第 15 卷 第 1 期 复 合 材 料 学 报 Vol 15 No. 1
1998 年 2月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA February 1998

铸造 Gr_P•SiC_P/ZA27混杂复合材料磨损行为的研究

郝 远 陈体军 寇生中
(甘肃工业大学材料工程系, 兰州 730050)

摘 要 本文研究了5vol% Gr_P 和10vol% SiC_P 混合增强 ZA27复合材料滑动磨损行为。分析了在不同载荷(3～8kg)、不同滑动速度(0.1～1m/s)下的磨损机制, 并与 SiC_P/ZA27复合材料和 ZA27基体合金作对比。试验结果表明: 混杂复合材料的耐磨性优于其它两种材料。这是因为 Gr_P 的加入提高了材料抗粘着和层离能力; 随着载荷或滑动速度的增大, 材质的磨面形貌和磨层结构发生变化, 由此得出其磨损机制也随之变化。

关键词 石墨粒子(Gr_P), SiC_P 和 Gr_P 混合增强 ZA27复合材料, 磨损
中图分类号 TB331

进一步提高锌基合金的摩擦磨损性能的重要途径之一是研制锌基复合材料。文献[1～3]研究表明增强体 SiC_P、Al_2O_{3f}的复合明显提高了材质耐磨性能。同样, C_f、Gr_P 的加入也可提高材质的耐磨性能。尤其是可改善材质的减摩性能[4～5]。Ames[6]研究 Gr_P•SiC_P 混杂增强铝基复合材料磨损行为发现, 两种粒子的共同作用使其磨损性能优于单一粒子增强的复合材料。为此, 本文研究5vol% Gr_P•10vol% SiC_P 混合增强 ZA27复合材料的磨损行为, 揭示其磨损参数变化时的磨损机制。

1 实验材料及方法

实验材料: (1) ZA27合金(wt%): Al: 27%, Cu: 2%, Ti: 0.04%, Mg: 0.02%, RE: 0.02%; (2) SiC_P/ZA27复合材料: 含20μm SiC_P10vol%; (3) Gr_P•SiC_P/ZA27混杂复合材料: 在(2)中加入粒度为30～40μm、含量为5vol%的 Gr_P。采用复合铸造法先制出20μm 10vol% SiC_P/ZA27复合材料[7], 重熔后在半固态下加入经预处理的 Gr_P, 适当搅拌再升温至530℃浇入金属型, 其金相如图1所示。

磨损试验在销盘式试验机上进行, 上述材料制成 ϕ8×18mm 的销, 对磨材料为硬度 HRC27的45# 钢, 磨损表面经800目的砂纸打磨。试验载荷: 3～8kg, 滑动速度: 0.1～1m/s, 磨损时间: 20min。磨损量由万分之一天平测定。为了观察磨损破坏层的特征, 把磨损试样沿划痕方向切开制样, 用 Keller 腐蚀剂腐蚀。

