

合金元素对钎料耐磨性能的影响*

王宏斌, 吴希绣, 耿楠, 党革荣

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘要] 设计了用于零件修复的新型 Pb-Sn 基耐磨钎料, 模拟丰-3 发动机曲轴油封部位的工作状态, 对钎料试样进行了磨损试验, 分析了 Sn、Sb、Cu 和 RE 等合金元素对钎料耐磨性能的影响。结果表明, 在合金成分范围内, 合金中 Sn、Sb 和 RE 含量较高时, 钎料的耐磨性能较好。4 组 16 种不同成分的钎料合金中, 9 号和 16 号具有良好的耐磨性能, 152 h 磨损量仅为 0.119 5 g 和 0.156 1 g。

[关键词] 钎料; 合金元素; 耐磨性能; 零件修复

[中图分类号] TG136

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2001)02-121-04

Pb-Sn 基钎料一般主要用于电子元器件的焊接及板金零件的连接和密封, 对 Pb-Sn 基钎料的研究也基本上都集中于钎焊性能和结合强度等方面^[1,2]。在利用低温钎料进行修复方面, 曾有应用低温钎料对磨损零件进行修复的报道^[3], 但所修复的基本上都是承受静压载荷的零件, 对钎料的耐磨性能无特别要求。未见到有关应用低温钎料修复中速或高速运动零件及低温钎料耐磨性能研究方面的报告。

为了开发用于农业机械零件修复的钎料, 本试验依据合金化原理设计了新型的耐磨钎料, 并对该

钎料的耐磨性能进行了研究。

1 试验方法

1.1 合金设计

由于普通 Pb-Sn 基钎料中只有低硬度组织, 不具备良好的承载结构, 因而耐磨性能较差。本试验设计了以 Pb-Sn 合金为基础, 加入一定量的 Sb、Cu 和 RE 作为强化元素的新型耐磨钎料。为了得到较好的合金配比, 试验中配制了 4 组共 16 种不同成分的钎料合金, 合金成分如表 1 所示。

表 1 试验钎料成分

Table 1 The composition of the alloy sample

组别 Group	序号 No.	配料/(g · kg ⁻¹) Composition				
		Sn	Sb	Cu	Pb	RE
1	1	440~ 460	25~ 35	4~ 6	499~ 531	3
	2	440~ 460	55~ 65	8~ 10	465~ 497	6
	3	440~ 460	85~ 95	12~ 14	451~ 463	9
	4	440~ 460	115~ 125	16~ 18	397~ 429	12
	5	540~ 560	25~ 35	8~ 10	395~ 427	9
2	6	540~ 560	55~ 65	4~ 6	369~ 401	12
	7	540~ 560	85~ 95	12~ 14	331~ 363	3
	8	540~ 560	115~ 125	16~ 18	297~ 337	6
	9	640~ 660	25~ 35	12~ 14	291~ 323	12
3	10	640~ 660	55~ 65	16~ 18	257~ 289	9
	11	640~ 660	85~ 95	4~ 6	239~ 271	6
	12	640~ 660	115~ 125	8~ 10	205~ 237	3
4	13	740~ 760	25~ 35	16~ 18	187~ 219	6
	14	740~ 760	55~ 65	12~ 14	161~ 193	3
	15	740~ 760	85~ 95	8~ 10	135~ 167	12
	16	740~ 760	115~ 125	4~ 6	109~ 141	9

注: RE 为混合稀土金属, 未作 RE 成分分析, 表中所标为 RE 的加入量。

Note: RE is a kind of mixed rare earths metal, and the analysis of its composition wasn't done. The added amount of RE is listed in the table.

* [收稿日期] 2000-04-13

[基金项目] 农业部重点科技项目(0875)

[作者简介] 王宏斌(1962-), 男, 陕西蓝田人, 讲师, 博士研究生, 主要从事机械设计与制造研究。

1.2 磨损试验

磨损试验在自制的模拟磨损试验机上进行。该机模拟了丰-3 发动机曲轴油封部位的工作状态。摩擦副为 45 钢试件上钎焊的钎料层与 PD40 × 65 × 12 骨架自紧油封, 磨擦方式为滑动磨擦, 试件转速 2 000 r/m in (线速度 4.2 m/s), 润滑油油温控制在 70

