

TiC_p/ZA43 复合材料的制备 及其拉伸性能^①

刘金水 舒震 项品峰 谢贤清 肖汉宁

(湖南大学机械与汽车工程学院, 长沙 410082)

摘要 采用XD法与搅拌铸造技术相结合的工艺制备了TiC_p/ZA43复合材料, 其中TiC粒子的尺寸为0.5~1.5 μm, 在基体中分布均匀。对TiC_p/ZA43复合材料室温至250℃温度范围的力学性能进行了测试, 获得了该复合材料的应力-应变曲线及力学性能与温度的关系, 并对其高温拉伸断口进行了分析。结果表明: TiC粒子提高了材料的强度, 尤其是显著提高了高温强度; TiC_p/ZA43复合材料的断裂方式与拉伸温度有关, 在250℃时呈现塑性断裂。

关键词 复合材料 TiC_p/ZA43 高温力学性能 断裂

中图法分类号 TG148

高铝锌合金(ZA8, ZA12, ZA27, ZA43)在代替铜合金作为耐磨材料方面取得了显著成效^[1, 2]。锌合金耐磨材料的一个主要缺点是其允许的工作温度不高(低于150℃), 当工作温度超过150℃以后, 其蠕变强度和抗拉强度大幅度下降。采用Si, Mn合金化可改善ZA27及ZA43的高温性能, 但其提高幅度有限^[3]。TiC具有高硬度、高模量、高熔点等特性, 作为增强体对提高复合材料的耐磨性和高温性能有显著效果。TiC陶瓷颗粒增强的金属基复合材料愈来愈受到重视^[4]。

在众多的颗粒增强金属基复合材料制备方法中, 粉末冶金法制备的材料性能虽好, 但工艺复杂, 成本较高; 普通铸造方法成本虽低, 但基体金属对增强体的润湿性与界面反应存在矛盾, 增强体在基体金属中的混合与分布不均匀等问题难解决; 反应生成法具有制备工艺相对简单、成本低等优点, 所制备的复合材料的增强体和基体之间的结合良好, 且颗粒尺寸一般较小, 是较为理想的复合材料制备方法。反

应生成法主要的工艺有固-液法、气-液法、SHS法及XD法等。本文采用XD+铸造法制备了TiC粒子增强的ZA43复合材料, 对其高温拉伸性能进行了测试, 并对其拉伸断口形貌及复合材料的组织结构进行了观察。

1 实验方法

将Al粉(纯度99.6%, $\leq 147 \mu\text{m}$), Ti粉(纯度99.4%, 粒径 $\leq 50 \mu\text{m}$)和工业高纯石墨, 按一定比例配制后在球磨机上混合研磨24h, 然后在万能材料试验机上压制成块, 再在烧结炉内烧结(氩气保护), 制备AlTiC预制块, 然后将这些预制块在900℃下加入到AlCu合金熔体中, 搅拌后将Zn加入到含TiC的AlCu合金液中。基体合金的成分为: 43% Al, 2% Cu, 0.02% Mg, 其余为Zn。待Zn熔化后搅拌, 精炼除气, 在750℃左右金属型浇注制得5% TiC_p/ZA43(体积分数)复合材料试样。用金

① 机械工业部资助项目 9686 收稿日期: 1997-10-29; 修回日期: 1998-03-23

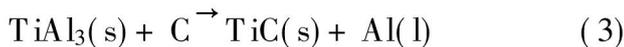
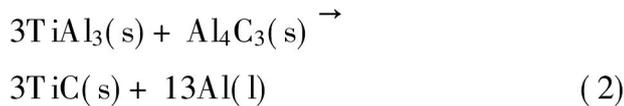
刘金水, 男, 36岁, 副教授, 博士研究生

