

粉末冶金法制备航空青铜含油自润滑轴承

李世林

(中国民航飞行学院航空工程学院, 广汉 618307)

文 摘 分别以 Sn 含量均为 10wt% 的 Cu、Sn 金属混合粉和 Cu-Sn 合金粉为原料,采用粉末冶金法(PM)制备了航空青铜含油自润滑轴承。分析了不同原料制备轴承的微观结构和相组成,表征了烧结温度对轴承的径向压溃强度、维氏硬度(HV)和含油率的影响。结果表明:不同原料制备青铜含油自润滑轴承的径向压溃强度、维氏硬度和含油率与烧结温度有密切关系。在 780℃ 以下的烧结,以 Cu、Sn 金属混合粉为原料制备的轴承与以青铜合金粉为原料制备的轴承相比,前者的孔结构更为均匀,而且具有更好的综合性能。

关键词 粉末冶金法,自润滑,径向压溃强度,航空轴承

Oil-Impregnated Self-Lubricating Aeronautic Bronze Bearings Prepared by Powder Metallurgy Method

Li Shilin

(Aviation Engineering Institute, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307)

Abstract Oil-impregnated self-lubricating bronze bearings were prepared by powder metallurgy (PM) method with the mixed powder of 90wt% Cu and 10wt% Sn, and the bronze powder with 10wt% Sn content respectively. The microstructure and phase of the prepared bearings were investigated. The effects of sintering temperature on the Vickers micro hardness (HV), radical crushing strength and oil content of the bearings were studied as well. It can be found that HV, radical crushing strength and oil content of the bearings have close connection with the sintering temperature. Better pore structure and combined properties can be obtained for the bearings prepared with the mixed powder compared with the bronze powder under the sintering temperature <780℃.

Key words Powder metallurgy method, Self-lubricating, Radical crushing strength, Aeronautic bearing

0 引言

航空发动机轴承与转动轴的配合设计精密,工作条件苛刻,以当前技术手段实现对此类轴承工作状态的实时监控以及频繁的拆卸维护尚具有较大难度。因此,必须通过有效措施提高轴承的应用性能,即增强耐磨性,延长使用时间,从而降低发动机全寿命周期费用。采用自润滑材料来制备航空自润滑轴承是提高此类轴承应用性能的一条新途径。

当前,机电设备和产品向着微型化、高精密化、智能化的方向发展,自润滑材料的研发和制造工艺也随之快速进步^[1-6]。根据所含润滑剂类型的不同,自润滑材料可分为含固体润滑剂的自润滑材料和含油自润滑材料两种类型。含油自润滑材料的基体组织结构呈多孔状,润滑油浸入其中之后就使该材料具备了自我润滑的特点:轴运行时,润滑油自发从材料的孔

隙中渗出并润滑摩擦面;轴停止运行后,摩擦面上的润滑油又可被吸入到材料的孔隙中储存起来。因此,用少量的润滑油就可长时间维持较好的润滑效果,改善了航空轴承的保养和维护条件。另一方面,传统的滚动承载材料和含固体润滑剂的自润滑材料相比,由含油自润滑材料制作的轴承元件在一定的载荷范围内具有显著的性能和价格优势。

以产品件数计,Sn 含量为 10wt% 的青铜含油自润滑承载元件的产量已占含油自润滑产品总产量的 80% 以上^[1]。在相关元件的生产领域中,不同厂商在原料的选用方面存在着差异:一部分厂商采用 Sn 含量为 10wt. % 的 CuSn 金属混合粉(混合粉)作为生产原料;另一些厂商却采用 Sn 含量为 10wt% 的 Cu、Sn 青铜合金粉(合金粉)来进行生产^[1-6]。虽然青铜含油自润滑元件已经是一类大宗商品,但是关于原料

对青铜含油自润滑元件性能的影响一直缺乏有针对性的研究,影响了青铜含油自润滑元件的标准化生产,也阻碍了此类元件在航空领域的广泛应用。

本文采用粉末冶金法分别以 Sn 含量均为 10wt% 的 CuSn 金属混合粉和 Cu-Sn 合金粉为原料制备了航空青铜含油自润滑轴承(轴承),研究了原料差异对轴承微观结构和相组成的影响,表征了不同烧结温度下不同原料制备轴承的径向压溃强度、维氏硬度和含油率。

