增强 铝合金 复合材料

金属基复合材料的研究开始于 60 年代初期。70 年代中期用稻谷壳制取 SiC 晶须获得突破后, 晶须增强铝合金的复合材料研究成了美国、日本的热门课题^[1-3]。经过 10 多年的研究, 美日在材料的应用上有了突破性的进展, 例如用该复合材料制造活塞顶盖、活塞及活塞连杆。到 80 年代后期特别是近些年, 人们转向用陶瓷粒子作增强剂, 制取颗粒增强铝基复合材料^[4, 5]。其方法有: 高压金属液流浸渗陶瓷预制品; 金属-陶瓷粒子熔融铸造; 粉末冶金方法。粉末冶金方法有其优点: (1) 烧结温度低于熔炼温度, 避免不利反应; (2) 陶瓷粒子添加量可以在较大范围内改变; (3) 粒子分布均匀^[6, 7]。

本文用粉末冶金方法制备碳化硅颗粒 (SiC_p) 增强铝合金复合材料, 并探讨 SiC_p 体积分数的改变对复合材料性能的影响。

1 实验过程及方法

1.1 实验工艺流程设计

SiC_p/Al-Cu 复合材料制备工艺流程如下:
Cu 粉、Al 粉、SiC 粉→超声波湿混→干燥过筛→混合粉末→预成形→N₂ 烧结→热压→热挤压→试样(或热处理→试样)

1.2 原料及其性能

本实验用的 SiC 颗粒是通过热分解稻谷壳制得 β-SiC, 其性能如表 1。

表 1 β-SiC 颗粒的部分性能

晶体类型	立方晶系
颗粒直径/μm	1.73
密度/g·cm ⁻³	3.2
热膨胀系数 /10 ⁻⁶ ·C ⁻¹ (20~1000 C)	4.5
显微硬度/MPa	32730
弹性模量/GPa	394
抗压强度/MPa	2210

所用基体为 N₂ 气雾化快冷制得的一 325 目的铝粉和-200 目电解铜粉的混合粉末, 其成分为: Al-4.4%Cu。

1.3 试样制备

将混合料在钢模中冷压成形, 压坯尺寸为 d 25 mm×30 mm, 在通 N₂ 气的加热炉中预烧, 烧结温度为 630±5℃, 保温 30 min 后放入预热到 400℃的钢模中热压, 压力为 360 MPa。压坯相对密度在 92%以上。压坯再加热到 580℃进行热挤压, 压力为 800 MPa, 挤压比为 10:1, 最终试样直径为 8 mm。

1.4 性能检测

SiC_p/Al-Cu 复合材料的抗压强度在国产 WD-100B 万能电子拉伸机上测得。测量时的拉压速度为 0.5 mm/min, 所用试样高径比为 1.5, 试样直径为 6 mm。

室温硬度在 HD1-1875 型布洛维硬度计上用 1.563 mm 钢球在负荷为 1 000 N, 加载时间为 10 s 的条件下测得。

热膨胀系数在 TA-1500 型热膨胀仪上测

定。评定复合材料的耐磨性是用直径 6mm, 长 15mm 的销子在 MG-200 型高速高温磨损摩擦试验机上与摩擦对偶件干磨(对偶件为灰口铸铁), 以试样前后的重量损失来衡量耐磨性的好坏。

为了研究热处理对 SiC_p/Al-Cu 复合材料机械性能的影响, 对材料进行 T6 处理(510±5℃, 60min 固溶处理, 160℃时效 18h)。

2 实验结果与讨论

2.1 SiC 颗粒体积分数对复合材料力学性能的影响

表 2、表 3 分别给出 SiC_p 体积分数不同的复合材料在挤压态和 T6 态的力学性能。

表 2 SiC_p 体积分数对挤压态 SiC_p/Al-Cu 复合材料力学性能的影响

SiC _p /%	5	10	15	20	25	30	35	40
密度/g·cm ⁻³	2.73	2.75	2.78	2.79	2.74	2.82	2.77	2.89
抗压强度/MPa	506	532	601	652	639	690	680	880
σ _{0.2} /MPa	—	243	294	340	375	378	—	660
压下率/%	48.4	41.7	32.4	31.1	24.0	22.4	16.0	14.9
HRB	41.0	43.0	44.5	49.5	55.5	63.0	67.5	69.5

表 3 SiC_p 体积分数对 T6 态 SiC_p/Al-Cu 复合材料力学性能的影响

SiC _p /%	5	10	15	20	25	30	35	40
密度/g·cm ⁻³	2.73	2.75	2.78	2.79	2.74	2.82	2.77	2.89
抗压强度/MPa	—	—	—	803	708	829	804	943
压下率/%	40.0	36.1	31	3.03	23.6	22.1	15.3	12.3
HRB	65	66	67.5	68.5	73.5	78.0	85.0	86.0

用该工艺制作的复合材料其密度均大于 99%。复合材料的抗压强度、屈服强度和硬度, 均随碳化硅粒子体积分数的增加而增加。而塑性(压下率)随 SiC 体积分数增加下降。

