

[文章编号] 1004- 0609(2001)S2- 0086- 05

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$ 复合材料的高温磨损性能^①

彭开萍, 陈文哲, 钱匡武

(福州大学 材料科学与工程学院, 福州 350002)

[摘 要] 研究了压力铸造法研制的硅酸铝纤维增强 ZL108 复合材料的机械性能。结果表明: 复合材料在高温和室温下都具有良好的耐磨性, 温度小于 300 ℃时, 复合材料仍具有较好的耐磨性, 而基体合金却严重粘着; 而且复合材料的抗压屈服强度、抗弯强度及显微硬度比基体材料 ZL108 合金的强度高。磨损面的 SEM 电镜观察表明: 复合材料中纤维的存在起到抑制犁沟延伸与扩展的作用, 从而提高了耐磨性。

[关键词] 金属基复合材料; 硅酸铝纤维

[中图分类号] TG 113. 25

[文献标识码] A

随着高技术尤其是航空航天技术的发展, 金属基复合材料受到世界各发达国家的重视, 研究与开发工作取得了突飞猛进的发展, 复合工艺日臻先进, 品种不断丰富, 应用范围日益拓宽^[1~6]。目前, 其应用不仅限于航空航天和军工方面, 并开始走向民用, 应用于汽车工业和发电机行业^[7]。由于作为基体的铝合金具有重量轻、抗氧化、熔点低等优点, 可满足工业发展多方面的要求^[8]。并与其他材料复合, 可使铝合金在强度和刚度、耐磨和减摩、尺寸稳定性等方面得到显著改善, 从而使铝基复合材料具有优良的综合性能^[9]。目前, 在各种金属基复合材料中, 铝基复合材料一直占主导地位。我国对陶瓷纤维增强铝基复合材料的研究始于 20 世纪 80 年代, 目前还处在实验室研究水平, 且主要以 SiC, Al_2O_3 纤维或颗粒为增强体, 制备成本仍偏高, 难以推广到工业生产中。为进一步降低成本, 促进铝基复合材料在我国汽车工业及其他民用领域的应用, 人们尝试采用价格低廉的硅酸铝纤维作为增强体。特别是用硅酸铝纤维增强铝基复合材料制作汽车发动机上的活塞来取代现有材料, 而高温耐磨性能是活塞性能的一个重要指标。因此, 本文作者着重对耐磨性能及其他机械性能进行探讨, 为其应用奠定基础。

1 实验

1.1 材料制备

实验中用作复合材料基体的合金为 ZL108, 其化学成分为(质量分数, %): Si 11.0~ 13.0; Cu 1.0~ 2.0; Mg 0.4~ 1.0; Mn 0.3~ 0.9; 其余为铝。短纤维的原材料为高纯硅酸铝纤维, 该纤维经粉碎、分离、处理之后再用分样筛分级, 其化学组成为: Al_2O_3 55%~ 60%; SiO_2 39%~ 44%, Fe_2O_3 0.7%。将不同体积分数的纤维预制成型。

复合材料的制备采用压力铸造法。先将纤维预制件置于压型, 液态 ZL108 的浇铸温度为 850 ℃, 压力为 28 MPa, 适当保压至全部凝固。将制得的复合材料及 ZL108 合金经 T6 处理后加工成试样。

1.2 磨损及机械性能

在自制的 WF 往复滑动磨损试验机(如图 1 所示)上进行磨损试验, 试样尺寸为 40 mm × 10 mm × 8 mm, 试样滑动速度为 16 m/min, 试样单位荷重为 65 kPa。先将试样进行预磨, 使其磨损面与对磨材料相吻合, 以保证试验结果的稳定性。试验温度分别为室温, 200 ℃, 300 ℃和 400 ℃, 温度控制在 ±3 ℃范围内。在室温和 200 ℃下试验时, 对磨材料为 2[#] 刚玉砂布, 粒度为 60; 300 ℃和 400 ℃下试验时对磨材料是粒度为 60 的油石。