1 实验

1.1 原料

采用的原料粉分别是 Cu、Sn 混合粉(Cu 粒径为 1~10 μm, Sn 粒径为 10~50 μm)和 Cu-Sn 合金粉(粒径为 20~50 μm),两种粉料中的 Sn 含量均为 10wt%。

1.2 轴承试样的制备及其性能测试

采用传统的粉末冶金工艺,将原料粉和质量比为 5% 的硬脂酸锌混合均匀,然后压制成 Φ5.4 mm(外径)×Φ2.0 mm(内径)×2.5 mm(高)的环状压坯,密度为 7.0 g/mm³,烧结温度为 720~800℃,保温时间为 20 min,烧结气氛为氨分解气氛。烧结结束后,烧结坯随炉自然冷却至室温,然后在相同工艺条件下对烧结坯进行精整、浸油、清洗,最后制得轴承样品。实验工艺流程如图 1 所示。

用 JEOL JSM5600LA 型 SEM 观察轴承压坯和烧结坯的断口形貌;在方圆 DX-2500 X 射线衍射仪上分析材料的相组成,分析参数为管电压 40 kV,电流 30 mA, Cu Kα,扫描速度 0.06°/s,扫描角度 2θ 为 20°~90°。

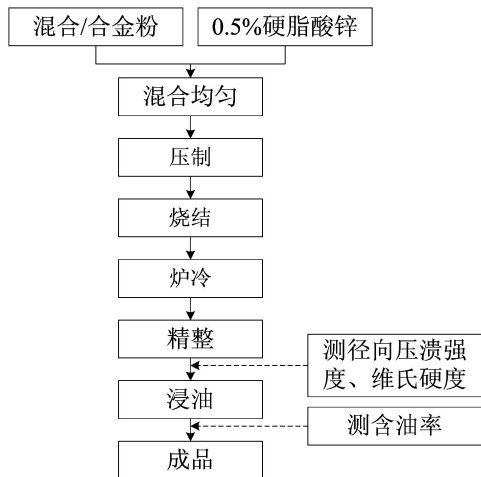


图 1 实验工艺流程图

Fig. 1 Technique flowchart

按照相关标准^[7]测量轴承径向压溃强度和含油率。轴承烧结坯(无油)的径向压溃强度计算公式为:

$$K = \frac{2(D+d)F}{(D-d)^2L} \quad (1)$$

式中, D 为轴承的外径, d 为轴承的内径, L 为轴承的长度, F 为径向压溃力, K 为压溃强度。

轴承含油率 P 的计算公式为:

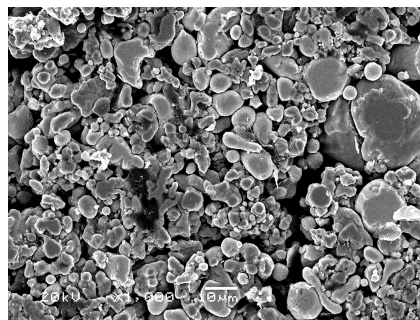
$$P = (b-a)/b \times 100\% \quad (2)$$

式中, b 为含油试样在空气中的质量, a 为无油试样在空气中的质量。

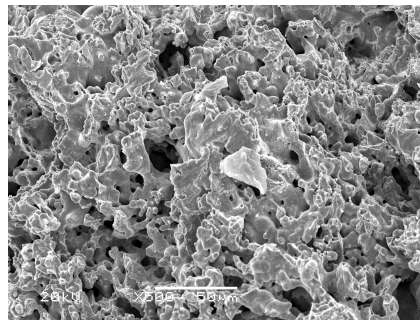
2 结果与讨论

2.1 原料对轴承微观结构和相组成的影响

图 2 是原料为混合粉时,轴承压坯和烧结坯的 SEM 断口形貌图。



(a) 压坯



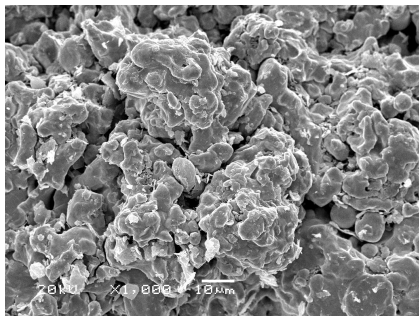
(b) 烧结坯

图 2 原料为混合粉时,轴承的 SEM 断口形貌图

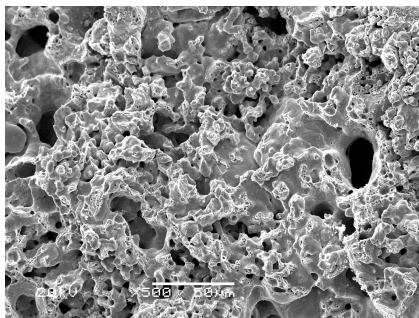
Fig. 2 SEM fracture images of bearing made from mixed powder

由图 2 可知,烧结前,轴承压坯的组织比较松散,而且 Cu、Sn 分别以颗粒的形式单独存在。烧结后,轴承烧结坯中形成了多孔的结构,同时,Cu、Sn 发生反应,形成了合金化组织。这是由于 Sn 的熔点是在 232℃ 附近(Cu-Sn 合金系的共晶点成分为 Sn-0.7% Cu,共晶温度为 227℃),当烧结温度升高到这一温度区间,Sn 粉快速融化,Sn 液也快速流动,流出到 Cu 粉颗粒间的缝隙中,从而在 Sn 粉颗粒原位就形成了粗大孔隙。同时,流向 Cu 粉颗粒间缝隙的 Sn 一侧的熔融共晶合金,随着烧结温度上升,一面反复和周围的 Cu 粉进行合金反应与生成液相,一面形成坚固的合金烧结骨架^[8]。

图 3 是原料为合金粉时,轴承压坯和烧结坯的 SEM 断口形貌图。由图 3 可以看出,烧结前,轴承压坯的组织较图 2(a) 致密,Cu、Sn 以合金化后的大颗粒存在。由图 2(b)和图 3(b)可知,虽然两种原料制备的轴承烧结坯中都形成了多孔的结构,但是以混合粉为原料制备轴承的孔结构比较均匀。



(a) 压坯



(b) 烧结坯

图3 原料为合金粉时,轴承的SEM断面形貌图

Fig.3 SEM fracture images of bearing made from bronze powder

图4是原料分别为合金粉和混合粉时轴承压坯和烧结温度为760℃时所得烧结坯的XRD图谱。从图4曲线①和③可以看出,混合粉的相组成为Cu和Sn的机械混合物,合金粉的成分为Cu和金属间化合物Cu₅.6Sn。

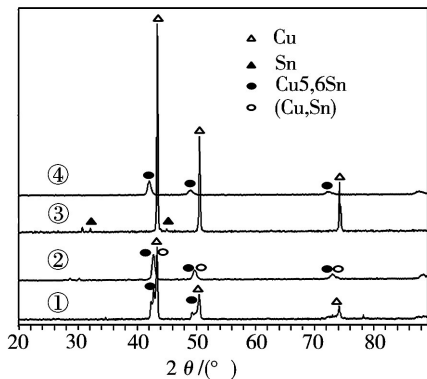
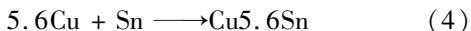


图4 轴承压坯和烧结坯的XRD图谱

Fig.4 XRD patterns of green and sintered compact

- ①合金粉轴承压坯;②烧结温度为760℃时得到的合金粉轴承烧结坯;
- ③混合粉轴承压坯;④烧结温度为760℃时得到的合金粉轴承烧结坯。

由图4曲线②可知,以合金粉为原料制备的轴承烧结坯的成分由Cu和Cu₅.6Sn变成了(Cu,Sn)和Cu₅.6Sn,合金粉烧结坯相对其压坯产生了(Cu,Sn)相。其反应方程式为:



由图4曲线④可知,以混合粉为原料制备的轴承烧结坯的物相由Cu粉和Sn粉全部转变为了Cu₅.6Sn。

由于实验选用的烧结温度高于Sn的熔点,故以

混合粉为原料的轴承烧结后含Sn量低于烧结前的含Sn量,即产生了显著的Sn烧损现象^[9]。以合金粉为原料的轴承烧结后却没有观察到这一现象,这是因为合金粉中没有易损的纯Sn存在,在实验工艺条件下,原料的烧损情况较轻微。