收修改稿, 初稿日期: 1996-11-26, 1996-06-01

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

2　实验结果与分析

为了研究和比较三种材料的磨损特征及机制, 下面从磨损过程中失重、磨面形貌和磨层组织变化来揭示磨损机制。

2 1　磨损量

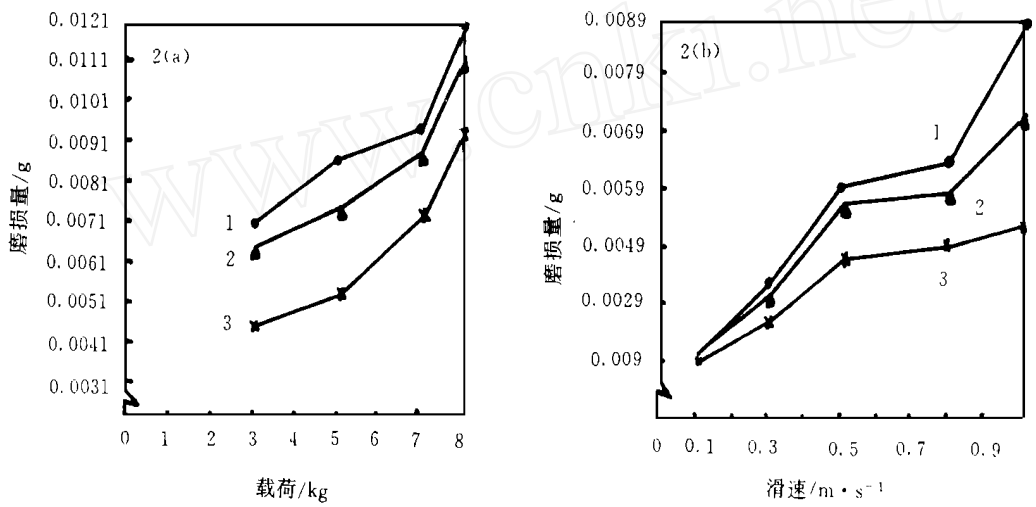
图2 (a)、2 (b) 分别表示三种材料在滑动速度为0. 5m/s 时磨损量随载荷变化和载荷为3kg 时磨损量随滑动速度变化的情况。由图可看出, 磨损量分别随载荷和滑动速度增大而增加, 载荷大于7kg 后这种倾向更为明显。当滑动速度大于0. 8m/s 时, 混合增强复合材料的磨损量增加比较平稳, 而其它两种材料则急剧增大。

在相同工况和磨损参数下, 三种材料中混合增强的复合材料磨损失重最小。说明 Gr_P 的加入有利于材质耐磨性的改善。

100×

图1　Gr_P•SiC_P/ZA 27混杂复合材料的金相

Fig. 1　Micrograph of Gr_P•SiC_P/ZA 27 hybrid composite　100×



1——ZA 27;　　2——SiC_P/ZA 27;　　3——Gr_P•SiC_P/ZA 27

图2　磨损量随载荷(a)和滑速(b)的变化曲线

Fig. 2　Weight-loss *vs* (a) loading and (b) sliding speed

2 2　磨面形貌分析

在低滑速下, 混杂复合材料的磨面比较光滑, 磨层间的犁沟中偶尔有一些很细小的粒状松软磨屑(图3(a))。随着滑速的增大, 磨面的塑变量增大, 呈黑色, 但依然光滑(图3(b)), 在凹坑外有一些10～80μm 粒状和片状的磨屑(图3(c)), 片状磨屑随滑速的增大而增多。在滑速小于0. 8m/s 时, SiC_P/ZA 27复合材料的变化趋势与混杂复合材料相似, 但其表面总有一些随滑速增加而增大的犁沟, 当滑速大于或等于0. 8m/s 时, 磨面塑变量明显增大, 磨屑变为大的发亮片状物; 而 ZA 27合金在整个滑速范围内磨屑都为发亮的片状物, 且在滑速为0. 5m/s 时, 出现了塑变耳, 当滑速大于0. 8m/s 时, 发现对磨面上附有一层 ZA 27合金。

随着载荷的增大, 磨面塑变量也随之增大, 磨屑由小变大, 或由粒状变为片状。混杂复合材

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

料在5kg 下(0.5m/s)下的磨面形貌与其在0.8m/s 下(3kg)的相当(图3(d)),即载荷对磨面的影响大于滑速的影响。ZA 27合金在3kg 时就出现了塑变耳。

(a)3kg, 0.3m/s (b)3kg, 0.8m/s (c)3kg, 0.8m/s (d)5kg, 0.5m/s

图3 混杂复合材料的磨面形貌

Fig. 3 SEM of worn surfaces for the hybrid composite

2.3 磨损破坏层的组织特征

通过对磨面纵剖样的观察发现,各种材料的次磨面都受到不同程度的破坏。图4(a)、(b)、(c)分别为混杂复合材料、SiC_P/ZA 27复合材料和ZA 27合金在8kg 时的磨损破坏层。可以看出,混杂复合材料的磨损破坏层为塑性变形层Ⅰ,SiC_P/ZA 27复合材料则为塑变区Ⅰ和靠近磨面的微裂区Ⅱ(图4(b)),而ZA 27合金除Ⅰ、Ⅱ两区外,还有一个严重塑变区Ⅲ(图4(c))。混杂复合材料在最靠近磨面处虽然也有微裂区,如图4(d),但此区很薄且不连续。三种材料的磨损破坏层厚度随载荷、滑速的增大而增大。具体变化范围为:混杂复合材料,20~60μm;SiC_P/ZA 27复合材料30~100μm;ZA 27合金:50~130μm。与各自磨损量的变化趋势一致。