将切割成 8 mm × 8 mm × 10 mm 的试样经粗磨和精磨后在 Instron 1185 型电子拉伸机上进行压缩试验, 压缩速率为 0.5 mm/min。在 Instron 1185 型电子拉伸机上进行抗弯试验, 取标距 25 mm; 在 71 型维氏硬度机上进行, 载荷为 2 kg, 保荷时间为

① [基金项目] 福建省自然科学基金资助项目(E97003)

[收稿日期] 2001- 04- 09; [修订日期] 2001- 08- 02

[作者简介] 彭开萍(1963-), 女, 副教授, 硕士。

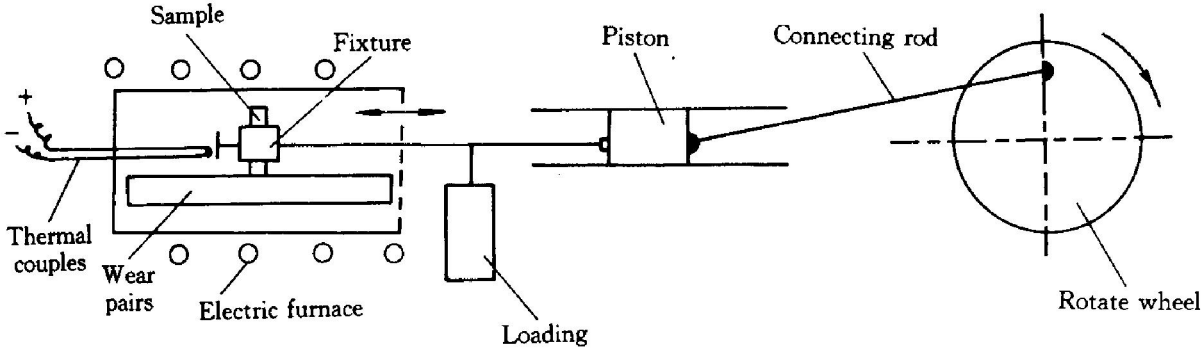


图 1 WF 往复滑动磨损试验机简图
Fig. 1 Machine of wear experiment

5 s。在 XJG-04 型金相显微镜下观察金相组织, 并用图像分析仪测定纤维分数。在 JSM-35CF 扫描电镜下观察断口形貌。

2 结果与分析

2.1 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$ 的机械性能

图2~ 4分别为室温、200 ℃和300 ℃下复合材料和基体合金的磨损量与时间的关系曲线。由图可知, 无论在室温和高温下, 对于复合材料和 ZL108 合金, 随着磨损时间的延长, 磨损量增加; 复合材

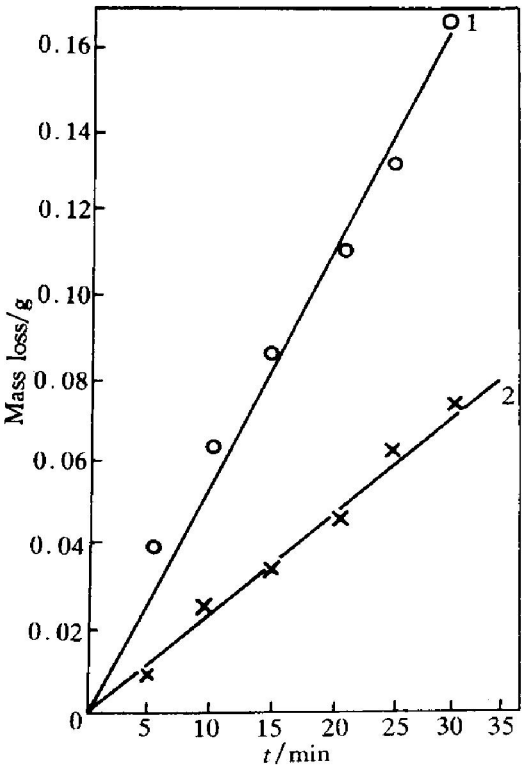


图 2 室温下复合材料及 ZL108 的磨损量与时间关系
Fig. 2 Mass-loss of composite vs time at room temperature
1—ZL108; 2—ZL108+ 7% fiber; 3—ZL108+ 10% fiber; 4—ZL108+ 14% fiber; 5—ZL108+ 16% fiber

