第9卷 第2期 复合材料学报 Vol.9 No.3
1992年 7月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA July 1992

碳化硅颗粒增强2124Al复合材料特性研究

马宗义 申红伟 毕敬 吕毓雄 高荫轩

(中国科学院金属研究所， 沈阳110015)

摘要：本文对粉末冶金法制备的SiCp/2124Al复合材料进行了不同温度的拉伸试验和物理性能测试，对并其时效析出特性和磨损性能进行了研究。结果表明，这种复合材料不仅具有高的室温强度、模量和低的热膨胀系数，而且表现出良好的高、低温性能和抗磨损性能。SiC颗粒加入铝合金显著加速了其时效析出过程。

关键词：复合材料，SiC，颗粒，铝合金

1 引言

碳化硅颗粒增强铝（SiCp/Al）复合材料具有良好的机械性能和物理性能，其性能具有各向同性特征，不同于纤维和晶须增强复合材料，兼有结构材料和功能材料的特点。对于这种复合材料可以利用传统的金属加工技术和设备进行制备和加工。尤其重要的是SiC颗粒成本低廉，来源广泛，因而近年来SiCp/Al复合材料受到人们的广泛重视，认为是近期内最有应用前景的金属基复合材料。目前在国外该复合材料已开始在航天、航空、军事及光学仪器等方面投入使用[1-3]。国内也陆续开展了对这种复合材料的研究[4-6]。采用粉末冶金法制备高性能SiCp/Al复合材料是一条有效的工艺方法，本文对粉末法制备的SiC颗粒增强2124Al复合材料的基本性能和时效析出特性进行了研究。

2 试验方法

α—SiC颗粒购自沈阳第一砂轮厂，平均尺寸为3.5μm。基体为本所生产的280目的2124Al（wt：4.01%Cu—1.60%Mg—0.45%Mn—0.08%Zr—0.16%Fe—0.1%Si）微晶粉末。复合材料的制备采用粉末冶金法。热压锭在450℃以20:1的挤压比挤压成棒材。采用Hv硬度法测定复合材料的时效硬化曲线，并利用EM420透射电镜进行微观结构分析，薄膜样品采用离子减薄法制备。复合材料进行T6处理（495℃固溶1小时，水淬，170℃时效4小时）后加工成棒状拉伸试样，在Instron拉力机上进行不同温度的拉伸试验。弹性模量的测定采

第三届中国青年材料科学研讨会论文

用悬丝耦合共振法，用膨胀仪测定热膨胀系数。采用棕刚玉磨损砂纸在ML-10型磨料磨损试验机上进行磨损试验，磨损率计为每单位磨损距离的重量损失。

3 结果与讨论

3.1 拉伸性能

采用粉末冶金法制备SiCp/Al复合材料时，真空热压锭的实际密度一般只有理论密度的97—99%，并且在两相区热压时，铝粉颗粒并没有完全破裂，这使得SiC颗粒的分布还不是很均匀，SiC颗粒与铝基体结合亦不够理想，因而热压SiCp/2124Al复合材料的强度与挤压2124Al大致相当（图1a）。在热压复合材料拉伸断口上可以看到球状凸起，尺寸约为50μm（图2a），这与铝粉颗粒的尺寸大致对应。在经过挤压之后，复合材料的强度有较大幅度的