图4曲线②中所示的(Cu,Sn)和Cu₅.6Sn相所对应的特征峰都发生了偏移,(Cu,Sn)对应的峰向高角度偏移,Cu₅.6Sn所对应的峰向低角度偏移。居于这两相间强度较高的特征峰实际上是(Cu,Sn)和Cu₅.6Sn对应特征峰的合峰。出现这种现象的原因是烧结后轴承内存在着残余应力。这预示着在各种精密应用领域,通过烧结得到的轴承在使用前还应该进行适当的热处理,以消除轴承内部的残余应力。

2.2 原料和烧结温度对轴承性能的影响

图5给出不同烧结温度下以混合粉和合金粉为原料制备轴承的径向压溃强度。

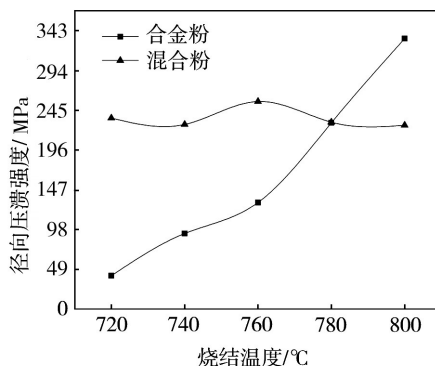


图5 烧结温度对轴承径向压溃强度的影响

Fig.5 Effect of sintering temperature on radical crushing strength of bearing

由图5可以看出,以混合粉为原料制备轴承的径向压溃强度随烧结温度的升高先升高,后有稍微的降低趋势。这是因为随烧结温度的升高,原料先发生了合金化反应并生成了坚固的烧结骨架^[8],使得径向压溃强度在760℃附近达到最高值262MPa;当烧结温度为780℃时,此时已经远远超过纯Sn的熔点,Sn粉快速熔化,烧结过程中有一小部分Sn烧损,造成轴承的孔隙增多,所以其径向压溃强度降低。但是此时的径向压溃强度仍可达到196MPa以上,已经超过了标准^[7]中的粉末冶金轴承的径向压溃强度最低要求值(176MPa)。以合金粉为原料制备轴承的径向压溃强度随温度的升高而升高,但总体上它比以混合粉为原料制备轴承的径向压溃强度低,只是在780℃左右时,两种原料所得烧结坯的压溃强度才相当。这是因为对于合金粉来说780℃以下的烧结温度仍然偏低,在烧结过程中,对轴承力学性能有重要贡献的金属间化合物产生得较少,不能形成非常坚固的合金骨架。

图6是不同烧结温度下以混合粉和合金粉为原

料制备轴承的维氏硬度。可以看出,以混合粉为原料制备的自润滑轴承的硬度随烧结温度的升高,先降低后升高。这是因为当烧结温度达到 740℃ 时,Sn 的烧损对轴承硬度的削弱作用超过了生成的合金骨架对其硬度的促进作用,因而其硬度先降低;随着烧结温度的进一步升高,合金骨架对硬度的影响作用得以增强,因而硬度上升。以合金粉为原料的轴承的硬度随着烧结温度的升高而升高,这主要是由于随烧结温度的升高,Cu、Sn 合金化程度增加,硬度也随着升高。虽然以合金粉为原料的轴承的硬度随着烧结温度的升高保持了升高的趋势,但是 780℃ 以下,以混合粉为原料制备的轴承的硬度要比以合金粉为原料所制轴承的硬度高。

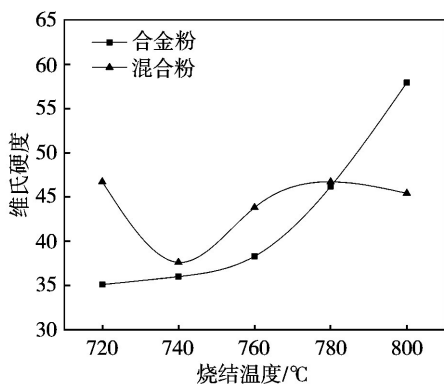


图6 烧结温度对轴承硬度的影响

Fig. 6 Effect of sintering temperature on HV of bearing

图7为不同烧结温度下以混合粉和合金粉为原料制备轴承的含油率,可以看出,随烧结温度的增加,合金粉制备轴承的含油率总的变化趋势是降低的。以混合粉为原料制备轴承的含油率在 740℃ 附近出现了最高值,即 20.5%。