经过 T6 处理的复合材料其抗压强度、硬度有较大幅度提高。

SiC_p/Al-Cu 复合材强度增加按照 Orowan 弥散强化位错机构^[8], 由于弥散的第二相粒子的硬度远较基体合金高, 位错线不能直接切割第二相粒子, 在外力作用下, 位错线环绕第二

相粒子发生弯曲, 位错区的晶格发生畸变, 增加了能量, 使位错滑移抗力增大, 从而提高复合材料的屈服强度。弥散相的含量、粒度和粒子间距的关系符合: $\lambda = 2/3d(1/f - 1)$, 式中

λ 是粒子间距, f 是弥散相的体积分数, d 为粒子直径。在 SiC_p 增强的复合材料中, 粒子直径越小, SiC_p 颗粒体积含量越高, 则粒子间距越小, 材料强度越大, 这与本实验结果是一致的。SiC_p 粒子与基体合金热膨胀系数相差极大, 因此, 在粒子的周围将产生极大的热应力差, 聚集高位错密度, 这也是增强的因素。经 T6 处理后材料硬度强度均有提高, 这与基体的时效硬化有关。基体材料经时效后, 第二相 CuAl₂ 质点产生沉淀硬化效应。

2.2 复合材料的弹性模量

SiC_p 体积分数对复合材料弹性模量的影响见表 4。

表 4 SiC_p/Al-Cu 复合材料弹性模量

SiC _p 体积分数/%	弹性模量/GPa	
	挤压态	T6 态
0	73	73
15	89~97	—
20	97~117	97~117
25	117~151	117~151

从表 4 可知, SiC 颗粒的加入使材料的弹性模量升高。这是由 SiC 颗粒本身弹性模量远高于基体合金的缘故。经 T6 处理后材料的弹性模量并不改变。

2.3 复合材料的热膨胀系数

表 5 给出了复合材料的热膨胀系数值。热膨胀系数值随 SiC_p 体积分数增加而下降。由于 SiC 的热膨胀系数为 $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 比基体合金小一个数量级, 因此加 SiC 必然带来低膨胀系数。

据文献[9], 当组成复合材料的各相的热膨胀系数差别较大时, 其热膨胀系数 α_c 符合下式:

$$\alpha_c = \alpha_m - AV_d(\alpha_m - \alpha_d) \quad (1)$$

式中 α_m 为基体相的膨胀系数; α_d 为弥散相的膨胀系数; V_d 为弥散相所占的体积百分数; A

为与弹性模量有关的常数。

3 结论

表 5 SiC_p/Al-Cu 复合材料热膨胀系数(10⁻⁶ C⁻¹)

SiC _p 体积 分数/%	热膨胀系数		
	室温~100 C	室温~200 C	室温~300 C
5	21.46	23.44	25.05
10	20.81	23.63	23.24
20	20.85	23.00	21.89
30	17.34	18.13	18.63
40	14.16	15.40	15.52

由式(1)可知,复合材料的膨胀系数 α_c 与材料中弥散相所占的体积百分数 V_d 成正比。本实验中除了个别数据由于测量的原因反常外,基本符合上述关系。

2.4 复合材料的耐磨性

表 6 给出了复合材料的耐磨试验结果。

表 6 SiC_p/Al-Cu 复合材料耐磨损试验结果

SiC _p 体积分数/%	磨损量/mg
20	20.0
30	5.2
40	1.0

从表 6 可以看出,复合材料的耐磨性明显高于基体合金,并随着 SiC 含量增加,耐磨性能显著增加,即材料的磨损量显著减少。这种关系的存在,主要决定于 SiC 颗粒的优越耐磨特性。

(1) 用粉末冶金法可以制备含 SiC 颗粒体积分数大(40%)的复合材料,经热挤压, SiC_p 可均匀弥散在基体材料中。

(2) 复合材料的强度、硬度、耐磨性均随 SiC_p 体积分数增加而增加,塑性、热膨胀系数随 SiC_p 体积分数增加而降低。

(3) T6 处理可明显提高复合材料的强度,与挤压态相比,强度约提高 17%~36%,而塑性有所降低。

参考文献

1 吴人洁. 复合材料学报, 1987, 9: 1-9.

2 Trumper R L. Metals and Materials, 1987, 11: 662-667.

3 Bonnon J J *et al.* Mat Trans, 1991, 122A (5): 1007-1019.

4 白春涛. 材料工程, 1989, 1: 44-47.

5 Mlshra R S *et al.* Mat Trans, 1990, 21A (7): 2089-2090.

6 Arsenault R J *et al.* Scripta Met, 1989, 22: 767-772.

7 Fishnan S G *et la.* Journal of Metals, 1981, 12: 11-17.

8 黄培云主编. 粉末冶金原理. 北京: 冶金工业出版社, 1982: 387-405.

9 徐京娟等. 金属物理性能分析. 上海: 上海科技出版社, 1988: 102.