

文章编号:1673-9981(2018)01-0018-04

ZTA/A356 复合材料的摩擦磨损性能研究*

王娟¹,许小军²,邢文超³,王大亮⁴

1. 广东省材料与加工研究所,广东 广州 510650;2. 广东东方锆业科技股份有限公司,广东 汕头 515000;
3. 河北坤腾实业集团有限公司,河北 衡水 053000;4. 江苏双发机械有限公司,江苏 兴化 225700

摘要:利用热压烧结制备了 ZTA 陶瓷预制体,然后通过压力浸渗工艺制备了 ZTA/A356 复合材料,同时对复合材料的摩擦磨损性能进行了测试分析.试验结果表明,ZTA/A356 复合材料的体积损失约为 A356 基体铝合金的 1/4,且复合材料的摩擦磨损性能随 ZTA 颗粒粒度的减小先下降再提高.

关键词:铝基复合材料;摩擦磨损;颗粒增强;压力铸渗

中图分类号:TB331;TG146.21

文献标识码:A

近年来,陶瓷颗粒增强铝基复合材料在工程领域中得到广泛地应用.丰田汽车公司通过制备复合层来提高缸体的耐磨性能以延长发动机的使用寿命,福特汽车公司生产的复合制动盘被大量用于高级轿车上.国内,通过增强复合材料良好的耐热性、低的热膨胀性,提高其稳定性,使其大量运用于电子元器件底座.

目前,颗粒增强铝基复合材料耐磨性的理论研究仍不成熟.本研究通过挤压铸渗法制备了 ZTA/A356 复合材料,并对其耐磨性能及其磨损机制进行了研究.

1 试验材料与方法

1.1 原料

制备复合材料所选基体为 A356 铝合金. ZTA 陶瓷微米粉由江苏宜兴购得(表 1),将其在 1550 °C 下烧结,最终获得 ZTA 陶瓷,其显微硬度可达 1400 HV、断裂韧性 K_{IC} 大于 $9.0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. 将 ZTA 陶瓷进行破碎,使其粒度分别为 800~400, 400~100, 100~50 和 50~2 μm .

表 1 ZTA 陶瓷粉成分

Table 1 Chemical compositions of ZTA powder

成分	Al_2O_3	$\text{ZrO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$	TiO_2	SiO_2	Fe_2O_3	Na_2O
含量 $w/\%$	79.5	20	0.02	0.03	0.01	0.02

1.2 复合材料制备

首先将 ZTA 陶瓷颗粒通过热压烧结制备成预制体,然后采用熔体压力浸渗的工艺将其与铝合金进行复合.

图 1 为挤压模具装置示意图.首先在模具预热炉

中预热陶瓷预制体,温度控制在 500~600 °C,然后将一段铝合金放置在陶瓷预制体上,升温至 800 °C,在外加压力 55~70 MPa 下,依靠外加压力和毛细管力使熔融液态金属沿着预制体内的通道浸渗入陶瓷缝隙内部,冷却后即得到 ZTA/A356 复合材料.

收稿日期:2017-11-22

* 基金项目:广东省科技计划项目(2014B020216008);广东省公益与创新能力建设专项(2016B070701024)

作者简介:王娟(1981-),女,山东烟台人,博士,高级工程师.

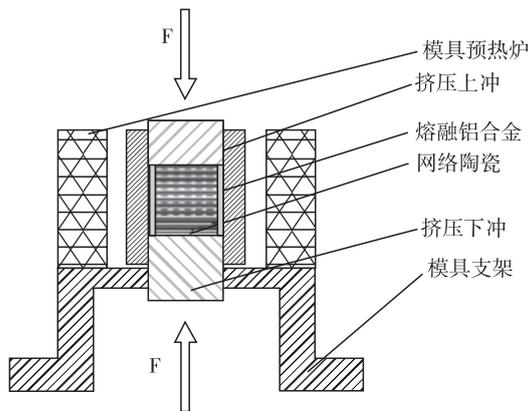


图 1 挤压模具装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the extrusion die device

1.3 检测方法

摩擦磨损试验前需对试样进行处理,用砂纸去除试样表面的加工痕迹,使其平整、光滑.磨损试验开始前先进行 10 min 的预磨损,目的是使试样磨合.每次完成磨损试验后的试样在酒精中超声清洗、干燥,并用分析天平称重.摩擦磨损后的复合材料试样清洗干净,在扫描电镜下观察其损伤表面形貌.

