

提高 Cu 含量对锡基巴氏合金力学性能的影响

陈润霖, 卫洋洋, 贾 谦, 许吉敏, 张 帆, 袁小阳

(西安交通大学 现代设计及转子轴承系统教育部重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘 要: 常用的锡基巴氏合金有多种, 其中 SnSb11Cu6 中铜的质量分数约为 6%。本工作研究提高 Cu 含量对其力学性能的影响。在熔炼的 SnSb11Cu6 巴氏合金中分别添加 Cu 粉, 浇铸得到 Cu 质量分数分别为 7%、8%、9%、10% 的 4 种巴氏合金试样。对试样进行金相组织分析、高温压缩试验、摩擦磨损试验以及高温硬度试验, 以得到使锡基巴氏合金综合性能较优的 Cu 含量。结果表明: 提高 Cu 含量对巴氏合金的金相组织影响较大, 引起硬质相 Cu₆Sn₅ 的增加和 α 固溶体 (Sn) 的减少, β 相 (SnSb) 比例变化不大, 但晶粒尺寸有所增加; 随着 Cu 添加量的提高, 试样压缩屈服强度先升高后降低, Cu 添加量在 1%~2%, 最大压缩力和压缩屈服强度较大; Cu 含量的提高对巴氏合金的摩擦系数影响不大, 但是会使材料在干摩擦条件下的抗磨损性能下降。添加 Cu 使锡基巴氏合金中铜含量提高至 7%~8% 时, 能够有效提高材料的高温硬度和软化温度, 考虑到此材料的压缩屈服强度和摩擦磨损性能并未显著下降, 可以认为此材料能够较好地用于滑动轴承, 特别是重载轴承。

关键词: 巴氏合金; 力学性能; 金相组织; 压缩屈服强度; 摩擦磨损; 软化温度

中图分类号: TG146.1⁺4; TG135⁺.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2018)06-1854-06

巴氏合金是一种应用范围很广泛的轴承材料, 特别是在大型、重载等工况下。但是其耐高温性能是限制其应用范围的重要因素。各国学者在材料改性及工艺路线改进等方面展开大量研究, 以提高滑动轴承材料耐温性能。锡基巴氏合金通常含 5%~8%Cu 和 4%~11%Sb, 余量为 Sn, 常用牌号有 SnSb4Cu4、SnSb8Cu4、SnSb8Cu8、SnSb11Cu6、SnSb12Pb10Cu4, 其中 Cu 含量为 6% 的 SnSb11Cu6 是较为常用的巴氏合金。贾谦^[1]等用公里设计理论研究了巴氏合金轴瓦成形新工艺, 通过在锡基巴氏合金 SnSb11Cu6 中添加微量 Cu 及对冷却速度的控制改进原工艺。王建梅等^[2]进行了 SnSb11Cu6 蠕变试验, 分析了应力、温度、时间、应变和应变率之间的关系, 获得了 SnSb11Cu6 的蠕变力学性能。张忠礼^[3]等针对电弧喷涂巴氏合金涂层分析了其微观组织结构和磨损表面形貌, 研究了工艺参数对材料摩擦磨损性能的影响规律。F. A. Sadykov 等^[4]研究了 B83 巴氏合金不同金相组织在不同的温度和应变速率下的力学性能。董光能等^[5,6]利用在巴氏合金中加入镀铜 WO₃ 的方法来改善巴氏合金的性能, 通过试验研究表明, 改性后的巴氏合金具有较高的承载能力和耐磨性。贺林等^[7,8]提出了加入镀铜短碳纤维作为