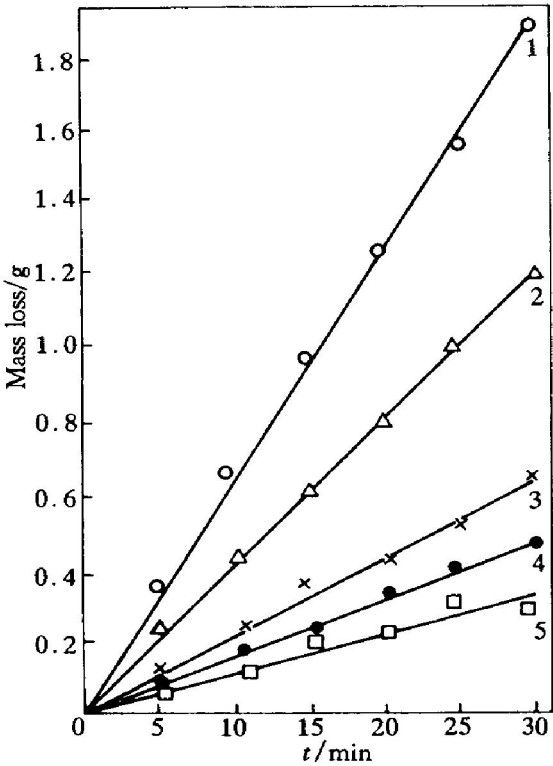


图 3 300 ℃下复合材料及 ZL108 的磨损量与时间关系
Fig. 3 Mass-loss of composite vs time at 300 °C
1—ZL108+ 7% fiber; 2—ZL108+ 16% fiber

料比 ZL108 合金有更好的耐磨性, 而且随着纤维含量的增加, 耐磨性能提高。另外, 在300 ℃, 400 ℃时, 复合材料仍有较好的耐磨性, ZL108 合金已发生粘着, 特别是在400 ℃下, ZL108 已发生严重粘着, 而复合材料却把对磨材料油石磨出很深的沟槽。

表 1 为不同纤维含量的复合材料及 ZL108 合金的抗压屈服强度, 抗弯强度, 显微硬度HV。由表可知: 复合材料的抗压屈服强度、抗弯强度及显微硬度较 ZL108 合金高, 且随着纤维含量的增加, 强化效果提高。当纤维含量达25%时, 压缩屈服强度提高了73.6%, 抗弯强度提高了29.4%, 显微硬度

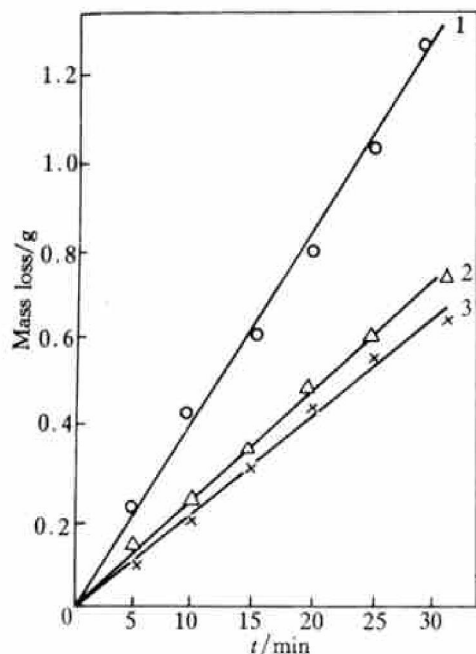


图 4 200 °C 下复合材料及 ZL108 的磨损量与时间关系

Fig. 4 Mass-loss of composite vs time at 200 °C
1—ZL108; 2—ZL108+ 7% fiber; 3—ZL108+ 16% fiber

表 1 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$ 及 ZL108 合金的力学性能

Table 1 Mechanical properties of
 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$ and ZL108 alloy

Composites	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\sigma_{\text{bl}}/\text{MPa}$	HV
ZL108	203.70	393.52	81.06
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$ ($\varphi(\text{SiO}_2) = 20\%$)	245.77	450.88	129.53
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$ ($\varphi(\text{SiO}_2) = 25\%$)	353.67	509.09	138.15

