

文章编号: 1004-0609(2003)02-0465-04

铝铅石墨固体自润滑复合材料的性能^①

李溪滨, 刘如铁, 杨慧敏

(中南大学 粉末冶金国家重点实验室, 长沙 410083)

摘 要: 采用常规的粉末冶金方法制备了铝铅石墨固体自润滑复合材料, 并对其力学性能和摩擦磨损性能进行了研究。实验结果表明: 固体润滑剂的加入对材料的摩擦学性能有较大的影响, 对其摩擦机理也作了初步探讨。

关键词: 铝基体; 粉末冶金; 固体润滑剂; 摩擦学性能

中国分类号: TF 125.9

文献标识码: A

早在 20 世纪 60 年代初期, 人们就已经发现, 两种或者多种固体润滑剂混合使用时, 会产生一种料想不到的协同润滑效应。其润滑效果比任何一种单独使用时都好^[1]。因此, 人们设想把几种各具不同优点的固体润滑剂进行组合使用, 使各种固体润滑剂之间能够相互取长补短。

铅和石墨的组合使用正是基于这种思想。铅单独作为固体润滑剂使用时, 轴承的抗咬合性比较好, 但是摩擦因数等摩擦学性能与石墨、二硫化钼等作为固体润滑剂使用时相比较要差; 石墨单独作为固体润滑剂使用时情况正好相反^[2], 因此考虑将石墨和铅作为组合固体润滑剂同时使用。多元固体润滑剂的复合使用是固体自润滑材料的一个发展方向。

1 实验

1.1 成分配比

表 1 所示为铝铅固体自润滑材料的组成。为了改善纯铝的力学强度, 添加少量的铜、铬使之合金化。铜在铝中的极限溶解度达到 5.65%, 可以形成强化效果较大的 θ 相 (CuAl_2), 因此铜是铝中主要的合金强化元素。铬在铝中的溶解度虽然不大, 只有 0.77%, 但它可以明显地抑制再结晶和细化晶粒, 因而对合金强度和耐蚀性的改善有明显的作用^[3]。另外, 添加适量的硅可以很大程度上提高铝合金的耐磨性能, 降低铝合金的热膨胀系数^[4]。同时, 细铜粉和细硅粉的加入也可以改善铝的烧结, 降低烧结温度^[5, 6]。

1.2 工艺方案

表 1 铝铅石墨固体自润滑样品组成

Table 1 Formula of Al-Pb-graphite solid self-lubricating composites (mass fraction, %)

No	Al	Cu	Si	Cr	Pb	Graphite
1	76.8	6	1.65	0.55	15	0
2	76.8	6	1.65	0.55	14	1
3	76.8	6	1.65	0.55	13	2
4	76.8	6	1.65	0.55	12	3
5	76.8	6	1.65	0.55	11	4

实验采用常规的粉末冶金方法。将各种原料粉末按表 1 称好后置于 V 型混料机中干混 4~6 h, 在钢模中进行压制, 压制压力为 0.5 GPa, 然后在高纯氮气保护气氛下烧结 60 min。

1.3 性能测试

在 MHK500 型环-块磨损试验机上测试摩擦学性能。对摩试环为 GCr15 钢环, 试验块尺寸为 19 mm × 12.35 mm × 12.35 mm, 对摩表面用 800# 水砂纸打磨光滑, 用酒精清洗后烘干。法向压力为 7.6 N, 主轴转速为 200 r/min, 摩擦时间为 30 min, 试验条件为干摩擦。同时测试布氏硬度和压溃强度等力学性能指标。

2 结果与讨论

2.1 力学性能

图 1 和图 2 所示分别为铝铅石墨固体自润滑材料中石墨含量对布氏硬度和压溃强度的影响曲线。

① 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59971007)

