

铸造铝硅合金-石墨复合材料的磨损特性

陈永潭 陆 有 佟 金 徐晓波

(吉林工业大学, 长春)

【摘要】 作者对铸造铝硅合金-石墨复合材料的磨损特性进行了研究, 比较了含石墨与不含石墨的铝硅合金的耐磨性, 并用扫描电镜对它们的磨损机理进行了考察。结果表明, 铸造铝硅合金-石墨复合材料是一种摩擦性能良好的减摩材料, 其在油润滑条件下的耐磨性比基体合金的高, 在干摩擦、低载荷时的耐磨性也比较好。

Wear Characteristics of Cast Al-Si Alloy-Graphite Composites

Chen Yongtan Lu You Tong Jin Xu Xiaobo

(Jilin University of Technology, Changchun)

【Abstract】 The wear characteristics of cast Al-Si alloy-graphite composites are studied. Wear resistance of the composite is compared with the base Al-Si alloy. And the wear mechanism of the materials is investigated by means of scanning electron microscope. It is shown that the composite is a good anti-friction material. Its wear resistance under lubricating conditions, and under dry friction but lower load is better than that of the base Al-Si alloy.

一、前 言

铸造铝硅合金-石墨复合材料是近几年发展起来的一种新型材料。由于石墨具有良好的润滑性与吸震能力, 所以这种复合材料也具有良好的减摩与减震性能, 近年来已经用于制造发动机活塞^[1]及汽车和机床的轴

承^[2, 8]等, 借以改善耐磨性能、减少噪音和节省能源。

目前, 制造活塞应用最多的材料是铝硅合金, 但其主要缺点是减摩性差、摩擦功耗大、热膨胀系数较大等。试验表明, 在铝硅合金中均匀弥散石墨粒子, 可以改善其减摩性能, 并可减小热膨胀系数。本文对铸造铝硅合金-石墨复合材料的磨损特性进行了研

究, 并与基体铝硅合金的耐磨性进行了对比。结果表明, 这是一种摩擦性能良好的减摩材料, 其在油润滑条件下比基体合金耐磨, 在干摩擦低载荷时的耐磨性也比较好。

二、试验条件与方法

试验材料: (1) ZL109 铝硅合金; (2) 添加 1% Ti 和 3% 石墨颗粒 (未包覆) 的 ZL109 铝硅合金; (3) 添加不同重量镍包石墨颗粒的 ZL109 铝硅合金。

将 ZL109 合金熔化, 经除气精炼处理并用钠盐变质后, 压铸成试样; 添加石墨的铝硅合金是在经除气精炼处理后, 对其料浆施加强力搅拌, 接着将经过处理的石墨颗粒徐徐加入到搅拌产生的液体旋涡中, 最后压铸成形, 加工成试样。试样的车削表面及显微镜低倍观察均显示出石墨分布均匀 (见图 1)。

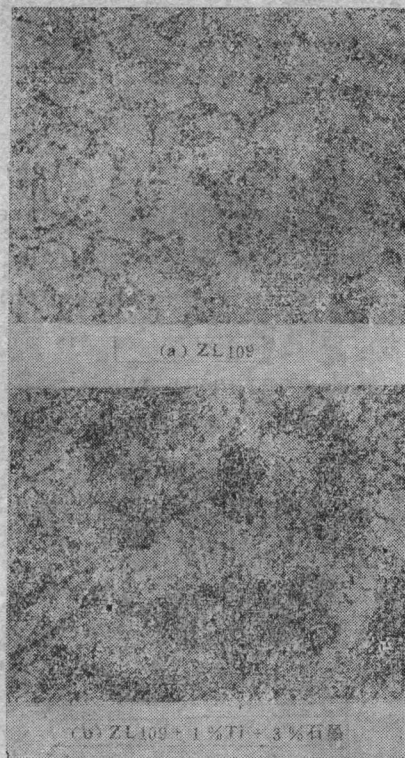


图1 铝硅合金及复合材料的显微组织

磨损试验在 MM200 型磨损试验机上进行, 接触方式为“环-块”滑动。上试样是固定不动的块形待测试样, 尺寸为 $14 \times 10 \times 10$ mm; 下试样是转动的 GCr15 钢环, 硬度为 HRC62。润滑摩擦试验总行程为 25 km, 10 号机械油滴油润滑。磨损量由测得的试样磨痕宽度换算成磨损体积表示。使用扫描电镜观察分析摩擦表面和磨屑形貌。

