

文章编号:1673-9981(2007)02-0095-04

铝基滑动轴承合金材料的研究进展*

陈玉明, 揭晓华, 吴 锋, 李黎明

(广东工业大学材料与能源学院, 广东 广州 510006)

摘要:介绍了铝基滑动轴承合金材料,特别是铝锡系、铝铅系、铝锌系滑动轴承合金的性能、特点及研究进展.

关键词:铝基轴承合金; 性能; 进展

中图分类号: TG146.2

文献标识码: A

滑动轴承材料是制造轴瓦、轴套等零件的材料,这些零件是直接和轴或轴颈配合的摩擦偶件.滑动轴承材料必须具有良好的减摩性、耐磨性、嵌藏性、顺应性、耐腐蚀性及足够的承载能力,以减小摩擦磨损,延长轴承的使用寿命.

随着现代机组向高速、大型化方向发展,对滑动轴承的承载能力及可靠性提出了更高的要求.传统的巴氏合金轴承材料的承载能力特别是高温承载能力较低,随温度的上升,会出现严重的粘着磨损而引起烧瓦事故.铜基轴承合金的承载能力和疲劳强度很高,但其表面顺应性、嵌藏性及磨合性较差,容易伤轴,故其表面需要一层铅锡二元合金或三元合金的镀层,以改善轴承的表面性能.这将使轴瓦的制造成本提高,并会带来环保等方面的问题.铝基滑动轴承合金材料是20世纪二三十年发展起来的一种减摩材料,它具有质轻,比强度和抗疲劳强度高,导热性好及良好的耐腐蚀性、耐摩擦磨损等性能,在汽车工业、航空航天、机械制造等领域中应用十分广泛^[1].

近几十年来,铝基滑动轴承材料的品种及其成型工艺获得了很大的发展,不断得到改进与创新.本文主要介绍铝基滑动轴承材料的研究进展.

1 铝锡系滑动轴承合金材料

1.1 铝锡滑动轴承合金材料

铝锡滑动轴承材料是应用比较早的铝基系轴承材料.20世纪50年代,美国开发了Al-6Sn内衬/钢轴承合金材料,并在其表面电镀一层铅锡或铅锡锡软质合金,以提高轴承材料的嵌藏性和抗咬合性.50年代末,英国研制出不需表面涂敷层的Al-20Sn高锡铝轴承合金材料.这种材料与以往的铝合金轴承材料相比,其抗咬合性能更优;与巴氏合金轴承材料相比,承载能力更强.由于其性能优良、价格适中,因此得到广泛地应用^[2].尹树桐等人^[3]用磁控溅射法在滑动轴承表面溅镀一层Al-20Sn镀层,并对Al-20Sn镀层的表面形貌、组织结构、结合强度及镀层硬度进行了研究,结果表明:该镀层可使滑动轴承(尤其是高载荷轴承)的耐磨性、抗疲劳强度、摩擦特性及应急运行性能大大提高.含锡量为20%左右的高锡铝基轴承合金,其组织中含有数量较多的锡软质点,使合金的硬度和强度较低,但其减摩性、抗咬合性和嵌藏性等却有很大的改善,成为目前中速中负荷发动机轴承的一种主要材料.

1.2 铝锡铜轴承合金材料

随着对汽车尾气排放的限制、石油危机的冲击以及高速公路网的快速发展,对汽车发动机的性能提出了更高的要求,如轴承能在高载、高速及高温等

收稿日期:2006-11-17

* 基金项目:广东省自然科学基金(050052)

作者简介:陈玉明(1980-),男,广东英德人,硕士研究生.