相显微镜观察 TiC 粒子在基体中的分布及铸态组织, 全自动 X 射线衍射仪 (CuK α) 测定复合材料的相组成, 扫描电镜观察 TiC 粒子的形貌尺寸及拉伸断口形貌。高温拉伸试验在 Gleeble 1500 热模拟机上进行, 拉伸速度为 0.5 mm/min, 升温速度为 10 $^{\circ}$ C/s, 于试验温度保持 10 min 后进行拉伸试验, 试验温度分别为 100 $^{\circ}$ C, 150 $^{\circ}$ C, 200 $^{\circ}$ C 和 250 $^{\circ}$ C。

2 实验结果及讨论

2.1 Ti-C-Al 体系热爆合成 TiC 的尺寸及形貌

在 Ti-C-Al 体系热爆合成时, 可能产生的化合物有: TiC, Al $_4$ C $_3$, TiAl $_3$ 等。TiC 除了以 Ti 与 C 直接反应的方式生成外, 还可通过 TiAl $_3$ 与 C 或 Al $_4$ C $_3$ 的反应而生成。合成 TiC 的反应有



Ti-C-Al 体系发生热爆合成反应时, 热力学上最稳定的 TiC, TiAl $_3$ 及 Al $_4$ C $_3$ 等化合物可能作为反应的中间产物存在于反应的某一阶段, 但充分反应后, 它们最终为 TiC 所取代而消失^[5]。因此, 在热爆反应合成的复合材料中所观察到的化合物粒子只有 TiC。TiC 粒子的尺寸为 0.5~1.5 μ m, 且大小均匀, 呈球状(见图 1、图 2)。

2.2 TiC_p/ZA43 复合材料的显微组织

ZA43 合金一次结晶的平衡组织为单相 α' 固溶体, 实际结晶时发生枝晶偏析。枝晶偏析的直接后果是实际固相线温度下降, 导致凝固末期少量残余液相发生二元共晶及三元共晶反应^[6]。ZA43 合金凝固时的初生相为面心立方 α' 相, 开始结晶时所形成的初生 α' 相的晶格常数为 0.398~0.400 nm^[7], 反应生成的 TiC 粒子为面心立方晶格, 其晶格常数为 0.432 nm^[8]。 α' 相与 TiC 不仅晶格类型相同, 而且最

邻近的金属原子的间距也相近, 符合共格对应原则的要求, 因此, TiC_p/ZA43 复合材料凝固时, TiC 是 α' 相有效的异质晶核, 使基体组织由发达的树枝晶转变为等轴晶(图 3(a), 3(b))。图 3(c) 为 TiC 粒子在基体合金中的分布, 可见 TiC 粒子在基体中分布均匀, 其尺寸基本没有变化。图 4 为 TiC_p/ZA43 复合材料 X 射线衍射分析结果。

