

# 纳米级 $\text{SiC}_p$ /6066A1复合材料的制备与力学性能的研究

陈永来 吕宏军 张宇玮 王琪

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

**文 摘** 采用粉末冶金方法制备了纳米  $\text{SiC}_p$  增强铝基复合材料,研究了增强相尺寸对铝基复合材料性能的影响。结果表明:体积分数为 1%的纳米级  $\text{SiC}_p$  /6066A1复合材料的强度与体积分数为 12%、尺寸为  $7\mu\text{m}$  的  $\text{SiC}_p$  /6066A1复合材料的强度相当,并且前者的塑性高于后者。

**关键词** 铝基复合材料,纳米  $\text{SiC}$ ,力学性能

## Study on Mechanical Properties of Nanoparticles $\text{SiC}_p$ /6066A1 Composite

Chen Yonglai L üHongjun Zhang Yuwei Wang Qi

(Aerospace Research of Materials and Processing Technology, Beijing 100076)

**Abstract** Mechanical properties of  $\text{SiC}_p$  nanoparticles reinforced aluminum metal matrix composite is characterized as functions of the reinforcement size. Results show that the tensile strength of 1% Vol  $\text{SiC}$  nanoparticles reinforced 6066A1 metal matrix composite is as much as that of 12% Vol  $\text{SiC}_p$  microparticles reinforced 6066A1 metal matrix composite, but the elongation of the former is higher than that of the later

**Key words** Aluminum metal matrix composite, Nanoparticles  $\text{SiC}$ , Mechanical strength

### 1 前言

$\text{SiC}_p$  增强铝基复合材料是目前普遍公认的最有竞争力的金属基复合材料品种之一。尽管其力学性能难与连续纤维增强的复合材料相匹敌,但它却有着极为显著的低成本优势,且制备方法也灵活多样,并可以采用传统的冶金工艺设备进行二次加工,易于实现批量生产,还可在一定范围内根据使用要求选择强化相的种类、体积分数等参数来调整材料综合性能。因此, $\text{SiC}_p$  增强铝基复合材料在航空航天、汽车、兵器和体育制品等领域具有广阔的应用前景,是近年来新材料研究开发的重要领域<sup>[1-3]</sup>。

但铝基复合材料随着增强相  $\text{SiC}_p$  加入,在弹性模量和拉伸强度等性能提高的同时,塑性严重下降。其原因在于增强相  $\text{SiC}_p$  的形状不规则并且尺寸较

大( $> 3\mu\text{m}$ ),造成增强相  $\text{SiC}_p$  与基体的结合较弱,大大降低了材料的塑性。

纳米材料的尺寸非常细小(1~100 nm),形状多为规则的近球状,因此,在金属基复合材料的制备中若能以纳米级  $\text{SiC}_p$  作为增强相,应该能改善增强相与基体的结合界面,提高结合强度,进而提高金属基复合材料的力学性能,尤其是韧性。基于此,本文采用粉末冶金方法制备纳米  $\text{SiC}_p$  增强铝基复合材料,研究增强相尺寸的变化对材料性能的影响。

### 2 试验

#### 2.1 材料

按常规 6066A1合金的化学成分配制合金(见表 1),经除气等熔体精练处理后,采用保护气体雾化,将合金制成粒度为  $15\mu\text{m}$  的 6066A1合金粉末,粉末

收稿日期:2004-10-18

作者简介:陈永来,1972年出生,高级工程师,主要从事有色金属材料及加工工艺方面的研究工作

的含氧量在 0.2% 以下。

表 1 6066Al 合金粉末化学成分

Tab 1 Composition of 6066 aluminum powder  
%(质量分数)

元素	含量	元素	含量
Mg	1.24	Mn	0.9
Si	1.62	Cr	0.02
Cu	1.03	Ti	0.004
Fe	0.07	Al	余量

增强相为  $\text{SiC}_p$ , 其粒度分别有  $7\mu\text{m}$  和纳米级尺寸, 体积分数分别为 12% 和 1%, 其中纳米尺度增强相  $\text{SiC}_p$  的形貌见图 1。