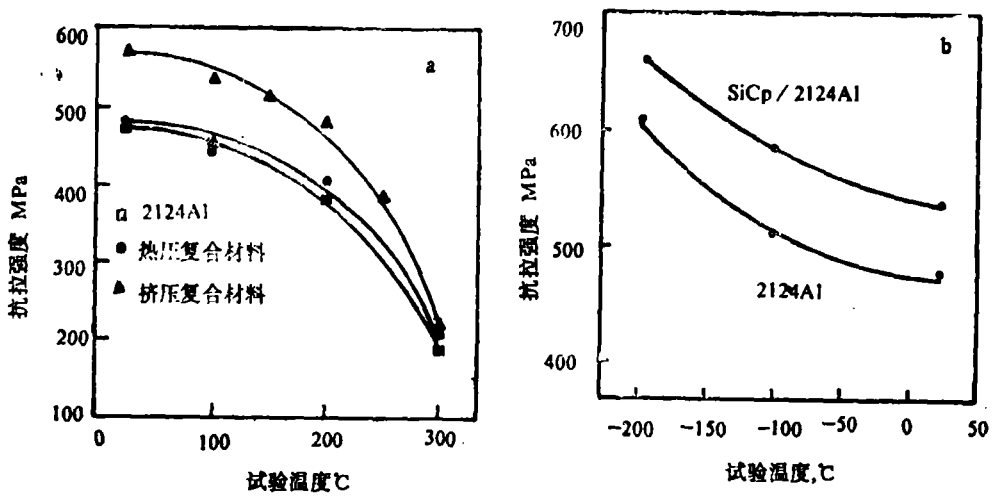


图1 20vol.%SiCp/2124Al复合材料及2124Al的强度—温度曲线

a. 高温强度 b. 低温强度

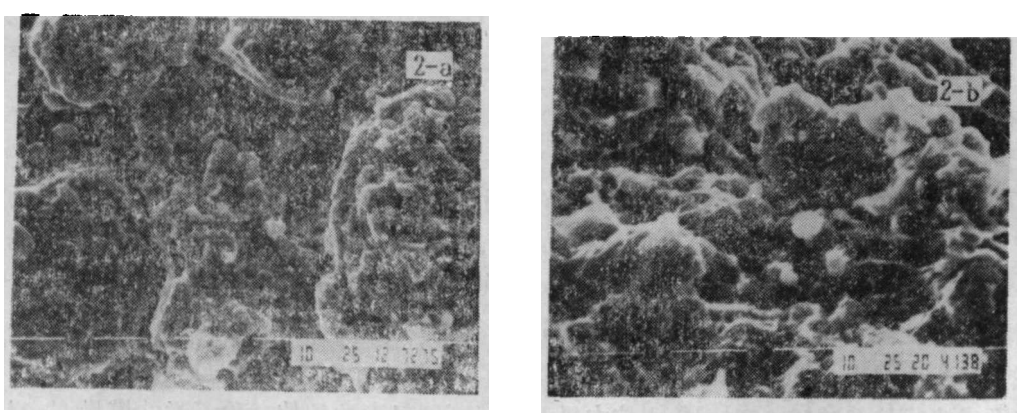
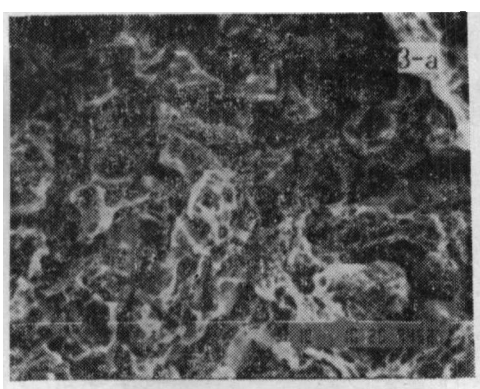


图2 20vol.%SiCp/2124AL复合材料室温拉伸断口SEM照片

a. 热压态 b. 挤压态

提高（图1a），拉伸断口由细小韧窝组成（图2b），表明SiC颗粒的分布是均匀的，界面结合是良好的。从图1a可以看到，这种复合材料具有较好的高温性能，在200℃时20vol%SiCp/2124Al复合材料的强度仍保持在483MPa，与基体铝合金的室温强度相当。图1b为20vol.%SiCp/2124Al复合材料的低温强度及与基体铝合金的比较。随着温度的降低，复合材料的强度逐渐增加，变化趋势与基体合金相同，在－196℃温度下，复合材料的抗拉强度达660MPa，并且这种复合材料的塑性在低温下并没有降低。这表明这种复合材料具有优异的低温性能，不仅适用于高温，而且可以替代基体合金作为低温材料使用。拉伸断口的扫描电镜观察表明，基体合金的低温断口与常温断口不同，表现为沿晶塑性断裂，而SiCp/2124Al复合材料低温断口仍是由小韧窝组成，但在局部有沿晶断裂特征（图3），复合材料低温断口与常温基本相同可以解释为什么复合材料的塑性在低温条件下没有降低。表1为不同SiC颗粒含量复合材料的室温拉伸性能，随着SiC颗粒含量的增加，复合材料的抗拉强度和屈服强度均逐渐增大，20vol.%SiCp／2124Al和30vol.%SiCp/2124Al复合材料的抗拉强度分别较基体合金提高21%和39%，而复合材料的塑性则随SiC颗粒含量的增加而迅速降低。



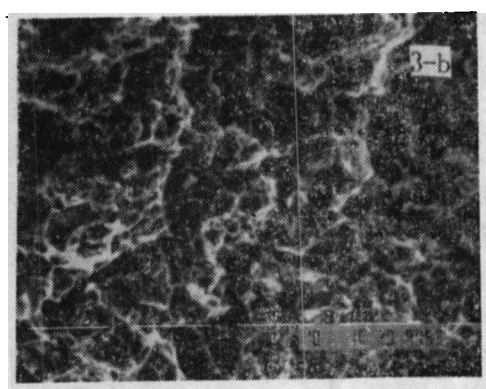


图3　低温（—196°C）拉伸断口SEM照片

a. 2124Al　　b. 20vol.%SiCp/2124Al

表1 不同SiC颗粒含量复合材料室温拉伸性能

SiC颗粒含量(vol.%)	σ_b(MPa)	$\sigma_{0.2}$(MPa)	δ (%)
0	478	300	32.0
20	580	472	3.40
30	665	560	215