增强体的方法来强化巴氏合金, 增加其强度, 特别是高温下的强度。樊吉兵、翁炳奎等^[9,10]在传统巴氏合金中加入镍、镉元素, 并对比了镉镍巴氏合金与传统巴氏合金的性能, 镉镍巴氏合金的室温硬度和室温力学性能有明显提高, 且晶粒得到了细化。揭晓华^[11]选择碳纳米管作为增强体, 并通过电沉积技术将其与普通巴氏合金基体复合在一起, 利用碳纳米管的独特性质来改善轴承合金的摩擦学特性, 提高其耐磨性能和抗疲劳性能, 利用镀层中碳纳米管的应力传递与均布作用提高镀层的承载能力。张彬^[12]等通过对 ZChSnSb11-6 熔炼铸造、挤压、拉拔等工序的优化, 得到的丝材可以满足轴瓦再制造热喷涂对显微硬度、结合强度、孔隙率的要求。周健^[13]等人通过一定方法将巴氏合金制成粉末, 并与磁性颗粒混合, 在助焊剂的保护下加热至 450~500 °C, 在磁场下搅拌和浇铸, 制成丝材, 细化了合金晶粒, 提高了耐磨性, 磁性颗粒的加入也进一步提高了巴氏合金堆焊层的耐磨性。白凤科^[14]给出了在巴氏合金中加入铜的方法来提高巴氏合金的性能, 其原理是利用铜来阻止密度较小的硬质相上浮, 从而形成组织均匀的巴氏合金。

上述方法有些是加入银等贵金属元素, 成本

收稿日期: 2017-06-16

基金项目: 国家自然科学基金 (51275395); 国家科技重大专项 (2012ZX04002-091)

作者简介: 陈润霖, 男, 1985 年生, 博士生, 西安交通大学现代设计与转承轴系统教育部重点实验室, 陕西 西安 710049, 电话: 029-826669152, E-mail: chenrunlin@xaut.edu.cn

较高，有些对加入金属元素的定量分析不够彻底。本实验在前述研究的基础上，通过在传统巴氏合金中分别加入 0%，1%，2%，3%，4% 等不同质量分数的铜粉来改性巴氏合金，定量分析加入铜对巴氏合金的金相组织、高温压缩性能、摩擦磨损性能和高温硬度的影响，确定加入铜来改性巴氏合金的关键参数。

1 实验

实验设备包括：电阻炉和保温炉各一台；合金成型模具：直径为 50 和 20 mm 圆钢管若干根；熔炼坩埚；精度为 0.1 g 电子秤一台。

实验材料包括：牌号为 ZSnSb11Cu6 的巴氏合金 10 kg；粒度 ≤ 74 μm 的铜粉 500 g。

将 ZSnSb11Cu6 巴氏合金放入熔炼坩埚中，并置入电阻炉中加热，同时放入碳粉以减少合金的氧化。分别按照质量分数为 1%、2%、3%、4% 称取 Cu 粉，待坩埚中巴氏合金熔化后加入铜粉并用金属棒搅拌，以使合金熔液成分均匀，然后在 460 °C 电阻炉中保温，等待浇铸成型。保温时间在 30~40 min，并在浇铸前去除熔液表面氧化物。

浇铸前首先将圆钢管清洗干净，并在烘箱中干燥，防止浇铸时由于残存水而飞溅金属液，而后将圆钢管预热到 300 °C，目的是为了在浇铸时保持熔液的流动性便于充型。将已制备好的改性巴氏合金熔液倒入圆钢管中，并用金属棒慢慢搅动，待液态金属开始凝固时，迅速用水冷却，待温度到 200 °C 时置于保温炉中保温 1 h 并随炉冷却，得到棒状试件。

金相组织观察及分析设备为研究型倒置式金相显微镜，型号为 PMG3，光学最大放大倍数为 2000 倍，数显为 1000 倍。金相组织分析试验试件制作和试验方法依据 CB 1156-92 《锡基轴承合金金相检验》。

压缩试样设计依据 GB/T 7314-2005 《金属材料室温压缩试验方法》，试样零件图和实物如图 1 所示。根据试样添加铜粉的质量分数，将试样分别编号为 0 (0%)，1 (1%)，2 (2%)，3 (3%)，4 (4%)。

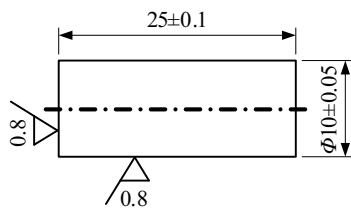


图 1 压缩性能试验试样示意图

Fig.1 Schematic drawing of specimen for compressive properties test

巴氏合金高温压缩性能测试设备为带有加热模块的 Instron 5500R 电子拉伸压缩试验机。试验温度 120 °C，试样在试验机的加热和保温炉中加热并保温，时间为 15 min，之后随炉进行压缩试验，压缩时设置的压缩速度为 1 mm/min，应变速率为 0.04/min。