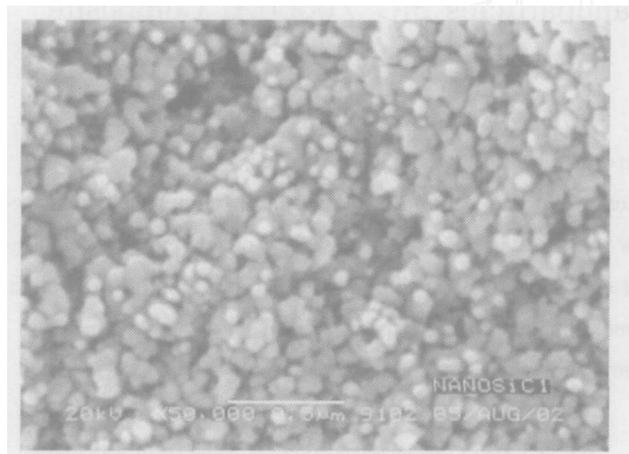


图 1 纳米尺度增强相  $\text{SiC}_p$  微观形貌

Fig 1 Microstructure of  $\text{SiC}_p$  nanoparticles

## 2.2 复合材料的制备

将 6066Al 合金粉末与增强相充分混合均匀, 脱气后进行热挤压, 挤压比为 27:1。从挤压成形后的铝基复合材料棒材上截取拉伸试样, 测试材料在热挤压和固溶热处理 (固溶 490、时效 175、保温 8 h) 后的性能, 并观察铝基复合材料的显微组织。

## 3 结果与分析

图 2 为采用粉末冶金方法制备的 6066Al 复合材料的宏观形貌。由图 2 可知, 铝基复合材料的表观质量均较好, 增强相  $\text{SiC}_p$  尺寸的变化对铝基复合材料热挤压成形质量影响很小。这表明采用粉末冶金的办法混粉, 通过热挤压成形工艺制备纳米  $\text{SiC}_p$  增强铝基复合材料是可行的。

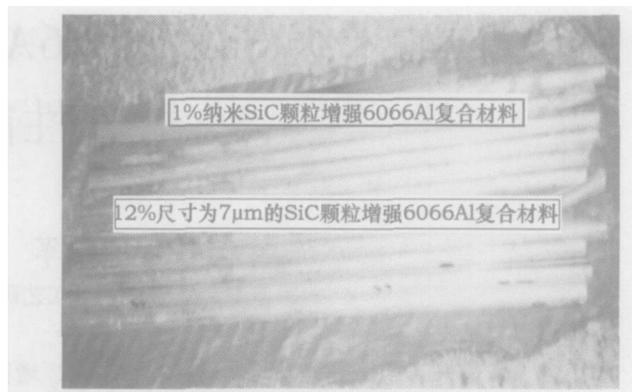


图 2 6066Al 复合材料的宏观形貌

Fig 2 Overview of  $\text{SiC}_p$  /6066Al composite

表 2 为  $\text{SiC}_p$  /6066Al 复合材料在不同状态下的力学性能。由表 2 可知, 在热挤压状态下,  $\text{SiC}_p$  含量为 12%、尺寸为  $7\mu\text{m}$  的  $\text{SiC}_p$  /6066Al 复合材料的强度高于  $\text{SiC}_p$  含量为 1%、尺寸为纳米级的, 但塑性低于后者。固溶时效处理后, 二者的强度相当, 而塑性则远低于后者。这表明细化增强相  $\text{SiC}_p$  的尺寸可在提高材料强度的同时, 改善材料的塑性。

表 2  $\text{SiC}_p$  /6066Al 复合材料在不同状态下的力学性能

Tab 2 Mechanical properties of  $\text{SiC}_p$  /6066Al MMC under different conditions

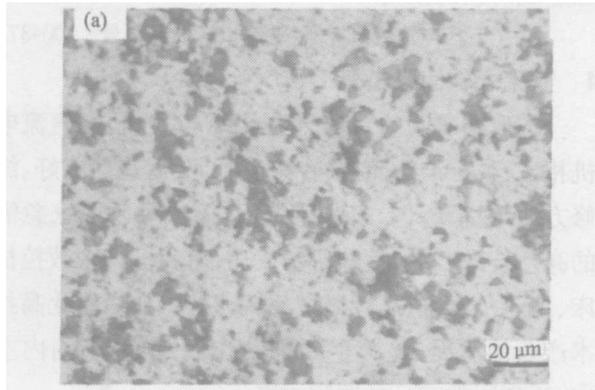
材料状态	$\text{SiC}_p$ 尺寸	$\text{SiC}_p$ /% (体积分数)	a	b	/%
			/MPa	/MPa	
热挤压	$7\mu\text{m}$	12	215	287	6.5
	纳米级	1	188	260	11.6
固溶处理	$7\mu\text{m}$	12	368	432	2.3
	纳米级	1	378	437	8.3

图 3 为  $\text{SiC}_p$  含量为 12%、尺寸为  $7\mu\text{m}$  的  $\text{SiC}_p$  /6066Al 复合材料的显微组织照片。由图 3 可见, 增强相  $\text{SiC}_p$  分布比较均匀, 采用粉末冶金方法制备的铝基复合材料组织致密。图 4 为  $\text{SiC}_p$  含量为 1% 的纳米  $\text{SiC}_p$  /6066Al 复合材料的显微组织照片。在图 4(a) 中, 无法看到增强相纳米  $\text{SiC}_p$ ; 而在图 4(b) 中, 可以看到增强相纳米  $\text{SiC}_p$  均匀分布在铝基体上, 此外纳米  $\text{SiC}_p$  由于尺寸细小发生了团聚, 在成形过程中有孔洞产生。