3.2 物理性能

图4为复合材料弹性模量—温度曲线。可以看到SiC颗粒加入铝合金显著提高了其弹性模量值，20vol%SiCp/2124Al和30vol.SiCp/2124Al复合材料的室温弹性模量分别为114GPa和125GPa，较基体合金分别提高了62.8%和78.6%，并且在350℃时复合材料的弹性模

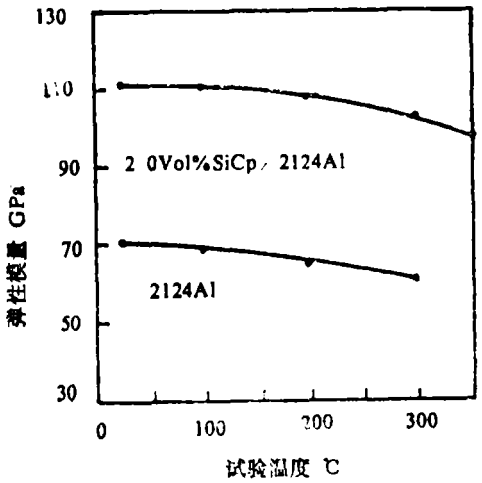


图 4 复合材料弹性模量—温度曲线

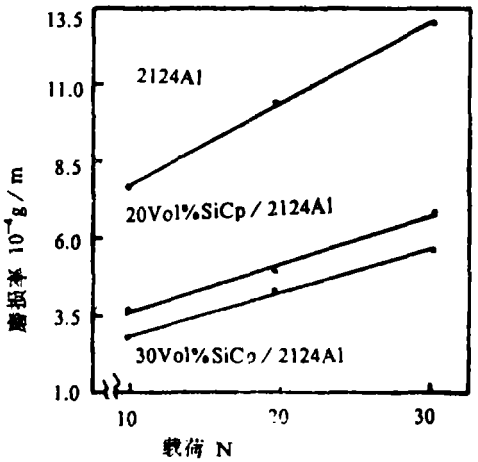


图 5 复合材料磨损率—载荷曲线

量仍保持在较高值。此外，SiC颗粒的加入还显著降显了材料的热膨胀系数，20vol.%SiCp/2124Al和30vol.%SiCp/2124Al复合材料的热膨胀系数（RT—400℃）分别为15.8×10^{-6}和12.8×10^{-6}/℃，即这种复合材料具有良好的热稳定性，并且可以随SiC的加入量而调节，因而是一种理想的尺寸稳定性材料。

3.3 磨损性能

图 5 为复合材料的磨损率—载荷曲线(600#砂纸磨损)。与基体合金相比，复合材料表现出良好的抗磨损性能，在600#砂纸磨损时，复合材料的磨损抗力约为基体合金的 2 倍，并且其磨损抗力随SiC颗粒含量的增加而提高。随着载荷的增加，复合材料和基体合金的磨损率均呈线性增加。增大磨粒尺寸（采用400#砂纸），复合材料及基体合金的磨损率均明显增大，此时复合材料的磨损抗力只是基体合金的1.5倍，这表明相对于基体合金而言，复合材料的磨损抗力随磨粒尺寸的增大而降低，这是由于磨粒尺寸的增大使SiC颗粒增强相更易剥落，使磨损抗力降低。

3.4 时效强化效应

图 6 为170℃时效温度下复合材料及基体合金的时效硬化曲线。在铝合金中添加SiC显著提高了材料的硬度，并随SiC颗粒含量的增加而提高。与基体合金相比，复合材料显示出显著的加速时效特性，在170℃时效温度下，复合材料在 3 — 4 小时就已达到硬度峰值，而基体合金在12小时硬度还在上升。增加SiC含量对复合材料的时效析出特性没有明显的影响。由于SiC与Al的热膨胀系数差异较大（1 :10），在这种不连续SiC增强铝复合材料基体中存在高密度的位错。研究表明[5]，SiCw/Al复合材料基体中的位错密度约比相应铝合金高一数量级。高密度位错为沉淀相S″和S′的不均匀形核提供了有利的场所，并为沉淀相的长大提供了扩散通道，因而使时效析出过程显著加快。图 7 为20vol.%SiCp/2124Al复合材料T6处理后的TEM照片，此时的沉淀相由S″和S′组成，对应于峰值硬度，并且可以看到，沉淀相的存在是与位错密切相关的。