条件下使用,铝锡二元合金轴承材料很难满足这些要求。

当铝锡二元合金为液态时,铝与锡在含量较高的范围内(锡含量 0.06%~99.5%)可以相互溶解,但锡在铝中的固溶度很小,锡与铝可形成低熔点(228.5℃)的共晶体,共晶体呈片状或球状游离在铝晶粒边界。锡含量高时,共晶体呈连续锡膜(片状结晶)包围铝晶粒,形成网状锡铝共晶组织,这种组织的机械强度较低。为了改善铝锡二元滑动轴承合金的性能,在合金中添加铜、硅等元素,这些元素将会溶解到固溶体内而强化基体,提高合金的机械强度和表面性能^[4]。

秦胜毅等人^[5]在铝锡二元轴承合金的基础上加入第三元素 Cu,并在铝基轴承合金表面镀覆一层成分为 Sn 8%~12%, Cu 1%~3%,余量为 Al 的 Al-Sn-Cu三元合金,研究表明:铝锡铜轴承合金具有较高的抗疲劳强度,较好的抗咬合性、顺应性和嵌藏性,是高速中型柴油机轴承的首选材料之一;含锡量少,降低了材料成本,具有较大的发展前途。甘慧庆等人^[4]将 AlSn20Cu 合金直接浇铸在钢带上,用纯铝箔或镍栅层作为 AlSn20Cu 合金与钢层之间的中间结合层,然后进行复合轧制,制备出 AlSn20Cu 合金/钢双金属轴承合金,其产品质量能满足滑动轴承的使用要求并且成本较低。也有学者采用铸造的方法制备出化学成分为 Al-7Sn-2.5Cu-1.1Ni 的铝锡滑动轴承合金,其强度、硬度及伸长率与锡青铜轴承合金的较接近,热导率明显优于锡青铜合金,但其摩擦系数为锡青铜合金的 1/2,耐磨性能较好,密度仅为锡青铜合金的 1/3。该轴承合金既能在低速重载的工况使用,也能在温度较高、滑动速度较高的工况使用,且制造工艺简便,经济效益显著^[6]。

为提高铝基轴承合金的综合性能并降低生产成本,有学者在 Al20Sn1Cu 合金的基础上,采用铸造的方法,制备了成分为 Pb 5%, Sn 15%, Cu 1%, RE 0.5%~1%,余量为 Al 的新型铝基轴承合金,其机械性能、减摩性和抗咬合性能与传统的 Al20Sn1Cu 相比得到很大提高^[7]。

1.3 铝锡硅轴承合金材料

20世纪80年代初期,日本首先开发成功 Al-Sn-Si 系轴承合金材料。由于在 Al-Sn 合金基体中弥散析出 Si 硬质相,且分布均匀,有助于提高轴承合金的耐磨性、抗疲劳强度和抗咬合性,降低合金的线

膨胀系数,因而在工业发达国家被广泛地应用于汽车发动机主轴瓦及连杆瓦。人们一直致力于研究,改善 Al-Sn-Si 系合金材料的抗咬合性能及耐疲劳性能,不断有新的 Al-Sn-Si 系列合金材料问世,并在实际中得到应用。

雷健等人^[8]在钢带上浇铸一层 Al10Sn3SiCu 合金,然后对板材进行复合轧制,制备出高性能 Al10Sn3SiCu 轴瓦带材。为了改善合金层与钢带的结合强度,一般用纯铝层作为过渡层。由于网状分布的共晶硅对铝基体有强化作用,使 Al10Sn3SiCu 轴承合金具有较高的抗疲劳强度和耐磨性,适合作为功率较大的、强化的中型及中重型发动机的轴承材料。有的学者采用传统的铸造方法,在钢背上浇铸一层 AlSn8Si3Pb2Cu 合金,制成双金属铝基轴承合金材料。这种材料虽无纯铝过渡层,但合金层与钢板的粘合强度很好。该材料的抗疲劳强度比 Al-Sn11Si3PbCu 合金高 10% 以上,且含硅量较高,在与球墨铸铁曲轴配对使用时,抗咬合能力强,适用于小间隙运转^[9]。许光明等人^[10]采用液-固相复合轧制法制备 Al-8Sn-2.5Si-2Pb-0.8Cu-0.2Cr/钢复合轴瓦带。这种钢带经表面处理能很好地与 Al 合金液润湿并产生冶金结合,且结合强度高、界面牢固。由于液-固相轧制冷却速度大,使 Al 合金为细晶显微组织,且 Si, Sn, Pb 和 Cr 等元素在组织内均匀弥散分布,有利于提高轴承材料的轴瓦载荷抗力、摩擦疲劳载荷及抗腐蚀和抗磨损。