提高了 70.4%。

2.2 复合材料的显微组织及其对性能的影响

图 5 所示是纤维含量为 16% 复合材料的光学显微组织。由图可知：在 ZL108 合金的基体上分布着硅酸铝纤维，其中含有少量颗粒状的硅酸铝。

众所周知，复合材料的强度与基体、增强体、增强体/基体界面、增强体的含量等有密切联系。对于纤维增强型复合材料，纤维是载荷的主要支承者，基体只是传递与分散载荷纤维的媒介。铸件的晶粒尺寸可由形核率和凝固过程中存在的流体流动来确定，而形核率又受到冷却速度及非自发形核点的影响。金属基复合材料中的增强纤维能影响这些过程，因而影响基体晶粒大小。另外，在凝固过程中，纤维的激冷作用，也增强了基体合金非自发形核的质点，使复合材料晶粒细化，从而使其抗压屈服强度和抗弯强度提高。此外，复合材料中

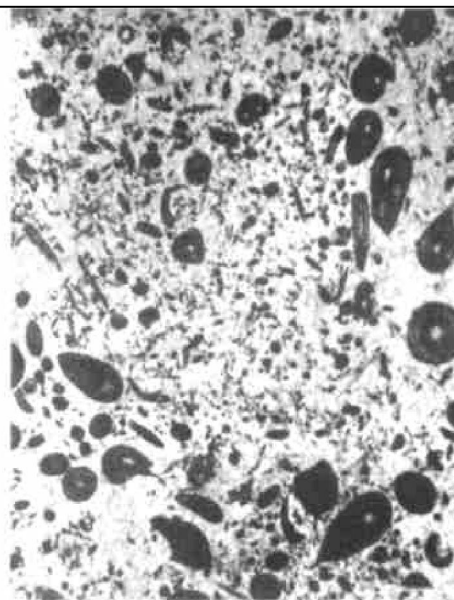


图 5 16% 纤维复合材料的金相组织

Fig. 5 Optical micrograph showing microstructure
of 16% fiber $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$

的增强体在材料塑性变形时，能起到阻碍位错运动，增加位错运动所需的力，使材料强度提高。

从传统的摩擦磨损观点看，在滑动磨损情况下，磨损表面要抵抗对磨材料颗粒对它的微切削破坏，所以材料的耐磨性与其硬度成正比，即材料的硬度越高，耐磨性能越好^[9]。但复合材料的布氏硬度和 ZL108 合金的布氏硬度接近，约为 90~110，而不管在室温或高温下复合材料均表现出比 ZL108 合金好的耐磨性，这主要是作为强化相的纤维及颗粒在基体上起到抵抗对磨材料对它的微切削破坏的缘故，而且纤维及颗粒阻碍了基体中晶面的滑动，提高了基体抗剪切应变的能力。因此，纤维的存在可起到抵抗磨损和限制基体合金塑性变形的双重作用，而且随着纤维含量的增加，这种效果就越好。

图 6(a) 和图 6(b) 所示分别为基体材料和含 7% 纤维的复合材料在室温下磨损后摩擦面的扫描电镜照片。由照片可观察到：沿着滑动方向，ZL108 合金表面布满了深而宽的犁沟，而且磨面较粗糙，并出现了大面积的撕裂区(图 6(c))。与基体合金的摩擦面相比，复合材料的摩擦面就较为光滑，犁沟的深度相对浅一些，磨面上的撕裂区也相对小一些(图 6(d))。这是因为在一定的压力和滑动速度下，铝合金因磨擦发热而变形，接着在磨擦表面形成凸起的具有犁削作用的粘着点，在摩擦磨损过程不断进行，粘着点逐渐增大，致使铝合金的剥落随之加剧，于是在摩擦表面形成了既深又宽的犁沟。而硅酸铝纤维具有较好的耐磨能力，表面的基体合金被磨去后，纤维仍能挺立于磨擦表面(图 6(e))，起