三、试验结果与讨论

1. 复合材料在干摩擦条件下的磨损特性

(1) 载荷对磨损量的影响

试验结果表明, 在干摩擦条件下, 铝硅合金-石墨复合材料的磨损量随载荷的增加而增加, 其在开始时增加缓慢, 而当超过某一载荷后就迅速增加 (见图 2 之曲线 2)。

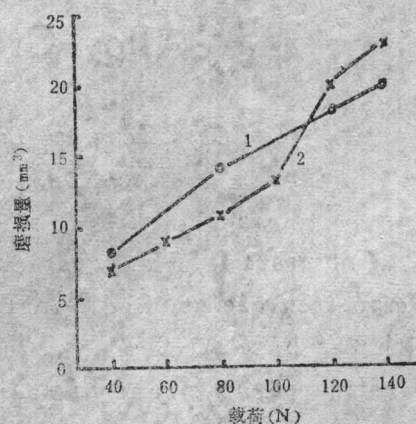


图2 载荷对磨损量的影响

材料: 1—ZL109, 2—ZL109 + 1% Ti + 3% 石墨; 速度: 0.84 m/s; 行程: 2500 m

一方面, 由于铝硅合金具有高的堆垛层错能, 容易造成较大的塑性变形, 产生金属型磨损*——主要过程是在剪切应力的作用下发生塑性变形, 产生磨损裂纹, 随之发生裂纹的扩展, 最后脱落造成剥层磨损; 另一方面, 由于铝硅合金在空气中容易氧化, 所

* 金属型磨损是相对于氧化磨损提出的, 以剥层磨损为其主要形式。

以摩擦中常常发生氧化磨损。分析不同载荷下的磨屑与摩擦面的形貌可以看出,在载荷较低时〔见图3(a)〕,摩擦面上存在着大量的氧化膜及其残余物,表明摩擦滑动是在表面氧化膜间进行,加之石墨的润滑作用,因而磨损量很小。随着载荷的增加〔见图3(b)〕,表面氧化膜的残余物逐渐减少,石墨也减少,故摩擦面的划痕变深,磨损量增加,但由于石墨的润滑作用,所以磨损量的增加比较缓慢。当超过临界载荷之后〔见图3(c),临界载荷约为100N〕,磨损量



图3 复合材料摩擦面的显微照片

就急剧增加,摩擦面上的石墨不多,划痕也更深更宽,磨屑呈不规则的金属小碎块状,这是表面出现大量塑性变形而发生金属型磨损的结果。

载荷对于摩擦时的摩擦系数有影响。由图4可见,铝硅合金-石墨复合材料的摩擦系数比同样载荷下的基体合金的低。

(2) 滑动速度对磨损量的影响

图5是干摩擦条件下复合材料的磨损量与滑动速度的关系。可以看出,当滑动速度较低时,复合材料的磨损量是随速度的增大而逐渐减小,但在滑动速度超过0.5m/s之后,则其磨损量就随速度的增加而逐渐增大。

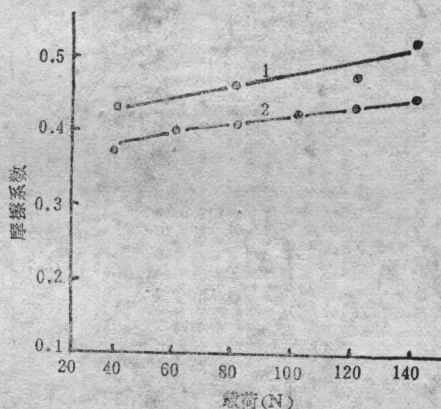


图4 摩擦系数与载荷的关系

材料: 1—ZL109, 2—ZL109+1% Ti+3%石墨; 速度: 0.84m/s

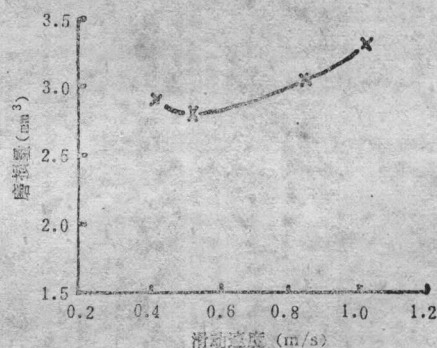


图5 滑动速度对磨损量的影响

材料: ZL109+1%Ti+3%石墨;
载荷: 117.6N, 行程: 625m

相对滑动速度的改变可使摩擦时金属表面层的变形速度以及因摩擦而产生的温度梯度发生变化^[4]。我们认为,对于铝硅合金-石墨复合材料来说,其在一定滑动速度下的摩擦温升有利于氧化膜的形成而提高耐磨性,但当其表面变形速度增大却又将促使氧化膜破裂而加剧表面的磨损。这就表明,滑动速度对磨损量的影响是多种因素综合作用的结果。从对铝硅合金-石墨复合材料磨损表面的观察可见,在滑动速度较低时,摩擦