左右, 连续磨损 6~ 8 h/d。每磨损 16 h 取下试样, 用 Sartorius 电子天平 (Max 200 g, 精度 0.1 mg) 称量磨失的质量, 作为其磨损量。

2 结果与讨论

2.1 试验结果

经过 152 h 的磨损试验, 所有试样均未发生漏油现象, 但各钎料合金之间的耐磨性能存在较大差异, 结果如表 2 所示。

表 2 152 h 磨损试验结果

Table 2 Results of 152 h wearing experiment

序号 No	磨损量/(g) Wearing capacity/(g)	序号 No	磨损量/(g) Wearing capacity/(g)
1	0.852 5	9	0.119 5
2	0.349 5	10	0.871 5
3	0.686 4	11	0.377 0
4	0.394 1	12	0.395 8
5	1.101 6	13	0.207 6
6	0.596 4	14	0.256 6
7	1.204 4	15	0.357 1
8	0.923 1	16	0.156 1

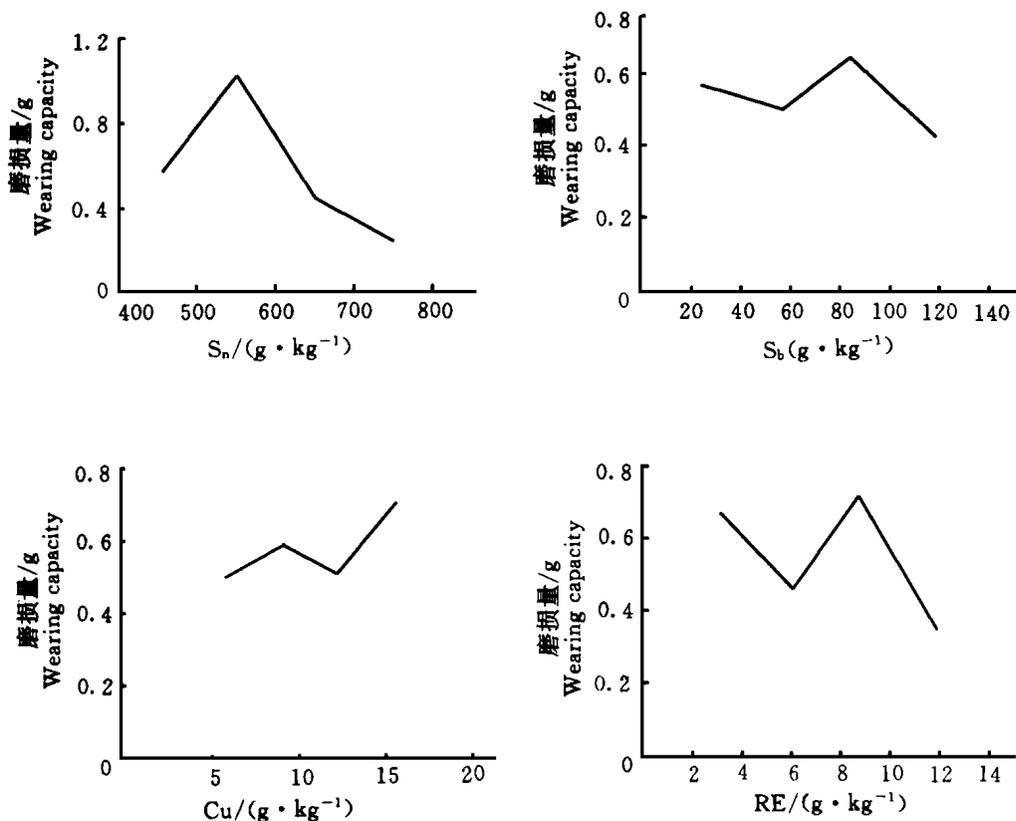


图 1 合金元素加入水平对耐磨性能的影响

Fig. 1 Wear resistance under different level of the alloy addition

2.2 讨论

在外部条件基本相同的情况下, 钎料合金的耐磨性能主要取决于其金相组织结构, 而合金的金相组织结构又主要取决于合金的成分及合金凝固时的冷却速度。由于在试验条件下, 合金的凝固速度基本相同, 因此合金的金相组织结构主要受其成分的影响。各合金元素加入水平对耐磨性能的影响如