对于混杂复合材料而言,载荷与滑速对其影响都较小,尤其在载荷7kg 以下或滑速0.8m/s以下没有Ⅱ区,而其它两种材料随载荷、滑速的增大Ⅱ区出现较早。ZA 27合金在3kg 载荷或0.5m/s 滑速时就有一较薄的断续Ⅱ区,而SiC_P/ZA 27复合材料Ⅱ区的出现介于ZA 27和混杂复合材料之间。从图4(b)、(c)、(d)看,Ⅱ区垂直于磨面的裂纹与Ⅱ区的分界裂纹或Ⅱ区中的横裂纹相通,在摩擦力作用下,很可能造成剥落(层离)而形成磨屑,磨屑的厚度小于或等于Ⅱ区的厚度,长度与Ⅱ区纵向裂纹间距等同。因此,Ⅱ区中裂纹数量越多或Ⅱ区越厚,磨屑剥落的几率和尺寸就越大,磨损率也就越高,由此可解释三种材料磨损量的大小。可见,Ⅱ区对磨损

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

的影响最为重要。而载荷对磨损的影响大于滑速。

www.cnki.net

(a) 混杂复合材料(8kg, 0.5m/s)　(b) SiC_P/ZA 27复合材料(8kg, 0.5m/s)

(a) the hybrid composite (8kg, 0.5m/s)　(b) SiC_P/ZA 27 composite (8kg, 0.5m/s)

(c) ZA 27合金(7kg, 0.5m/s)　(d) 混杂复合材料(3kg, 0.8m/s)

(c) ZA 27 alloy (7kg, 0.5m/s)　(d) the hybrid composite (3kg, 0.8m/s)

图4　磨损破坏层　Fig. 4　SEM of the worn damaged layers

3　讨　论

在较低载荷(< 5kg)和较低滑速(< 0.5m/s)下, 混杂复合材料磨面塑变量小, 有少量犁沟, 且磨屑呈粒状(图3(a)), 与 SiC_P/ZA 27复合材料相似。此时, 两种复合材料都遵循微磨损机制——微切削和粒子偶而剥落造成的磨粒磨损, 磨损量增幅较平稳(图1(b)), SiC_P 起着承载作用并参与磨损, 限制了对磨材料与基体的直接接触并阻碍基体的塑变, 提高了耐磨性。在周期性摩擦力的作用下界面疲劳而造成 SiC_P 脱粘, 则下一层 SiC_P 又开始参与磨损[8], 此时 SiC_P 对提高耐磨性的作用大于 Gr_P。在载荷5～7kg 或滑速0.5～0.8m/s 时, 磨面塑变量增大, 磨面上的应力足以使承载的 SiC_P 破碎(图5)或脱粘, 导致磨粒磨损和粘着(磨屑为片状和粒状(图3(c)), 当载荷大于7kg 或滑速大于0.8m/s 时, 磨面发生了大的塑变, 磨损破坏层出现了Ⅱ区(图4(d)), 说明磨损机制发生了转变: 从粘着和磨粒磨损转为层离, 即从微磨损转变为剧烈磨

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

损, 磨损量急剧增大(图2), SiC_P/ZA 27复合材料在此条件下的Ⅱ区厚且裂纹数量多(图4(b)), 因而其层离比混杂复合材料严重。ZA 27合金在滑速小于0.5m/s时为粘着磨损, 大于0.5m/s或在本实验加载范围内均为层离。

混杂复合材料的耐磨性之所以优于其它两种材料是因为 Gr_P 的加入在表面形成了一层含固态润滑剂 Gr_P 的磨层, 减小了摩擦系数, 降低了磨面温度, 从而提高了磨损机制向粘着、层离等剧烈磨损转变所需的载荷与滑速值, 既保持了 SiC_P 的承载作用, 防止了基体过早塑变, 又发挥了石墨粒子的自润滑作用, 从而表现出材质的耐磨性大幅度提高。