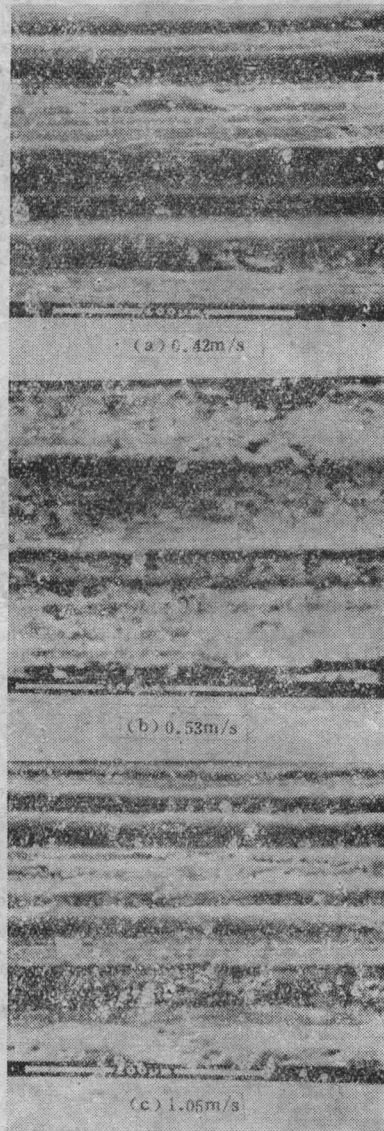


图6 复合材料摩擦面的显微照片
载荷: 117.6N

面上石墨较多,划痕也较浅,而且由于此时氧化膜极薄,在剪切应力的作用下很容易破裂,所以摩擦面上有微裂纹存在[见图6(a)];随着滑动速度的进一步增加,温升促使氧化膜增厚而不易破裂[见图6(b)];当滑动速度超过某一定值之后,摩擦面上的石墨就减少,而且由于过厚的氧化膜的强度较低,所以摩擦面上的裂纹增多[见图6(c)],同时变形速度增大,促使表面氧化膜裂纹的形成与扩展,于是导致磨损量的明显增大。

(3) 石墨含量对磨损量的影响

试验结果表明,在干摩擦条件下,石墨含量不高于4%(wt)的复合材料的磨损量随石墨含量的增加而减小,但在继续增加石墨含量的情况下,复合材料的磨损量却又开始增加(见图7)。

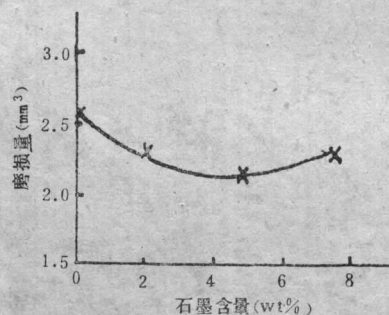


图7 石墨含量对复合材料磨损量的影响
载荷: 78.4N; 速度: 0.42m/s; 行程: 625m

由图8可见,复合材料的摩擦表面随石墨含量增加的变化很大。石墨含量为零时[见图8(a)],表面层发生了明显的变形,氧化膜受到破坏,摩擦面上的划痕深并有裂纹;随着石墨含量的增加[见图8(b)、(c)],摩擦面上氧化膜的残余物增多,划痕变浅,表明石墨的减摩作用随其在复合材料中含量的增加而增大。