2 铝铅系滑动轴承合金材料

由于铜锡资源短缺、价格昂贵,促使制造厂家研究开发资源充足及较廉价的轴承合金材料。铝铅系轴承合金材料是 20 世纪 70 年代中期由美国发展起来的一种轴承材料。研究发现:由于铅的弹性模量和剪切强度极低,铝铅系轴承合金比铝锡系轴承合金更容易在摩擦表面形成铅自润滑膜,使铝铅系轴承合金具有低的磨损率、良好的防抱死性能和减摩性能以及可靠的承载能力和适应性;用铅取代部分锡,在技术和经济上具有很大的优势。目前,铝铅系轴承合金材料已成为中载、高速发动机的轴承材料,是低成本、高性能汽车轴承合金的开发重点^[11]。

对铝铅系轴承合金而言,其性能取决于合金中富铅相的形态和分布。有学者利用叶轮搅拌与超声振动来分散和乳化 Al-Pb-Si 熔体,采用铸造方法制

备 Al-Pb-Si 轴承合金。研究表明:经搅拌和超声处理后,Pb 在铝基体中呈点、球状分布,同时 Si 也以点、球状较均匀分布,从而使轴承合金的性能得到极大地提高^[12]。李永伟等人^[13]采用气雾化技术,制备了高质量的 Al-Pb 系轴承合金粉末。对雾化粉末显微结构的分析表明,第二相(铅相)在基体中分布均匀,其粒径大小取决于凝固过程的冷却速度,不同粒径的雾化粉末第二相的分布随冷却速度的增大而分布更均匀、细化。对雾化粉末中各元素分布的分析表明,硅、铜等元素在晶界上有富集现象。也有学者利用特殊装置,通过强力搅拌使质量分数高达 40% 的铅混合到铝合金中,获得均匀的液态铝铅合金乳液,然后用普通的浇铸方法制备铝铅轴承合金,其中铅颗粒的显微形态为点状、球状或团聚状,以大小不同的尺寸均匀地分布在铝合金的基体中^[14]。王军等人^[15]研究了热挤压对搅拌铸造 Al-Pb-Si 合金组织与机械性能的影响,结果表明:热挤压可以显著改善合金铸态组织,降低气孔率,提高轴承合金的机械性能;随着铅含量增加,合金的摩擦系数与磨损率显著下降;当铅质量分数为 20%~25% 时,合金的抗咬合性能明显提高。对其磨损表面的光学与 X 射线光电子能谱分析表明:磨损表面形成了由 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 Pb 的化合物组成的混合物润滑膜,这是其抗咬合性能得以改善的直接原因。

为了进一步提高铝铅系轴承合金的综合性能,很多学者进行了更深一步的研究。有学者在 Al-Pb 合金中加入 Si, Cu, Sn 等元素,采用弥散强化的方法来提高铝铅系轴承合金的综合性能。冉广等人^[16]采用机械合金化、冷压与热挤压法制备了 Al-15Pb-4Si-1Sn-1.5Cu 轴承合金。其试验结果表明:Pb 粒子细小、均匀地弥散分布在 Al 基体中,Al 基体晶粒大小约 1.2 μ m,在其晶界和晶粒内都有 Si, Cu, Sn 粒子析出;合金的抗压强度及硬度随热挤压温度的升高而降低,当热挤压温度为 400 $^{\circ}$ C 时,合金的抗压强度 σ_{bc} 和抗压屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 分别达到 610 MPa 和 440 MPa。该工艺为制备高温时完全互溶、室温时不互溶、合金组元的密度有较大差异且组织均匀的合金奠定了基础。