图 1a~ d所示。

2.2.1 Sn 对合金性能的影响 Sn 对合金耐磨性能的影响最显著, Sn 的含量在 450 g/kg 左右时, 合金基体中低强度相(α相)过多, 耐磨性能较差。Sn 的含量在 550 g/kg 左右时, 合金基体组织基本上全是(α+β)共晶组织, 基体构成过于单一, 承载结构很差。因此, 第二组合金的总体磨损量最大。Sn 的含量

640 g/kg 时,合金基体基本上由(α + β)共晶组织和 β 相构成,基体强度较高,具有良好的承载结构,所以,后两组合金的耐磨性能要优于前两组。

2.2.2 Sb对合金性能的影响 Sb对合金耐磨性能也有较大的影响,Sb一方面可以固溶于 α 相和 β 相,提高基体强度;另一方面可以形成高硬度金属间化合物SnSb。Sb的含量与合金耐磨性能之间的关系表现得较为复杂(图1b)。这是因为从试验结果来看,与Sb的含量相比较,金属间化合物SnSb的晶粒大小和分布状态对耐磨性能的影响更为显著。在所有试样中,9号合金中Sb含量虽然较少,但形成了大量极其细小弥散、分布均匀的金属间化合物SnSb,而且基体组织也具有较好的形态(图2),其中的硬质点即产生了弥散强化作用,又不会因位错积累而形成微裂纹,所以9号合金的耐磨性能在全部试样中最好。16号合金耐磨性能仅次于9号,其金相组织特点和9号合金大体相似,只是金属间化合物的晶粒略大一些。7号(图3)和8号合金中的硬质相SnSb虽数量不少,但晶粒粗大、分布不均匀,再加上基体组织过于单一,因而耐磨性能很差。

2.2.3 Cu对合金性能的影响 合金中的硬质相除了SnSb之外,还有少量的金属间化合物 Cu_6Sn_5 (或 Cu_2Sn),因为其数量很少,对耐磨性能影响不大。加入Cu的目的主要是为了防止SnSb的偏析。Cu含

量过少时,有可能造成SnSb的偏析,例如6号合金(图4)。Cu的含量14 g/kg时,对耐磨性能的影响不显著(图1c)。但当Cu含量>14 g/kg时,会严重降低合金的疲劳强度,使其耐磨性能恶化^[4]。

2.2.4 RE对合金性能的影响 加入RE能细化晶粒,提高基体机械性能,使合金中的化合物更加细小弥散,分布更均匀,从而提高合金的耐磨性能^[5-7]。从9号、16号合金与7号、8号合金的对比中可以明显看出,前者的RE加入量高于后者,前者的晶粒也比后者细小得多。从实验结果看,RE加入量和合金耐磨性能之间存在着同Sb相似的复杂关系(图1d),推测可能与RE和SnSb之间的交互作用有关。根据项宏瑶^[5]、陈云贵^[6]的研究,稀土可富集于某些金属间化合物,形成富含稀土的金属间化合物,或形成以金属间化合物为基的固溶体^[5,6]。在本试验中合金的RE加入量较大时,其中的SnSb硬度值也较高,推测可能与稀土在SnSb中的富集量有关。试验中还发现,合金中的铜锡化合物存在两种不同的形态,一种为针状(或者星状),显微硬度159.0~174.8 HV₁₀;另一种为异形形态(图5),显微硬度228.9~234.1 HV₁₀。异形形态化合物的硬度比针状化合物的硬度要高得多,估计异形形态的化合物很可能是富含稀土的铜锡化合物。