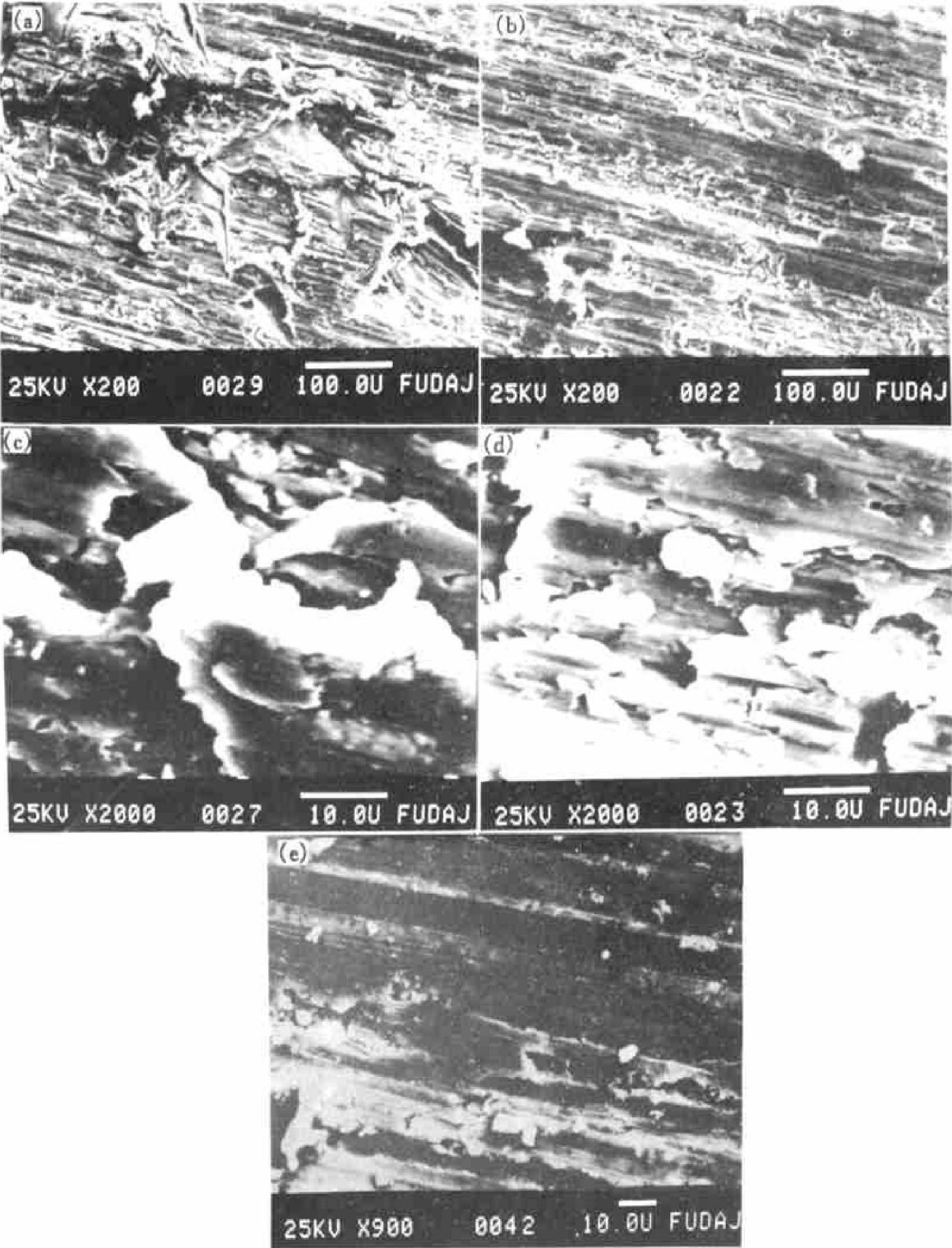


图 6 ZL108 及复合材料磨损面的电镜组织

Fig. 6 Worn surfaces of ZL108 and composites

(a) —ZL108; (b) —7% fiber composites; (c) —ZL108; (d) —7% fiber composites; (e) —16% fiber composite