2.3 室温及高温拉伸性能

图 5 的拉伸曲线和表 1 的力学性能测试结果表明: (1) 在室温和高温条件下, ZA43 合金和 5% TiC_p/ZA43(体积分数)复合材料的静态

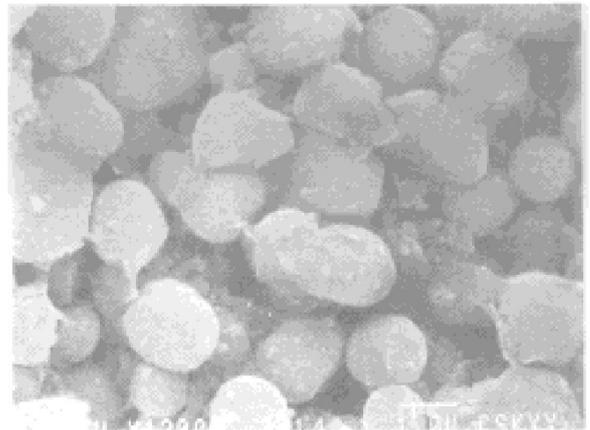


图 1 Al-TiC 预制块中 TiC 粒子的 SEM 形貌

Fig. 1 SEM morphology of TiC particles in Al-TiC

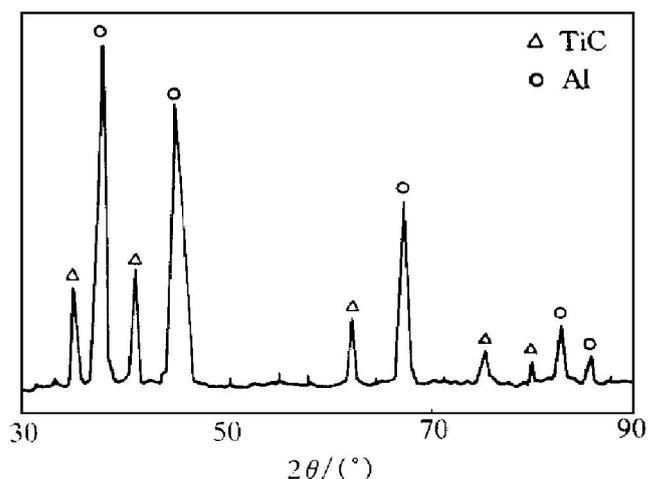


图 2 Ti-C-Al 体系热爆反应产物的 XRD 谱

Fig. 2 XRD pattern of combustion synthesis products from Ti-C-Al system

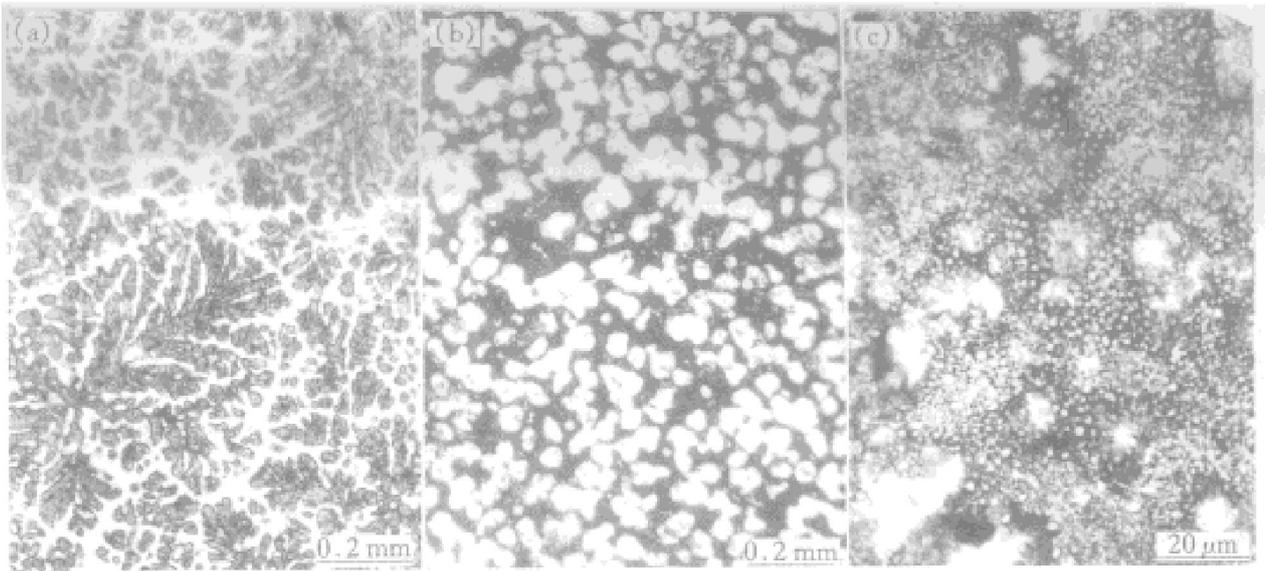


图 3 ZA43 合金和 TiC_p/ZA43 复合材料的显微组织

Fig. 3 Microstructures of ZA43 alloy and TiC_p/ZA43 composites

(a) —ZA43 alloy; (b), (c) —5% TiC_p/ZA43 (volume fraction)