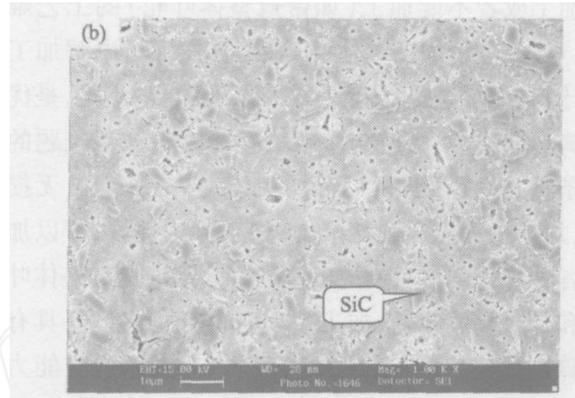
纳米  $\text{SiC}_p$  /6066Al 复合材料的塑性比较高的原因在于增强相纳米  $\text{SiC}_p$  的形状为球状或近球状, 致使增强相与基体界面未发生弱化 [见图 4(b)]; 并

且由于增强相的尺寸较小(纳米数量级),因而在变形过程中产生的位错极易绕过或切割过增强相粒子,很少发生位错缠结,位错强化效果较弱,从而使纳米  $\text{SiC}_p$ /6066A1复合材料的塑性高于普通的  $\text{SiC}_p$ /6066A1复合材料。而体积分数为 1%的纳米

$\text{SiC}_p$ /6066A1复合材料的强度与体积分数为 12%、尺寸为  $7\ \mu\text{m}$ 的  $\text{SiC}_p$ /6066A1复合材料的强度相当,原因在于尺寸细小的增强相纳米  $\text{SiC}_p$ 均匀分布在基体内形成弥散强化造成的。



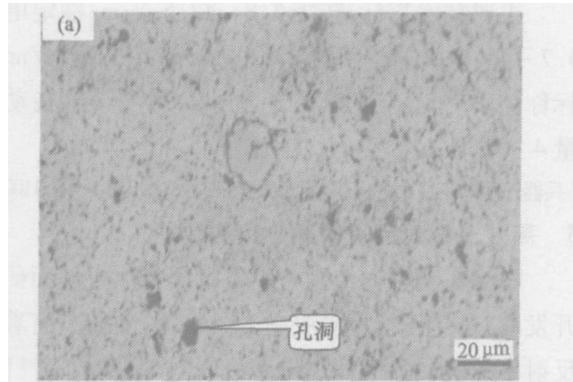
(a) 光学



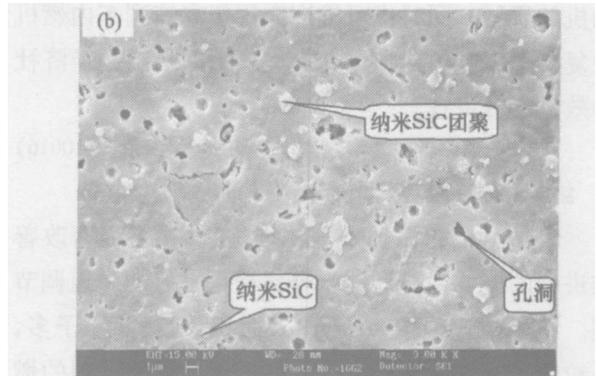
(b) 扫描电镜

图 3  $\text{SiC}_p$ /6066A1复合材料的显微组织照片

Fig 3 Microstructure of  $\text{SiC}_p$ /6066Al metal matrix composite



(a) 光学



(b) 扫描电镜

图 4 纳米  $\text{SiC}_p$ /6066A1复合材料的显微组织照片

Fig 4 Microstructure of nanoparticles  $\text{SiC}_p$ /6066Al metal matrix composite

#### 4 结论

(1) 采用粉末冶金的方法混粉,通过热挤压成形工艺可以制备纳米  $\text{SiC}_p$ 增强铝基复合材料。

(2) 细化增强相尺寸使其达到纳米数量级可在提高复合材料强度的同时改善其塑性。体积分数为 1%的纳米  $\text{SiC}_p$ /6066A1复合材料的强度与体积分数为 12%的尺寸为  $7\ \mu\text{m}$ 的强度相当,并且前者的塑性高于后者。

#### 参考文献

- 1 Papazian J M, Adler P V. Tensile properties of short fiber-reinforced  $\text{SiC}/\text{Al}$  composite, part I Effect of matrix precipitates Metal Trans, 1990; 21A (2): 401
- 2 Zahid B, McMeeking R M. Deformation structures and flow stress in aluminum containing short whiskers Acta Metal Mater, 1991; 39(6): 1 117
- 3 Ellis M B. Joining of aluminum based metal matrix composite Int Mat, 1996; 4 (2): 41

(编辑 吴坚)