综合分析图7和图8所示结果认为,石墨作为固体润滑剂只有其在复合材料中达到一定数量之后才能明显地产生减摩作用。例

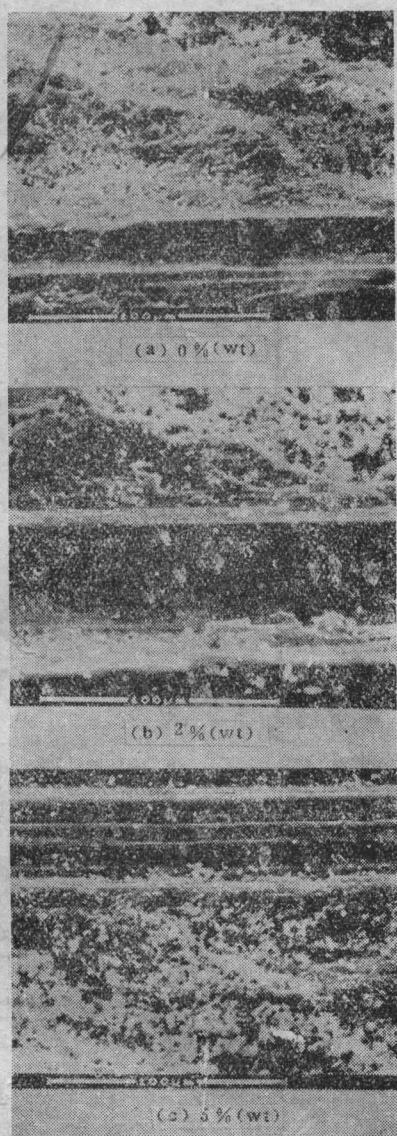


图8 不同石墨含量的复合材料摩擦面的显微照片

如,当其含量低于1%(wt)时,它就不足以起到很好的固体润滑作用^[5];而在含量高于2%(wt)的情况下,石墨的润滑作用就能够明显地发挥出来,使复合材料的耐磨性提高;但是,一旦石墨的含量超过4%(wt),因其致使材料的强度及韧性明显下降,故复合材料的耐磨性相对降低。

2. 复合材料与基体合金在干摩擦条件下的耐磨性对比

以往报导的铝硅合金-石墨复合材料在干摩擦条件下的耐磨性都不相同^[5~7]。为了进一步比较含石墨与不含石墨的铝硅合金材料的耐磨性,我们在不同的载荷下对两者的这种性能进行了考察。图2所示结果表明,载荷较低时,复合材料的耐磨性比基体合金的高,而载荷较高时的情形却正好相反。这是因为载荷较低时发生的主要是氧化磨损,添加的石墨可以发挥润滑作用,因而复合材料的耐磨性比铝硅合金的高。比较图3(a)和图9(a)可以看出,复合材料摩擦面上的划痕少,残余氧化物较多;而铝硅合金摩擦面上的划痕较深,残余氧化物较少。当载荷较高时,复合材料的磨损逐渐转变为以金属型磨损为主,此时石墨的存在将成为裂纹萌生与扩展的根源,因而降低了材料的耐磨性。比较图3(c)与图9(b)可见,复合材料摩擦面上氧化膜的残余物极少,磨屑呈脆裂的小块状,划痕也较深;铝硅合金由于氧化膜的韧性较好,与基体结合牢固,故其残余物还呈大块状留在摩擦面

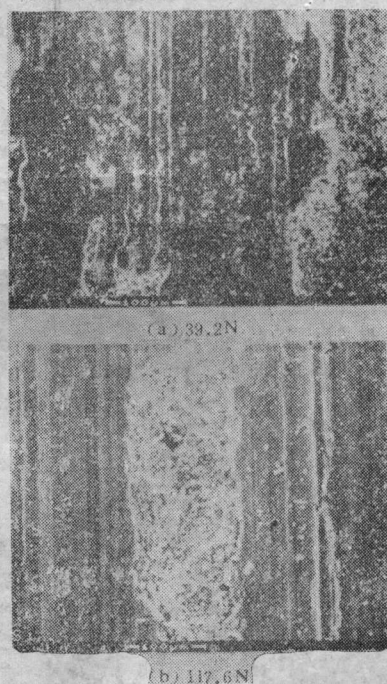


图9 ZL109合金摩擦表面的显微照片
速度: 0.84m/s

上, 划痕也较浅。这就说明, 未添加石墨的铝硅合金材料的强度较高, 其磨损转变载荷也较高。由此可见, 铝硅合金-石墨复合材料的耐磨性与石墨的润滑作用及其加入后引起材料性能的变化有关。综上所述, 在干摩擦条件下, 含石墨的铝硅合金复合材料只能在低载荷下才能充分利用石墨的润滑作用而显示出良好的耐磨性。

3. 复合材料与基体合金在油润滑条件下的耐磨性对比

由表1可以看出, 在油润滑状态下, 铝硅合金-石墨复合材料的耐磨性比基体铝硅合金的高。这是因为石墨是固体润滑剂, 又具有较好的吸油性, 其与油混合能形成一种胶体油状石墨, 这就使之同金属表面的吸附能力增强, 因而润滑作用明显提高, 于是复合材料就显示出良好的耐磨性。图10所示结果表明, 复合材料的摩擦系数约为基体铝硅合金的1/2。由图11可见, 复合材料的摩擦表面较平且塑性变形较小, 划痕内充满了石墨; 而铝硅合金的摩擦表面则比较粗糙, 划痕内充满了石墨, 而铝硅合金的摩擦表面则比较粗糙, 划痕也深, 并有明显的塑性变形, 表面还有粘着的磨屑, 故其耐磨性能差。