用 UMT-3 多功能摩擦磨损试验机(美国 CETR 公司)测试 ZTA/A356 复合材料的耐磨性能,用 SEM 扫描电镜观察摩擦磨损后复合材料的表面形貌.

2 结果及讨论

2.1 耐磨性能

通过往复摩擦磨损试验来测试复合材料的耐磨性能,图 2 为不同粒度 ZTA/A356 复合材料的体积损失量.从图 2 可见:当陶瓷粒度分别为 800~400,400~100,100~50 和 50~2 μm 时,ZTA/A356 复合材料的体积损失量分别为 3.08,4.85,5.42 和 1.86 mm^3 ;随着 ZTA 颗粒粒度的减小,复合材料体积损失量呈现先增后减的变化趋势,在 ZTA 增强颗粒粒度为 50~2 μm 时,ZTA/A356 复合材料的体积损失量最小,表明材料的耐磨性能好.相比 A356 铝合金的体积损失量 12.23 mm^3 ,不同 ZTA 粒度复合材料的平均体积损失量大约是铝合金体积损失量的四分之一,表明复合材料的耐磨性远远好于铝合金的.

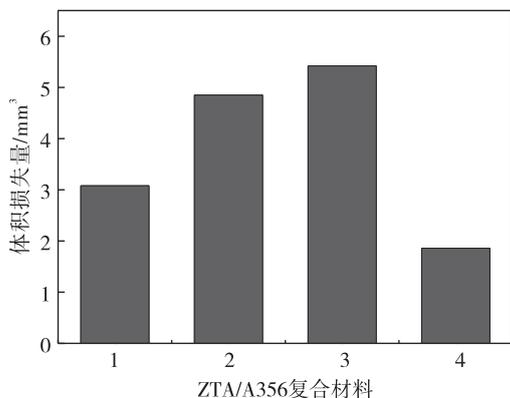


图 2 不同 ZTA 粒度的复合材料体积磨损量

1-800~400 μm ;2-400~100 μm ;3-100~50 μm ;4-50~2 μm

Fig.2 Volume wear of composites with different ZTA particle sizes

2.2 摩擦系数

动摩擦系数与滑动摩擦力的大小和彼此接触物体的相互间的正压力成正比,其与接触物的材料、表面光滑程度、干湿程度、表面温度及相对运动速度等有关关系.

图 3 为不同粒度的 ZTA/A356 复合材料的摩擦系数.从图 3 可见,ZTA 粒度为 800~400,400~100,100~50 及 50~2 μm 的 ZTA/A356 复合材料的摩擦系数分别为 0.526,0.507,0.537 和 0.340.不同工况下对 ZTA/A356 复合材料的耐磨性要求也不同,有的工况要求耐磨件材料具有高的摩擦系数和低的磨损量,这时可选取 ZTA 粒度为 800~

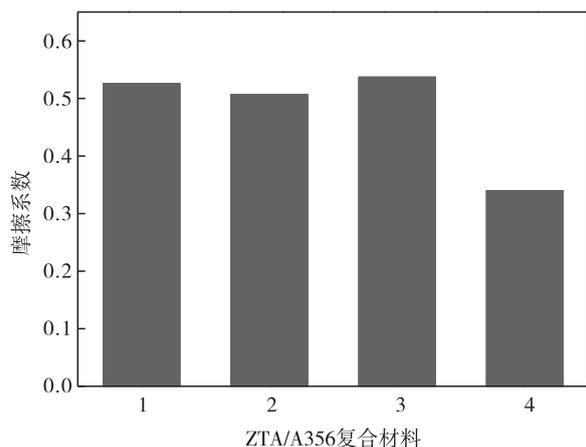


图 3 不同粒度的 ZTA/A356 复合材料的摩擦系数

1-800~400 μm ;2-400~100 μm ;3-100~50 μm ;4-50~2 μm

Fig.3 The friction coefficient of ZTA/A356 composites with different ZTA particle size