图5 SiC_P/ZA 27磨面上粒子的破碎(5kg, 0.5m/s)
Fig. 5 Fractured SiC_P at worn surface of SiC_P/ZA 27 composite (5kg, 0.5m/s)

4 结 论

通过对 ZA 27•SiC_P 增强 ZA 27复合材料和 Gr_P 与 SiC_P 混合增强 ZA 27复合材料磨损特性的研究, 得出如下结论:

(1) Gr_P•SiC_P/ZA 27混杂复合材料的耐磨性优于 SiC_P/ZA 27复合材料和 ZA 27合金, 是因为 Gr_P 的加入降低了磨面摩擦系数, 提高了材料抗粘着和层离的能力。

(2) 材料的磨损机制随载荷和滑动速度的变化而改变, 总结如下: a、在载荷< 5kg, 滑速< 0.5m/s时, 磨损方式: ZA 27为粘着磨损, SiC_P/ZA 27与混杂复合材料属于微切削和磨粒磨损; b、在载荷5~7kg, 滑速0.5~0.8m/s时, 磨损方式: ZA 27为变形层离, SiC_P/ZA 27为粘着磨损, 而混杂复合材料为磨粒磨损; c、在载荷> 7kg 或滑速> 0.8m/s时, 磨损机制: 均以层离为主导磨损机制, 但混杂复合材料层离区薄于其它二者。

(3) 随着载荷和滑速的增大, 三种材料的磨损量都随之增大, 但增幅不尽相同。混杂复合材料在高滑速下磨损量增加趋缓, 优势明显。

参 考 文 献

1 王俊, 黄裕杰, 王仕勤, 等. SiC 颗粒增强锌基复合材料的制备及其性能. 复合材料学报, 1995, (2): 56

2 Muthukumarasumy S, Buni S Y, Seshan S. ZA 27 alloy-based cast MMCs with ceramic particle reinforcement. AFS Trans, 1994, 102: 819

3 Zhu H X, Liu S K. Mechanical properties of squeeze-cast zinc alloy matrix composites containing α-alumina fibres. Compos, 1992, 24: 43

4 骆灼旋, 陈华信, 吴春苗, 等. 铸造锌-石墨复合材料的摩擦学研究. 摩擦学学报, 1992, 12: 325

5 朱和祥, 刘世楷. C/ZA 12复合材料的摩擦磨损性能研究. 复合材料学报, 1994, 11 (4): 33

6 Ames W, Alpas A T. Wear mechanisms in hybrid composites of graphite-20pct SiC in A 356 aluminum alloy (Al-7pct Si-0.3pct Mg). Metall Mater Trans, 1995, 26A: 85

7 Alpas A T, Zhang J. Effect of SiC_P reinforcement on the dry sliding wear of aluminum-silicon alloy (A 356). Wear, 1992, 155: 83

8 Wang A, Jack H J. Transition wear behavior of SiC_P and SiCw reinforced 7091 Al metal matrix composites. Mater Sci Eng, 1991, A 147: 211

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

STUDY ON WEAR BEHAVIOR OF Gr_P•SiC_P/ZA27 CASTING HYBRID COMPOSITE

Hao Yuan Chen Tijun Kou Shengzhong
(Gansu University of Technology, Lanzhou 730050)

Abstract Wear behavior in hybrid composite of 5vol% Gr_P•10vol% SiC_P/ZA27 alloy has been investigated. The wear mechanisms of the hybrid composite under different loads and sliding velocities are mainly discussed and compared with those of SiC_P/ZA27 composite and ZA27 alloy. The results indicate that wear resistance of the hybrid composite is better than that of the other two materials. This is because the addition of Gr_P increases the ability of seizure resistance and delamination resistance. The different changes of worn surface morphologies and worn damaged layers of different materials take place with the increase of loads and sliding velocities, and therefore their transition experiences of wear mechanisms are also different.

Key words graphite particle (Gr_P), SiC_P and Gr_P reinforcing-hybrid composite, wear

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n