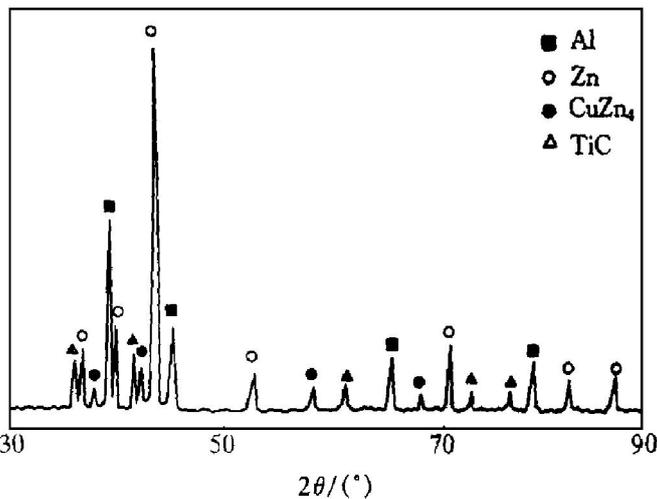


图 4 TiC_p/ZA43 复合材料的 XRD 谱

Fig. 4 XRD pattern of TiC_p/ZA43 composites

拉伸曲线均没有明显的屈服点, 应变强化效应不显著; (2) 无论是在低温还是在高温, 复合材料的抗拉强度都比 ZA43 合金为高; (3) 随着温度的升高, ZA43 合金和复合材料的抗拉强度下降, 但 ZA43 合金的下降更为显著; (4) TiC 能显著提高基体合金的强度, 特别是高温强度。

TiC 粒子显著提高基体合金室温强度的原因在于: (1) 基体合金液对反应自生法制备的 TiC 粒子润湿性好^[9], 凝固后与基体的界面结

表 1 不同温度下 ZA43 和 TiC_p/ZA43 复合材料的力学性能

Table 1 Mechanical properties of ZA43 alloy and TiC_p/ZA43 composites at different temperatures

Material	<i>t</i> / °C	σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ / %
ZA43	25	340	298	4.5
	100	280	210	7.5
	150	174	123	11.3
	200	100	65	11.4
	250	57	46	15.7
5% TiC / ZA43 (Volume fraction)	25	370	320	1.5
	100	332	260	2.7
	150	231	176	4.0
	200	150	113	4.3
	250	128	82	5.2

合力较强。同时, TiC 是 Al-Ti-C 体系中热力学最稳定的化合物, 在液态合金的高温下反应趋于平衡, 在 TiC 与基体合金的界面上无其它金属间化合物生成, 因而界面干净, 能充分发挥 TiC 陶瓷粒子的强化效果; (2) TiC 粒子的强化作用可用 Orowan“质点回环”机制来解释, 即运动位错线与 TiC 粒子相遇时可以绕过 TiC 粒子, 但会在 TiC 粒子周围留下位错环。位错环的应力场使随后的位错线通过变得困难, 从

而起到强化作用; (3) TiC 粒子是 α' 相有效的异质晶核, 能显著细化基体合金的组织。细化晶粒是金属强韧化的重要手段, 不过由于存在大量第二相粒子, 晶界的影响将处于次要地位。然而, TiC 粒子的加入隔裂了基体合金的延续性, 且产生应力集中, 使材料塑性降低。这几种效应共同作用的结果使 TiC_p/ZA43 复合材料的室温强度相对于基体合金显著提高, 而其塑性降低。

随着拉伸温度的升高, 基体的流变应力降低, 热激活可使受阻的位错再次运动而使强化作用消失, 但弥散的第二相粒子一般可作为位错运动的障碍, 因位错需交滑移或攀移才能越过, 故强化作用可保持到较高温度。因此, TiC 粒子的加入能显著提高基体合金的高温强度。