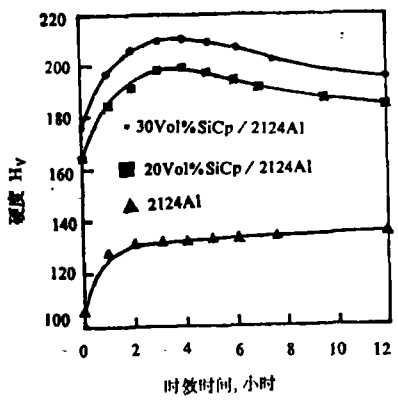


图 6 复合材料时效硬化曲线（170°C时效）

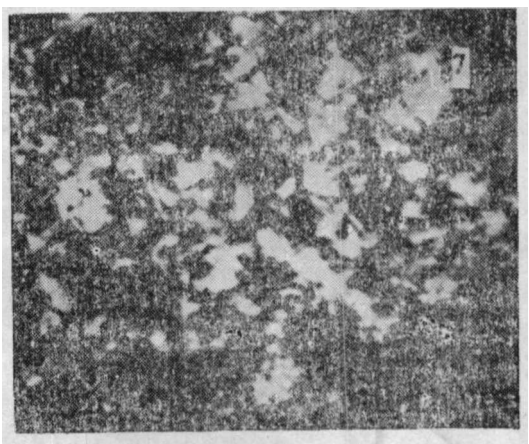


图 7 T6处理复合材料TEM照片

4 结论

1. 热压SiCp/2124Al复合材料具有基体合金的强度，挤压后其强度有较大幅度的提高。

2. SiCp/2124Al复合材料具有高的强度、模量和抗磨损性能，以及低的塑性和热膨胀系数。随SiC颗粒含量的增加，复合材料的强度、模量和磨损抗力均增大，而塑性和热膨胀系数则降低。

3. SiCp/2124Al复合材料具有优异的高、低温性能，复合材料在低温下的塑性和断口特征均无明显的变化。

4. SiC颗粒加入铝合金显著加速了其时效析出过程。SiC体积分数从20%增加到30%对复合材料的时效析出特性没有明显的影响。

参 考 文 献

1 Niskanen P, Mohn W R. Adv. Mater. Process. 1989, 3: 39
2 Mahoney M W, Chosh A K. ICCM—VI. Vol. 2, P372
3 Mohn W R, Vukobratovich D. J. Mater. Eng. 1983, 10 (3): 225
4 吕毓雄等. 航空新材料工程论文集. 1990: 244
5 马宗义等. 第六届全国复合材料会议论文集，第二册，1990: 73
6 吴运学等. 第六届全国复合材料会议论文集，第二册，1990: 63
7 Vogelsang M, Arsenault R J, Fisher R M. Metall. Frans. 1986, 17: 379

CHARACTERISTICS OF SiC PARTICULATE REINFORCED 2124Al COMPOSITE

Ma Zongyi Shen Hongwei Bi Jing Lu Yuxiong Gan Yinxuan

Institute of Metal Research, Academia Sinica

Abstract Tensile tests at various temperatures and physical properties measurement for SiCp/2124Al composite were carried out, the aging response and abrasive wear properties were investigated. The results indicate that the composite exhibits high ambient temperature strength, modulus and low CTE. Moreover, the composite also displays excellent elevated temperature and cryogenic properties, and abrasive wear resistance. The aging response of the composite is evidently accelerated due to addition of SiC particulate.

Key words composite, SiC particulate, aluminum alloy

（上接第32页）

由于这些改进，开发之初曾成问题的耐扭转性已经做到与钢相当或更好些，相对于钢柄的100g乃至120g，在重量上已经能够生产60g多一些的CFRP球棒柄。

棒柄设计上的要点如下：

(1) 弯曲刚性—挠曲，刚性分布、挠曲分布；(2) 重量；(3) 棒柄形状；(4) 扭角；(5) 弯曲强度；(6) 固有振动频率。

棒柄的制造方法是把单向预浸片卷在芯棒上，或者用纤维缠绕（FW）法先用树脂浸渍纤维而后缠在芯棒上 为满足质量要求，在内层加入高模量纤维的±45°层以减小扭转，在外层则通过高强度纤维0°层的排布而使弯曲强度和弯曲模量得到调整。

下面看一下CFRP制高尔夫球棒棒头，所谓“碳头”的情况。木棒的棒头从来就主要用柿木，一直没有什么改变，但金属头、碳头、陶瓷头等新材料的利用也发展很快。1982年开始销售碳头以来，很快得到普及，其理由是：优良柿木有来源枯渴的危机感；先出现金属头，而后出现碳头，碳头给人的感觉是更象木制棒头，更容易适应；拼合式球出现后飞行距离加长，但产生了木制棒头易受损伤的问题。这样看，碳头的开发实际上与减轻重量没有直接关系。碳头由于取空心结构而使其表观比重与木材相同，在此前提下CFRP头与木材不同，其表现出的特点是：有设计自由度，重心位置容易调整，因此可以加大飞行距离，飞行方向达到稳定化。

（下转第58页）