收稿日期: 2002-06-12 修订日期: 2002-08-03

作者简介: 李溪滨(1939-), 男, 教授。主要从事金属基减摩, 耐磨和自润滑材料

及摩擦学机理研究工作。

通讯联系人: 李溪滨, 教授; 电话: +86-731-8830161; E-mail: LxbLxb@mail.csu.edu.cn

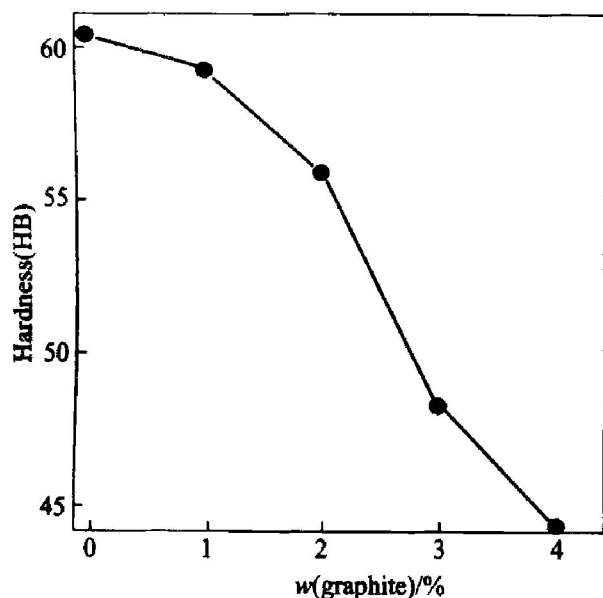


图 1 石墨含量对硬度的影响

Fig. 1 Effects of graphite on hardness

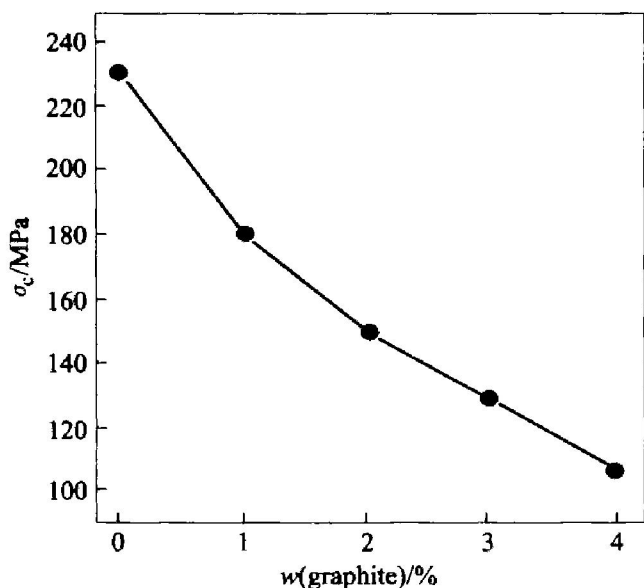


图 2 石墨含量对强度的影响

Fig. 2 Effects of graphite on strength

由图 1、2 可知, 随着石墨含量的升高, 试样的布氏硬度和压溃强度均明显下降。这是因为石墨在铝中的溶解度极低, 不能与铝基体形成固溶体, 在制备复合材料时, 对烧结过程的影响表现为机械地阻止扩散过程^[5], 即由于石墨的屏蔽作用减少了铝-铝或者铝-铜接触区的数量, 并且随着石墨含量的增加这种屏蔽作用也增加。由此所导致的分子间联结力减小的宏观表现就是布氏硬度和压溃强度的减小。随石墨含量的增加, 压溃强度虽然与布氏硬度同样呈下降趋势, 但下降速度却变慢。这是因为随着石墨含量的增加铅含量减少, 二者综合作用才产生这样的结果。另外, 由于石墨是一种性能优良的

润滑剂, 在试样中石墨含量的增加使压制过程中摩擦力减小以及使脱模变得更加容易^[7], 因而可以减少压制和脱模时内部产生细小裂纹和其它缺陷的可能性, 有利于强度等性能的提高, 但对强度的改善作用很小。

2.2 物相分析

图 3 所示为石墨含量 4% 铝铅石墨材料的 X 射线物相分析图。可以看到, 材料中形成了 CuAl_2 相, 这也是铝中主要的强化相; 铅、石墨均以游离态单质形式存在于材料之中。