为了降低生产成本,有的学者对双金属铝铅系轴承合金进行了很多研究。熊柏青等人^[17]先用雾化沉积法制备 Al-8Pb-4Si-1.5Sn-1Cu 合金板坯,再将其与铝箔一起进行轧制,制备了轴承合金。金相及 SEM 观察表明:在沉积态 Al-Pb 合金中,富铅相颗

粒细小且分布均匀,不存在宏观偏析;经过复合轧制后,铝箔与沉积态 Al-Pb 合金基体之间不存在明显界面,形成了良好的界面结合。田冲等人^[18]采用喷射轧制工艺制备了钢/Al-8.5Pb-4Si-Cu-0.5Sn 复合轴承带材。其结果表明:在 Al-Si 基体中分布着均匀细小的 Pb 相粒子;经过 50% 变形量的轧制和 320 $^{\circ}$ C 退火 5h 的处理后,在复合轴承带材的界面处发生了合金元素的扩散,形成了良好的冶金结合层,界面结合强度较高,剪切强度达到 72MPa。

3 铝锌系滑动轴承合金

铝锌系轴承合金是一种新型的铝基轴承合金材料,它以铝为基体,锌含量一般为 5% 左右。铝锌轴承合金的承载能力高,适用于高速、重载、增压强化的柴油机的主轴承及连杆轴承。铝锌合金在熔炼过程中无污染,节电又节锡,而且我国锌资源丰富,价格也较低。因此,铝锌轴承合金材料具有很好的发展前景^[19]。

为改善铝锌轴承合金材料的表面性能,必须在合金表面电镀一层铅锡或铅锡铜软金属,通常称之为二元或三元合金。要在铝锌合金表面得到良好的电镀层,镀层的结合力是关键,而结合力的强弱则取决于镀前处理工艺。因此,对铝锌轴承合金的电镀来说,镀前处理是十分重要的。一般来说,铝锌合金表面镀前处理,除了有机溶剂清洗除油、化学除油及浸蚀等处理外,还必须进行特殊处理,如化学浸锌处理及电镀镍中间层。浸锌处理是在强碱性的锌酸盐溶液中进一步除去铝锌轴瓦表面上的自然氧化膜,同时化学沉积一层锌,防止自然氧化膜的再生,为电镀镍中间层做好准备。电镀镍中间层是为了加强铅锡合金层与基体材料之间的结合力,同时延缓镀层中的锡向基体扩散的速度。有学者经反复研究,选用氟硼酸盐体系电镀液,在铝锌合金表面电镀一层铅锡合金减摩层,其结合力良好,能满足轴承的性能要求^[20]。

黄来铀等人^[21]在铝锌系合金中加入自润滑石墨颗粒,采用铸造的方法制成了铝基轴承复合材料。该材料不需热处理即可使用,原材料来源丰富,成本低。试验证明:该材料的抗拉强度和硬度优于锡青铜轴承合金和巴氏合金,其摩擦系数和磨损量则低于锡青铜轴承合金,且承载能力、顺应性和亲油性也明显优于锡青铜合金。该材料可用于制造在较高负荷

和中、高速条件下工作的滑动轴承零件。

4 结 语

铝基滑动轴承合金材料由于具有中等承载能力及良好的表面性能,近年来随着现代科学技术,特别是汽车工业的发展,传统的巴氏合金及铜基合金作为汽车轴承合金正在被铝基轴承合金所取代。随着滑动轴承的工作环境越来越复杂,要求滑动轴承能长时间在高温、高负荷、强腐蚀等特殊工况工作,人们期待着新的性能高、价格便宜、工艺可行的铝基滑动轴承材料研制成功。我们必须在生产工艺、优化合金成分、提高质量和性能、降低生产成本等方面多下功夫,制备出性价比更高的铝基滑动轴承合金,以满足日益发展的现代工业的需求。

参考文献:

- [1] SHIVANATH R, SENGUPTA P K, EYRE T S. Wear of aluminium-silicon alloys[J]. Br Foundryman, 1977, 70: 349-356.
- [2] 尹延国, 焦明华, 郑治祥, 等. 滑动轴承材料的研究进展[J]. 润滑与密封, 2006(5): 183-186.
- [3] 尹树桐, 李庆芬, 郭亚军, 等. 滑动轴承磁控溅射镀层技术的应用研究[J]. 中国表面工程, 2002(2): 39-41.
- [4] 甘慧庆, 陈凌珊, 陈伯贤, 等. 铝锡轴承合金双金属带制造技术的研究与应用[J]. 机械工艺师, 2001(6): 19-20.
- [5] 秦胜毅. AlSn6Cu 轴瓦三元电镀工艺的研制[J]. 内燃机配件, 1998(1): 32-35.
- [6] 张崇才, 王龙, 刘召杰, 等. 新型铝合金滑动轴承的制造工艺与应用[J]. 热加工工艺, 2006(1): 96-99.
- [7] 李升, 刘志兰, 徐掌印, 等. 新型铝基轴承合金的研制[J]. 轻金属, 1997(1): 50-52.
- [8] 雷健, 魏伯康, 黄永承, 等. 高性能 Al10Sn3SiCu 轴瓦带材的制造技术[J]. 汽车科技, 2004(2): 31-33.
- [9] 王芳伟, 李丰. AlSn8Si3Pb2Cu-08Al 双金属轴瓦研究[J]. 内燃机配件, 2002(2): 4-6.
- [10] 许光明, 崔建忠. 液-固相轧制法生产 Al-8Sn-2.5Si-2Pb-0.8Cu-0.2Cr/钢复合轴瓦带的组织与性能[J]. 金属学报, 2003, 39(7): 725-728.
- [11] TIWARI S N, PATHAK J P, MALHOTRA S L. Microstructures and mechanical properties of leaded aluminum alloys[J]. Met Tech, 1983(10): 413-423.
- [12] 李英龙, 李宝绵, 刘永涛, 等. 利用叶轮搅拌与超声振动制备 Al-Pb 合金轴瓦[J]. 铸造, 1999(11): 4-7.
- [13] 李永伟, 王磊, 朱学新, 等. 雾化 Al-Pb 系轴瓦合金[J]. 稀有金属, 1998, 22(5): 321-325.
- [14] 孙大仁, 杨晓红, 张明喆, 等. 铸造铝铅滑动轴承合金的制备及其显微组织[J]. 特种铸造及有色合金, 1998(5): 24-26.
- [15] 王军, 安健, 杨晓红, 等. 热挤压态 Al-Si-Pb 轴承合金的摩擦学行为[J]. 摩擦学学报, 2002, 22(4): 268-272.
- [16] 冉广, 周敬恩, 席生岐, 等. 高能球磨与热挤压制备 Al-Pb-Si-Sn-Cu 轴瓦合金[J]. 稀有金属材料与工程, 2005, 34(3): 439-442.
- [17] 熊柏青. Al-Pb 系轴瓦合金的雾化沉积制备技术研究[J]. 稀有金属, 1999(5): 233-235.
- [18] 田冲, 陈桂云, 杨林, 等. 喷射轧制钢/Al-Pb 复合轴瓦带材的组织与性能[J]. 材料研究学报, 2004, 18(1): 102-107.
- [19] 徐理明, 包锡弟. 铝锌合金轴瓦的研究[J]. 内燃机配件, 1992(2): 7-11.
- [20] 石重. 铝锌合金轴瓦电镀铅锡合金工艺的研究[J]. 内燃机配件, 1992(2): 31-40.
- [21] 黄来铀, 王伟. 铝基轴承复合材料研究[J]. 中国铸造装备与技术, 1997(4): 20-22.

Investigation progress on aluminum matrix sliding bearing alloy materials

CHEN Yu-ming, JIE Xiao-hua, WU Feng, LI Li-ming

(Faculty of Material and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: This paper introduced aluminum base sliding bearing alloy materials, especially introduced the performance, character and up to date applicative advantage of aluminum-tin base, aluminum-lead base and aluminum-zinc base slider bearing alloy.

Key words: aluminum base bearing alloy; performance; progress