表1 油润滑条件下两种材料的磨损量

材 料	磨损量 (mm ³)		
	117.6N	196N	343N
复合材料	0.012	0.023	0.034
基体合金	0.013	0.094	0.112

注: 滑动速度为0.84m/s。

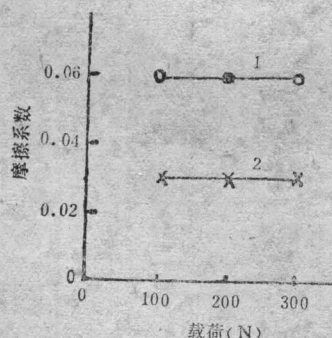


图10 摩擦系数与载荷的关系

材料: 1—铝硅合金, 2—复合材料; 速度: 0.84m/s

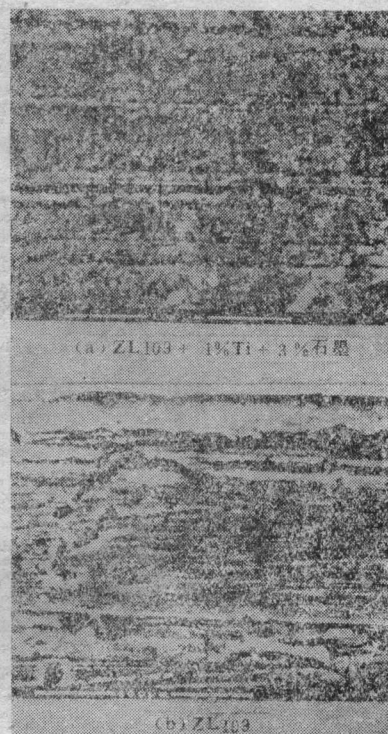


图11 油润滑下摩擦表面的显微照片

载荷: 196N; 速度: 0.84m/s

四、结 论

1. 无论在干摩擦或油润滑条件下, 铝硅合金-石墨复合材料都是一种摩擦性能良好的减摩材料。

2. 在油润滑条件下, 铝硅合金-石墨复合材料的耐磨性比基体合金的高, 其在干摩擦低载荷时的耐磨性也比较好的。

3. 在干摩擦条件下, 复合材料的磨损量随载荷的增加而增加。其在低载荷时主要发生的是氧化磨损, 而且磨损量较小, 但在超过临界载荷之后, 磨损就转化为金属型磨损, 磨损量急剧增加。

4. 在干摩擦条件下, 当滑动速度超过一定限度之后, 复合材料的磨损量就随速度增加而逐渐增大。

参 考 文 献

[1] Krishnan, B.P., et al., Wear, 60(1980), 205.

(下转第120页)

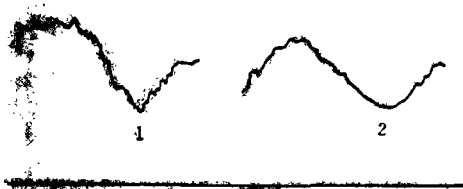


图10 Ni-P合金磨损前后的表面粗糙度变化

1—磨损前, $R_a=0.46$; 2—磨损后, $R_a=0.41$

由于沉积态镀层有一定的脆性, 在一定的剪应力作用下会发生裂纹成核扩展, 所以磨损的结果是使其剥落而告终。

四、结 论

Ni-P合金层的硬度高、与纤维摩擦时

的磨损量小, 尤其在经过热处理后的硬度、韧性及与基材的结合性均能进一步改善, 因而耐磨性更佳; 由于Ni-P合金层的磨损表面光滑平整, 所以很适合于在纺织机械的零部件上使用。

参 考 文 献

- [1] 摩擦磨损学讲义, 摩擦磨损, 1979, 1, 3.
- [2] Colarvotolo, J.F., Plating and Surface Finishing, 1985, 2, 22.
- [3] Gawne, D.T., Transaction of Institute of Metal Finishing, 1985, 2, 64.
- [4] 邓宗朝, 吴玉程等, 摩擦磨损, 7(1987), 3, 147.
- [5] Tuls, S.S., Transaction of Institute of Metal Finishing, 1986, 8, 73.

(上接第114页)

- [2] Krishnan, B.P., et al., Tribology Int., 16(1989), 5, 289.
- [3] Biswas, S., et al., Tribology Int., 13(1980), 4, 171.
- [4] 濮雄杰, 摩擦学基础, 上海科技出版社, 1984.
- [5] 纪士宸等, 机械工程材料, 1984, 4, 53.
- [6] Biswas, S.K., et al., Wear, 68(1981), 347.
- [7] Gibson, P.R., et al., Wear, 95(1984), 103.