到抑制犁沟延伸与扩展的作用，从而提高了复合材料的耐磨性能。

4 结论

1) $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$ 复合材料中的纤维起到

抑制犁沟延伸与扩展作用，因此具有良好的高温磨损性能。

2) $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$ 复合材料的耐磨性能、抗压强度、抗弯强度及显微硬度都较基体合金好。

3) 廉价的硅酸铝复合材料具有良好的应用前景。

[REFERENCES]

- [1] WU Gao-hui(武高辉), ZHAO Yong-chun(赵永春), MA Sen-ling(马森林). 亚微米级 Al_2O_3 颗粒增强 LD2 铝合金复合材料的拉伸性能与强化机制[J]. *Acta Material Compositae Sinica* (复合材料学报), 1998, 15(3): 21 – 26.
- [2] YU Wei-cheng(于维成), YUAN Jin-cai(袁金才), WANG Zhong-guang(王中光). $\text{SiC}_p/6061$ 复合材料的疲劳行为[J]. *Acta Metallurgical Sinica*, 1990, 6(26): B428– 432.
- [3] Levin M, Karlsson B. Fatigue behaviour of a sapphire reinforced aluminum alloy (AA6061) [J]. *Composite*, 1993, 3(24): 285– 295.
- [4] FAN Jian-zhong(樊建中), YAO Zhong-kai(姚忠凯), DU Shan-yi(杜善义), et al. SiC 颗粒增强金属基复合材料弹性模量与界面结合状况关系研究[J]. *Acta Material Compositae Sinica* (复合材料学报), 1998, 15 (2): 1– 5.
- [5] QIN Shu-yi(秦蜀懿), ZHANG Guo-ding(张国定). 改善颗粒增强金属基复合材料塑性和韧性的途径与机制[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals* (中国有色金属学报), 2000, 10(5): 621– 629.
- [6] HU Da-zhong(胡代忠), CHEN Li-qing(陈礼清), ZHAO Ming-jiu(赵明久), et al. SiC 颗粒增强铝基复合材料薄板的力学性能[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals* (中国有色金属学报), 2000, 10 (6): 827– 831.
- [7] ZHU Xiu-rong(朱秀荣). 复合材料在发电机活塞上的应用概况[J]. *Special Casting & Nonferrous Alloy* (特种铸造及有色合金), 1994, 4: 15– 18.
- [8] WANG Zu-ying(王左银), WU Shen-qing(吴申庆). 硅酸铝纤维增强复合材料的研究及应用[J], *Materials Science and Engineering* (材料科学与工程), 1994, 1 (12): 20– 36.
- [9] ZHANG Mao-xun(张茂勋), CHENG Dong(陈东). 铝合金/ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 颗粒复合材料的试制和性能[J]. *Acta Material Compositae Sinica* (复合材料学报), 1994, 3(11): 19– 25.
- [10] LI Weng-fang(李文芳), HUANG Yue-shan(黄岳山), MENG Jie-long(蒙继龙), et al. 硅酸铝/ZL109 复合材料的纤维定向及其磨损特征[J]. *Materials Science and Engineering* (材料科学与工程), 1999, 2(17): 14 – 17.

High-temperature wear resistance of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$ composites

PENG Kai-ping, CHEN Wen-zhe, QIAN Kuang-wu

(Department of Material Science and Engineering of Fuzhou University,
Fuzhou 350002, P. R. China)

[Abstract] High-temperature wear resistance of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{ZL108}$ composites prepared by squeeze casting was investigated. The results show that the composites exhibit excellent wear resistance at high temperature and room temperature. Particularly at 300 °C, the composites still show good wear resistance while the severe adhesion happened in the ZL108 alloy. Moreover, the yield strength, bending strength and micro-hardness of the composite were higher than those of ZL108 alloy. The worn surfaces were examined through a scanning electron microscope. The results also show that the fiber in the composites put pack formation of the groove, which improved the wear resistance of the composites. The effect of microstructure on the mechanical properties and the strengthening mechanism in $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZL108}$ composites were discussed.

[Key words] metal-matrix composites; $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ fiber

(编辑 龙怀中)