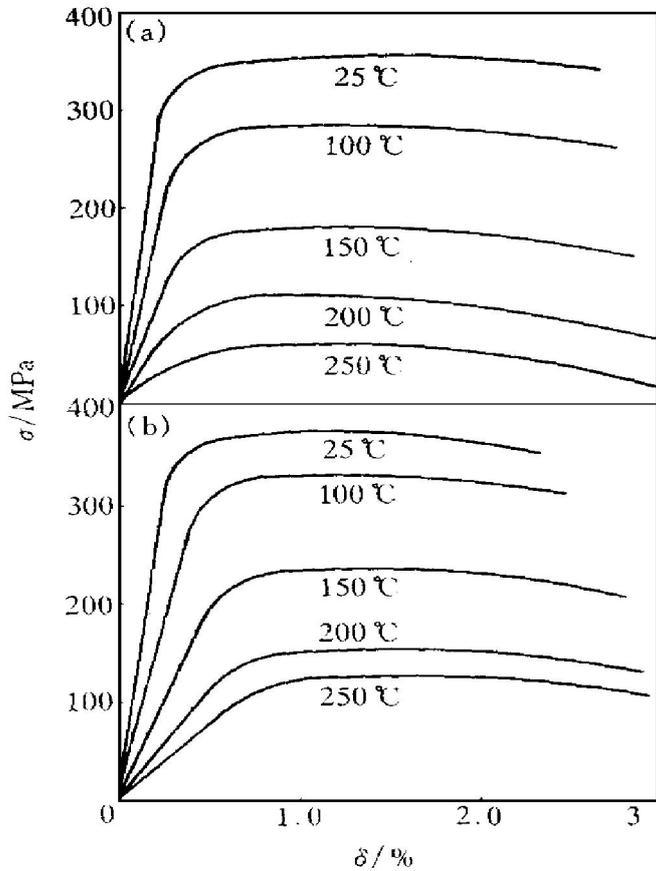


图 5 ZA43 合金和 TiC_p/ZA43 复合材料在不同温度下的位伸应力-应变曲线

Fig. 5 Curves of tensile stress vs strain of ZA43 alloy and TiC_p/ZA43 composites at different temperatures
(a) —ZA43 alloy;
(b) —TiC_p/ZA43 composites

2.4 拉伸断口

室温下 TiC_p/ZA43 复合材料的拉伸断口表明其断裂方式为混合断裂(图 6(a)), 其拉伸断口上有粗大的河流花样和明显的拉长韧窝与撕裂韧窝。随着温度的升高, 由于基体 ZA43 合金的塑性增加, 粗大的河流花样逐渐变细变少, 到 250 °C 时, 已没有明显的河流花样存在; 同时, 韧窝也逐渐增多变大, 断口的塑性断裂特征更加显著。250 °C, 已呈现典型的塑性断裂特征。从拉伸断口的宏观特征来看, 常温下几乎没有缩颈。然而随着试验温度的升高, 缩颈越来越显著, 这说明 TiC_p/ZA43 复合材料在较高温度下拉伸时借助于塑性流变的方式产生颈缩而断裂。