2.3 金相分析

图 4(a)、(b) 所示分别为铅 11% + 石墨 4% 和铅 14% + 石墨 1% 材料的低倍显微组织金相照片。从图 4 可以看出, 照片中大片的灰白色区域为铝及其固溶体的基体, 黑色不规则区域为游离态的铅和石墨单质相。同时发现, 在铅和石墨总含量不变的情况下, 随着石墨含量的增加, 试样黑色区域偏聚现象就愈严重。

2.4 摩擦学性能

图 5 所示为铝铅石墨试样中石墨含量对摩擦因数和质量磨损量的影响曲线。由图 5 可以看出: 在铅和石墨总含量保持不变时, 随着石墨含量的增加, 摩擦因数先是明显下降, 然后略有上升。自润滑材料主要包含两个相: 一个硬相和一个易变形的软相。一般认为软相提供一个非常容易发生剪切变形的层面, 而硬相提供一个有足够强度的基体来承受载荷^[8], 其中软相在基体中的连续性和均匀分布性对于摩擦性能是很重要的^[9]。摩擦因数的下降正是因为石墨含量的增多有利于石墨润滑膜形成的完整性和连续性。但与铅膜相比, 石墨膜层中的石墨在摩擦过程中更加容易分离破裂。因此, 当石墨含量进一步增加, 而铅含量降低时, 石墨润滑膜的增加对于摩擦性能的贡献不足以补偿铅润滑膜的减少对于摩擦性能的危害。故总的来说, 试样的摩擦因数又有所上升, 但由于作为固体润滑剂来讲, 石墨的润滑性能远优于铅的润滑性能, 故上升的幅度很小。随着石墨含量的增多, 试样的质量磨损量呈显著的下降趋势, 这也是由于石墨润滑膜形成得比较连续完整的缘故。石墨与石墨之间的粘附作用很强, 当材料在对磨过程中形成了稳定的润滑性能良好的石墨层后, 对摩双方并不直接接触, 而是都在石墨层上进行滑动, 这样就极大地避免了粘着磨损