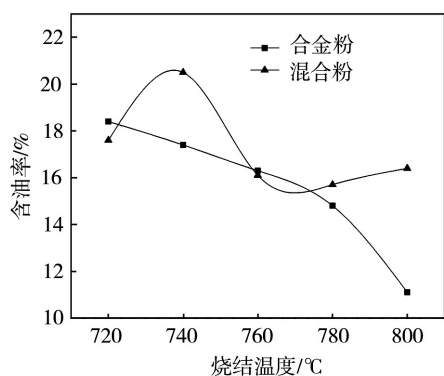


图7 烧结温度对轴承含油率的影响

Fig. 7 Effect of sintering temperature on oil content of bearing

结合图6可知,以混合粉为原料时,当烧结温度升高到 740℃,轴承的硬度降低,孔隙率随之升高,含油率也相应提高。随着烧结温度的继续升高,轴承硬度升高,同时其收缩率增加,孔隙率下降,含油率也就

随之降低。当烧结温度超过 780℃ 后,由于混合粉原料中的 Sn 显著烧损,使得制备的轴承孔隙率有所升高,含油率也就随之小幅上升。由于高温下的合金化反应非常迅速,容易形成坚固的合金骨架,因此进一步提高烧结温度对混合粉原料制备轴承的含油率影响不大。

综合可得,密度为 7.0 g/mm³ 的混合粉和合金粉压坯经 720 ~ 800℃ 烧结后的性能:径向压溃强度分别为 221 ~ 262 和 41 ~ 336 MPa,维氏硬度分别为 37.6 ~ 46.7 和 35.1 ~ 57.8 HV,含油率分别为 15.7% ~ 20.5% 和 11.1% ~ 18.7%。考虑到生产成本等因素,若采用 780℃ 以下的烧结温度,以混合粉为原料制备的青铜自润滑轴承的综合性能比较好。

3 结论

(1) 分别以混合粉和合金粉为原料,通过粉末冶金法制备了烧结青铜自润滑轴承,前者的孔结构较为均匀。

(2) 以混合粉为原料制备轴承的径向压溃强度在 760℃ 附近达到最高值 262 MPa,维氏硬度总体上随温度的升高先下降,后上升,含油率则先上升后下降。用合金粉制备的轴承,径向压溃强度随烧结温度的升高而升高,维氏硬度也呈上升的趋势,而含油率呈下降的趋势。

(3) 在 780℃ 以下烧结,Cu、Sn 金属混合粉制备的轴承综合性能较好。

参考文献

- [1] 王宝娣. 日本烧结自润滑轴承的生产[J]. 轴承,1990(2):61-62
- [2] 闵淑辉,曾卫,张立忠. 矿山索道用粉末冶金自润滑轴承的研制与应用[J]. 粉末冶金工业,2001,11(3):34-37
- [3] 张立忠,柳莉,闵淑辉. 粉末冶金自润滑轴承在矿山索道上的应用[J]. 矿山机械,1999(11):51-53
- [4] 葛佐正. 镶嵌石墨自润滑轴承在大型起重机上的应用[J]. 冶金设备,1999(1):27-29
- [5] 李绍忠. 烧结自润滑轴承的特性与汽车设计制造的选择[J]. 汽车研究与开发,2001(5):38-42
- [6] 李绍忠. 烧结自润滑轴承在汽车设计制造中的选择原则[J]. 汽车科技,2002(3):26-29
- [7] 韩凤麟. 美国 MPIF 标准 35 粉末冶金自润滑轴承材料标准 1998 年修订简介[J]. 粉末冶金工业,2000,10(3):39
- [8] 韩凤麟. 烧结自润滑轴承[J]. 粉末冶金技术,2002,20(3):124
- [9] 钱中良,盛伟. 石墨含量对铁基粉末冶金含油减摩材料组织性能的影响[J]. 机车车辆工艺,2003(2):13

(编辑 李洪泉)