400 μm 的 ZTA/A356 复合材料;而对于活塞一缸套等耐磨系统,其要求耐磨件材料具有低的摩擦系数和低的磨损量,此时可选取 ZTA 粒度为 50~2 μm 的 ZTA/A356 复合材料。

2.3 摩擦磨损形貌

复合材料的磨损机制可以分粘着摩擦磨损、疲劳摩擦磨损和磨粒磨损三个阶段。

图 4 为 ZTA/A356 复合材料和铝合金的摩擦磨损形貌。从图 4(a)可以看出:铝合金基体磨损量远大于 ZTA 颗粒的磨损量,突出表现为 ZTA 颗粒周围基体下凹而 ZTA 颗粒凸出(图 4 中 A 区域的放大 SEM 形貌所示);ZTA 表面的犁痕很浅且有很明显的方向性,而 A356 铝合金表面的犁痕很深,磨损量很大,说明主要的耐磨载体是 ZTA 颗粒。试验过程中发现,随着磨损时间增加,ZTA/A356 复合材料的耐磨性也随之提高,磨损率也缓慢降低。这是因为刚开始磨损时主要载体是 ZTA 颗粒和铝基体,由于 ZTA 颗粒的硬度相比铝基更高,因此在

相同时间内,铝合金基体磨损量远大于 ZTA 颗粒的磨损量,磨损一段时间后,磨损的主要载体变为 ZTA 颗粒。从图 4(b)可见,A356 铝合金表面含有大量的深的磨损凹槽,而且 A356 铝合金摩擦表面的磨损碎粒和歪曲形貌远超图 4(a)中 ZTA/A356 复合材料表面的磨损碎粒和歪曲形貌(图 4 中 B 区域的放大 SEM 形貌所示)。这些歪曲的表面形貌和碎粒是在基体断裂之后形成的,这是由于在钢销与摩擦试样接触面形成的碎粒使试样在摩擦磨损过程中存在一定的磨粒磨损,且主要是通过摩擦副接触面上的剪切行为在试样表面开槽,进而加剧了材料的磨损。

从磨损形貌上看,磨损碎粒和歪曲形貌对材料表面磨损起重要作用,材料的磨损随磨损碎粒和歪曲形貌的形成和长大而加剧。相对于 A356 铝合金,ZTA/A356 复合材料的磨损表面只存在轻微的磨粒磨损,因而磨损率小很多。