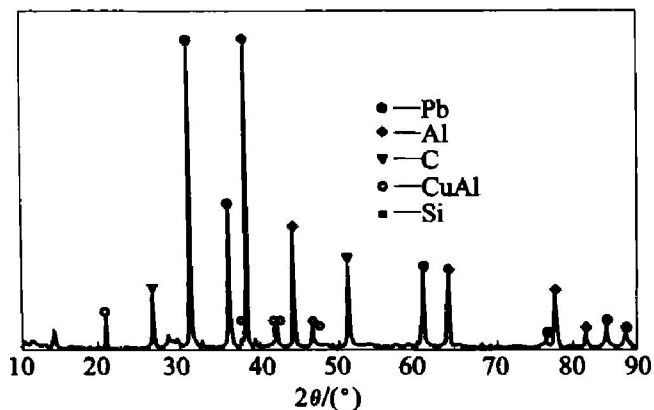


图 3 铅含量 11%, 石墨含量 4% 材料的 X 射线衍射物相分析

Fig. 3 XRD phase analysis of sample with Pb 11%, graphite 4%

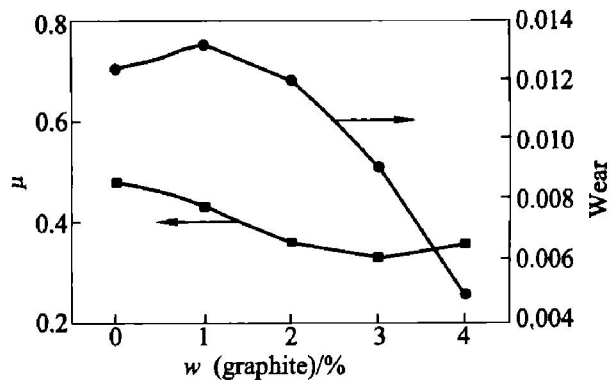


图 5 石墨含量对摩擦学性能的影响

Fig. 5 Effects of graphite on tribological properties

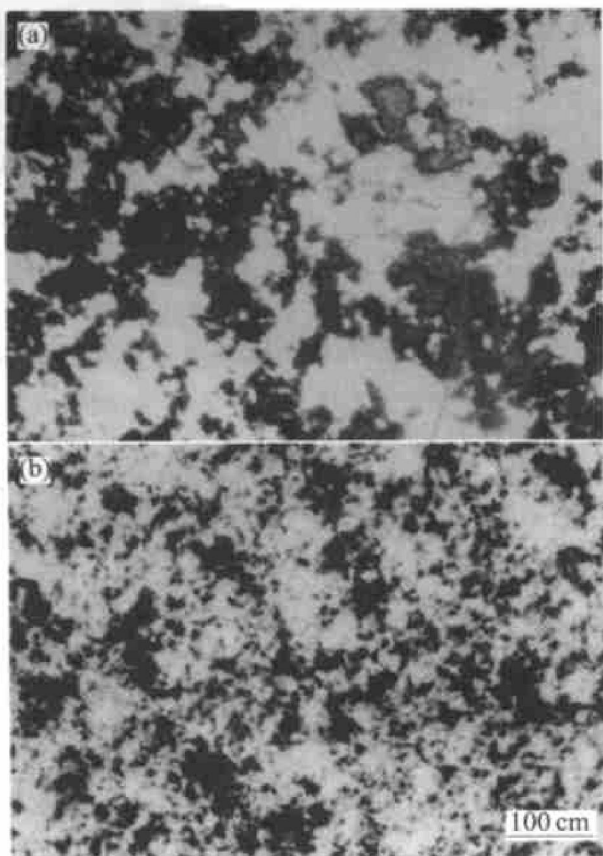


图 4 铝铅石墨材料的金相照片

Fig. 4 Metallographs of Al-Pb-graphite samples

(a) —With Pb 11%, graphite 4%;
(b) —With Pb 14%, graphite 1%

和磨料磨损的发生, 而这两种磨损形式正是自润滑材料中主要的磨损形式。故随着石墨从无到低含量 (1%), 良好的石墨层没有形成, 这时磨损量轻微上升。当石墨进一步增加时, 石墨膜层形成得更加完整、连续、稳定, 故磨损量显著下降。

图 6 所示为石墨含量分别为 1% 和 4% 的铝铅石墨试样摩擦试验后磨损表面扫描电镜照片。由图

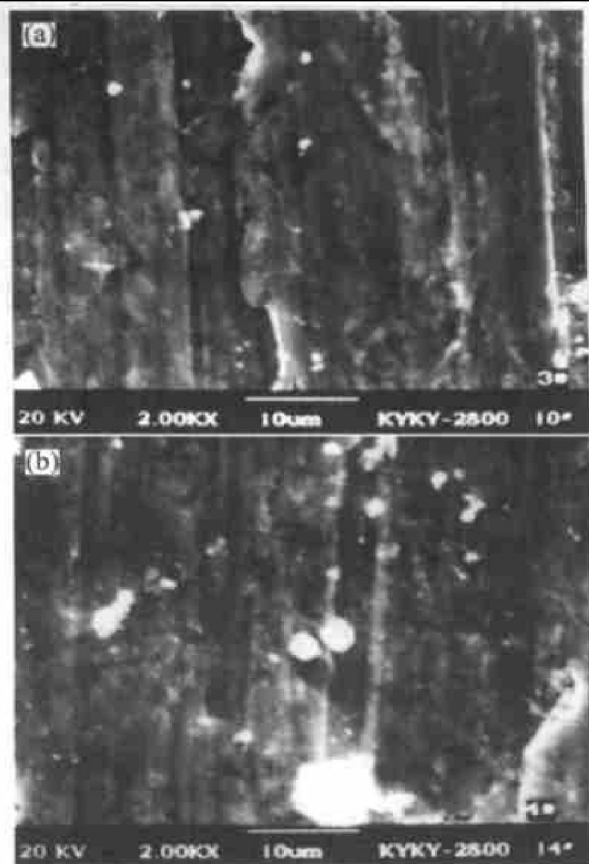


图 6 石墨含量为 1% (a) 和 4% (b) 的试样磨损表面的 SEM 照片

Fig. 6 SEM morphologies of wear surfaces of samples with graphite 1% (a) 4% (b)