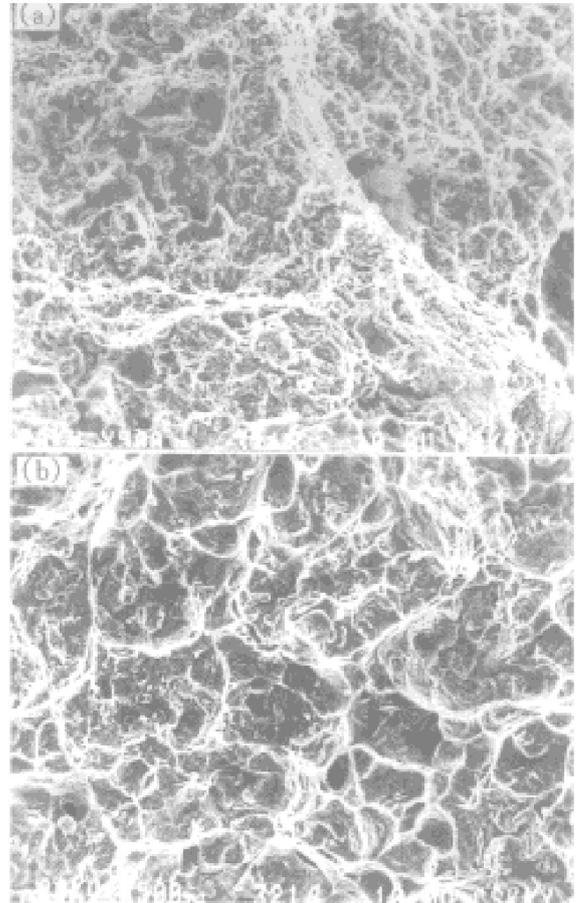


图 6 TiC_p/ZA43 复合材料在不同温度下的拉伸断口 SEM 形貌

Fig. 6 SEM morphologies of tensile fractures of TiC_p/ZA43 composites at different temperatures
(a) —25 °C; (b) —250 °C

3 结论

(1) 采用 XD+ 铸造法制备的 TiC_p/ZA43 复合材料中, TiC 粒子尺寸为 0.5~1.5 μm, 且分布均匀。

(2) TiC 粒子是 ZA43 合金 α' 相有效的异质晶核, TiC 的加入使基体合金由发达的树枝晶转变为细小的等轴晶。

(3) TiC 的加入能大幅度提高基体合金的强度, 特别是高温强度。

(4) 随着拉伸温度的提高, TiC_p/ZA43 复合材料的断裂方式由混合断裂转变为塑性断裂。

REFERENCES

1 Begg J D. Ph Dissertation. Loagborough University of Technology, UK, 1992.

- 2 Liu Jinshui(刘金水), Xie Xianqing(谢贤清), Jiang Bin(蒋冰) *et al.* The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(Suppl. 1): 6-10.
- 3 Shu Zhen(舒震) and Liu Jinshui(刘金水). Journal of Hunan University, 1994, 8: 27.
- 4 Premkumar M K and Chu M G. Metal Trans, 1993, 24A(10): 2358.
- 5 Xiang Pinfeng(项品峰). Master thesis. Changsha: Hunan University, 1997.
- 6 Yuan Bin(袁斌). Master thesis. Changsha: Hunan University, 1993.
- 7 Liu Jinshui(刘金水) and Shu Zhen(舒震). Acta Metal Sinica, 1993, 11A: 487.
- 8 Li Rongjiu(李荣久). Ceramic-metal Composite. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1995: 58.
- 9 Muscat D, Shanker K and Drew R A L. Mater Sci Techno, 1992, 8(11): 971.
- 10 Liu Jinshui(刘金水), Xiao Hanning(肖汉宁), Shu Zhen(舒震) *et al.* The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(2): 259.

FABRICATION AND TENSILE PROPERTIES OF TiC PARTICLES REINFORCED ZA43 COMPOSITES

Liu Jinshui, Shu Zhen, Xiang Pinfeng, Xie Xianqing and Xiao Hanning
*School of Mechanical and Automobile Engineering,
Hunan University, Changsha 410082, P. R. China*

ABSTRACT TiC_p/ZA43 composites was successfully prepared by combining advantages of XD and stirring-casting techniques. The microstructures of TiC_p/ZA43 composites exhibited a uniform dispersion of TiC particles with size of 0.5~1.5 μm in matrix. The tensile properties of TiC_p/ZA43 composites at ambient and elevated(to 250 °C) temperatures were studied. The stress-strain plots varies with temperature and the relationship between the mechanical properties of the composites and temperature were obtained. The results showed that TiC particles remarkably improve the strength of the composites at room and elevated temperatures, and the fracture modes of the composites are dependent on temperature, at about 250 °C, the composite has high plasticity.

Key words composites TiC_p/ZA43 mechanical property at elevated temperature fracture

(编辑 黄劲松)