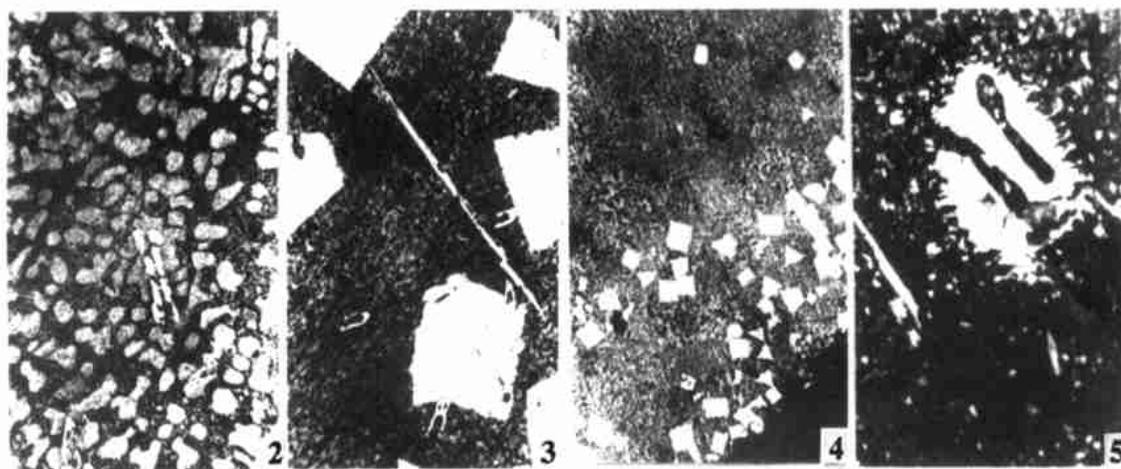


图2~5 不同合金金相组织

图2 9号合金;图3 7号合金;图4 6号合金;图5 两种不同形态的铜锡合金

Fig. 2~5 Microstructure of different alloy

Fig. 2 Sample No. 9; Fig. 3 Sample No. 7; Fig. 4 Sample No. 6; Fig. 5 Two patterns of Cu-Sb intermetallic compound

3 结论

1) 根据试验结果分析,影响试验钎料合金耐磨性能的主要因素,一是合金基体组织的结构,二是合

金中硬质相SnSb的晶粒大小及分布状态。如果钎料合金基体组织细密、有足够的强度,且由不同组织构成,合金中的硬质相SnSb细小弥散、分布均匀,并有较多数量时,钎料合金的耐磨性能则较好。

2) 在钎料合金的成分范围内, 合金中 Sn、Sb 和 RE 的含量较高时, 合金的耐磨性能较好。合金中 Cu 的含量应控制在 14 g/kg 以下, 否则会使合金的耐磨性能恶化。

3) 从模拟磨损的试验结果看, 所设计的以 Pb-Sn 合金为基础, 加入一定量 Sb、Cu 和 RE 作为强化

元素的新型耐磨钎料, 可以用作中速运动零件磨损后的临时性抢修。但要彻底恢复零件的使用寿命, 仍需采用其他修复方法。

4) 由于 RE 对金属间化合物形态的影响机理极其复杂, 受时间及条件所限, 本试验对此未进行更深入的研究。有待进一步研究解决。

[参考文献]

- [1] 邱小明 稀土对锡铅钎料润湿性和接头强度的影响[J]. 吉林工业大学学报, 1994, 24(4): 73- 76
- [2] 石保庆 钎料技术发展动向[J]. 焊接, 1998, 25(1): 37- 38
- [3] 冯国昌 锡铋合金补焊法修复机床导轨[J]. 焊接技术, 1994, 23(5): 42- 32
- [4] 铸造有色合金及其熔炼联合编写组 铸造有色合金及其熔炼[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980
- [5] 项宏瑶 稀土对高强度锌基合金耐磨性的影响[J]. 机械工程材料, 1996, 24(1): 30- 32
- [6] 陈云贵 稀土在锌铝铸造合金中的作用[J]. 稀土, 1994, 15(5): 42- 46
- [7] 薛松柏 高强度锡基钎料的研究[J]. 焊接, 1996, 23(11): 8- 10
- [8] 上海交通大学金相分析编写组 金相分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982
- [9] 侯增寿, 陶岚琴 实用三元合金相图[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983

Effect of the alloying element on solder wear-resistance

WANG Hong-bin, WU Xi-xiu, GENG Nan, DANG Ge-rong

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest Science and Technology University
of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The paper designed the Pb-Sn base alloy of solder used for parts mending. The experiments simulated Harvest3 motor crankshaft grease seal's performance at work was conducted. Some experiments for abrasion were taken on solders. The paper analyzes Sn, Sb, Cu and RE influence on solder's wear resistance. It proves that within the component confines of the alloy, the higher the proportion of Sn, Sb, and RE, the better the wear resistance. In 4 groups that contain 16 kinds of different solder alloy, No. 9 and No. 16 solder alloy manifested a good wear resistance. For instance, 152 hour the amount of abrasion was as little as 0.1195 g and 0.1561 g.

Key words: solder; alloying element; wear-resistance; part restore