6 可以看到, 两种试样在高倍下的磨损表面均比较平滑, 说明二者均形成了有效的固体润滑膜。但比较来看, 石墨含量较高的试样的磨损表面还是要比石墨含量较低试样的磨损表面平滑一些, 这主要是因为石墨的减摩性能远优于铅。铝铅石墨材料突出的润滑性能主要是由于铅作为软金属固体润滑剂优异的抗咬合抗粘着性能和石墨良好的润滑性能尤其是在高温下以及潮湿环境中独特的润滑性能相结合

而得到的。研究表明:在其它条件一定时,外界湿度的增大、以及温度的升高可以造成材料的磨损发生从轻微向严重的转变^[10]。在对磨过程中,由于摩擦使得温度上升、粘着趋势变大,由此使得磨损变得严重^[11]。而对于铝铅石墨材料来说,铅和石墨润滑性能的良好配合使得复合材料的摩擦磨损性能有着极大的改善。从图6可以看出,铝铅石墨固体自润滑材料的磨损形式主要为磨料磨损,还伴有轻微的粘着磨损。

3 结论

1) 在铅和石墨总含量不变的情况下,随着石墨含量的增加,铝铅石墨固体自润滑复合材料的力学性能下降,但石墨含量对强度的影响不如对硬度的影响程度大。

2) 铅和石墨有着良好的协同润滑效应,随着石墨含量的增加,复合材料的摩擦因数减小,同时材料的磨损量也明显下降。

3) 在固体润滑剂含量相同的情况下,铝铅石墨材料的力学性能略低于铝铅材料,但是其摩擦磨损性能好得多,这是因为石墨的润滑性能比铅好,而且存在良好的协同润滑效应。

REFERENCES

- [1] 聂德明. 固体润滑的研究[J]. 固体润滑, 1983, 3(2): 127 - 128.
NIE De-ming. Study of solid lubrication[J]. Solid Lubricat-

ing, 1983, 3(2): 127 - 128.

- [2] Kevorkijan V M. Aluminium composites for automotive applications: a global perspective[J]. JOM, 1999, 11: 54 - 58.
[3] 邓至谦. 金属材料热处理[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1994. 101.
DENG Zhi-qian. Heat Treatment of Metal Materials[M]. Changsha Central South University of Technology Press, 1994. 101.
[4] Li X Y, Tandon K N. Mechanical mixing induced by sliding wear of an Al-Si alloy against M2 steel[J]. Wear, 1999(225 - 229): 640 - 648.
[5] Федорченко И М. 李孔兴译. 粉末冶金复合减摩材料[M]. 北京: 北京粉末冶金所, 1985. 91.
[6] Sahoo K L, Krishnan C S, Chakrabarti A K. Studies on wear characteristics of Al-Fe-V-Si alloys[J]. Wear, 2000, 239: 211 - 218.
[7] Zhou J, Dresden A T, Duszyk J. The effect of extrusion parameters on the fretting wear resistance of Al-barbed composites produced via powder metallurgy[J]. Journal of Materials, 1999. 34: 5089 - 5097.
[8] 孔晓丽, 刘勇兵, 陆有. 粉末冶金高温金属基自润滑材料[J]. 粉末冶金技术, 2001, 192(2): 86 - 92.
KONG Xiao-li, LIU Yong-bing, LU You. Powder Metallurgy Technology, 2001, 192(2): 86 - 92.
[9] Lapper K, James M, Chashechina J, et al. Sliding behavior of selected aluminium alloys[J]. Wear, 1997, 203/ 204: 46 - 56.
[10] 卢德宏, 蒋业华, 周荣. 外部因素对金属基复合材料磨损性能的影响[J]. 材料导报, 2000, L11: 30 - 31.
[11] Koji K. Wear in relation to friction—a review[J]. Wear, 2000, 241: 151 - 157.

Properties of solid self-lubricating Al-Pb-graphite composites

LI Xi-bin, LIU Rui-tie, YANG Hu-min

(State Key Laboratory for Powder Metallurgy, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Solid self-lubricating Al-Pb-graphite composites were produced by general powder metallurgy process, the mechanical properties and friction-wear properties were investigated. Results show that solid lubricants has an important effect on tribological properties. The tribological mechanism was also studied.

Key words: Al-matrix; powder metallurgy; solid lubricant; tribological property

(编辑 龙怀中)