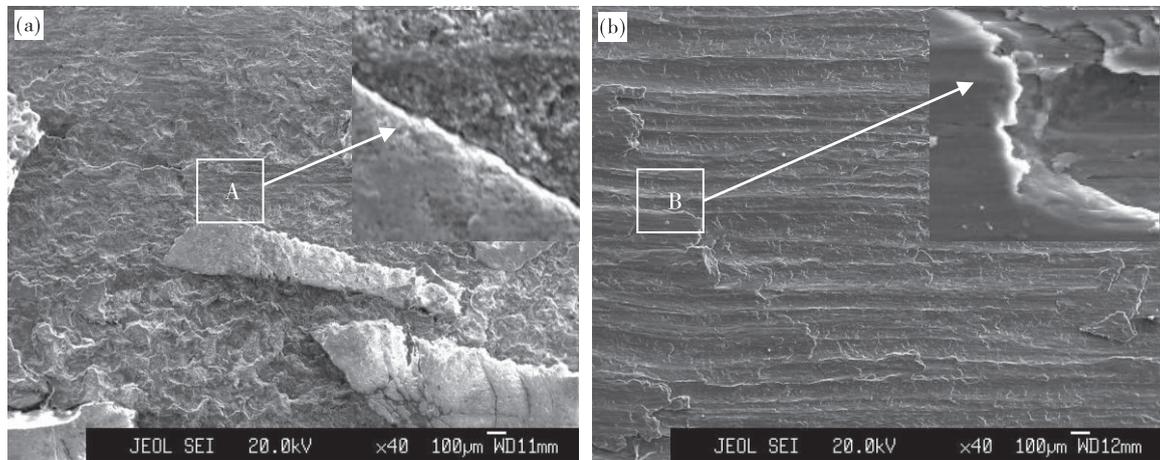


图 4 不同材料表面摩擦磨损后的 SEM 形貌

(a)粒度为 800~400 μm 的 ZTA/A356 复合材料;(b)A356 铝合金

Fig. 4 SEM morphology after friction and wear of different materials

(a)800~400 μm ZTA/A356 composites;(b)A356 aluminium alloy

3 结论

ZTA/A356 铝基复合材料的摩擦磨损性能远好于 A356 铝合金。随着 ZTA 颗粒粒度的减小,ZTA/A356 复合材料的摩擦磨损性能先下降再提高;当 ZTA 颗粒粒度为 800~400,400~100,100~50 及 50 μm 时,ZTA/A356 复合材料的体积损

失量分别为 3.08,4.85,5.42 和 1.86 mm^3 ,复合材料的体积损失量大约是 A356 铝合金体积损失量的四分之一。ZTA/A356 复合材料和 A356 铝合金的磨损形貌表明,ZTA/A356 复合材料的摩擦磨损性能远高于 A356 铝合金。

参考文献:

[1] MIRACLE D B. Aeronautical applications of metal-

- matrix composites [M]. OH: ASM International, 2001: 1043-1049.
- [2] LLOYD D J. Particle reinforced aluminium and magnesium matrix composites [J]. International Materials Reviews, 1994, 39(1): 1-23.
- [3] SANNINO A P, RACK H J. Dry sliding wear of discontinuously reinforced aluminum composites: Review and discussion [J]. Wear, 1995, 189(1): 1-19.
- [4] MIRACLE D B. Metal matrix composites—from science to technological significance [J]. Composites Science and Technology, 2005, 65(15-16): 2526-2540.
- [5] 于春田. 金属基复合材料 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995: 81-83.
- [6] HASHIM J, LOONEY L, HASHMI M S J. Particle distribution in cast metal matrix composites—part I [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 123(2): 251-257.
- [7] EZATPOUR H R, SAJJADI S A, TORABI PARIZI M. Comparison of microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy/ Al_2O_3 composites fabricated by stir and compo-casting processes [J]. Materials & Design, 2011, 34(12): 106-111.
- [8] 丁占来, 齐海波, 樊云昌, 等. SiC 颗粒增强铝基复合材料制动盘的研究 [J]. 复合材料学报, 2001, 18(1): 62-64.
- [9] SEYED REIHANI S M. Processing of squeeze cast Al6061-30vol%SiC composites and their characterization [J]. Materials & design, 2006, 27(3): 216-222.

Study on abrasive properties of ZTA/A356 composites

WANG Juan¹, XU Xiaojun², XING Wenchao³, WANG Daliang⁴

1. Guangdong Institute of Materials and Processing, Guangzhou 510650, China; 2. Guangdong Orient Zirconia Industry Science and technology Co., Ltd., Shantou 515000, China; 3. Hebei Kun Teng Industrial Group Co., Ltd., Hengshui 053000, China; 4. Jiangsu Shuangfa Machinery Co., Ltd., Xinghua 225700, China

Abstract: In the present study, ZTA ceramic perform were firstly prepared by hot press sintering, and then A356 was poured into the ZTA ceramic perform to fabricate ZTA/A356 composite by pressure infiltration process. The friction and wear properties of ZTA/A356 composite were addressed. The results show that the ZTA/A356 composite is about a quarter of the volume losses of A356, and the wear resistance properties of composite firstly decrease and then increase with the decrease of ZTA particle size.

Key words: aluminum matrix composites; abrasion; particle reinforcement; pressure infiltration