巴氏合金的使用性能也体现在摩擦学性能上，为了研究铜的加入对摩擦学性能的影响，利用 UMT-2 多功能摩擦磨损试验机进行试验，对比加入不同量铜的改性巴氏合金的摩擦系数和磨损量。摩擦磨损试样工程图和实物如图 2 所示。

试验测试了干摩擦条件下和 25# 润滑油润滑条件下加入不同量铜的巴氏合金销和不锈钢盘的摩擦系数以及销的磨损量。所有试样的摩擦表面粗糙度 R_a 为 0.8 μm。试验参数如表 1 所示。

硬度试验采用布氏硬度标准，对每个温度下材料的布氏硬度进行 3 次采样，取其平均值作为此温度下材料的布氏硬度值。试样选用未添加铜粉的巴氏合金和添加 2% Cu 粉的巴氏合金 2 种试样。硬度计选用 HB-3000B-I，测量温度定为 25、50、90 °C。

2 结果与分析

2.1 金相组织分析

加入不同质量分数的铜粉进行改性后的锡基巴氏合金金相组织如图 3 所示，其中黑色基体为锡 (Sn) 的 α 固溶体，较大的白色三角或者方块为 β 相 (SnSb)，白色针状、点状或者短杆状为 Cu_6Sn_5 相 (也有文献称为 η 相^[15])。随着铜粉加入量的增加，黑色基体越来越少，即锡的 α 固溶体越来越少， Cu_6Sn_5 相则增多，β 相基本上变化不大，但晶粒尺寸有所增大，如表 2 所示。

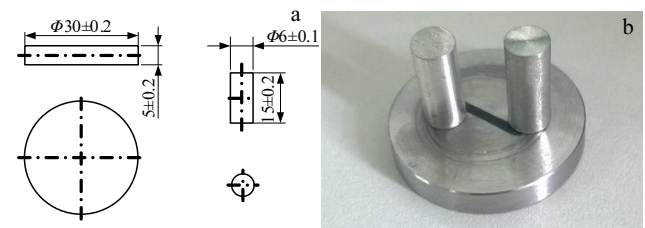


图 2 摩擦磨损试验试样工程图和实物图

Fig.2 Specimens for friction-wear test: (a) engineering drawing and (b) physical figure

表 1 改性巴氏合金摩擦磨损试验参数表

Rotating speed/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	Radius of rotation/ mm	Line speed/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	Test load/ N	Specific pressure/ MPa	PV value/ $\text{MPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
500	7	0.366	15	0.53	0.194

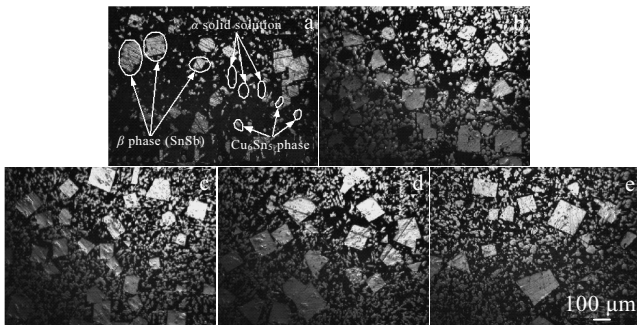


图 3 添加不同质量分数的铜粉改性后巴氏合金金相组织
Fig.3 Metallographic images of the new Babbitt alloy added with different mass fractions of Cu: (a) 0% , (b) 1%, (c) 2%, (d) 3%, and (e) 4%

表 2 添加不同质量分数 Cu 粉时 β 相 (SnSb) 的尺寸和分布变化

Table 2 Size and distribution of β phase (SnSb) in Babbitt alloys added with different mass fractions of Cu

Mass fraction of adding Cu/%	0	1	2	3	4
Number of β phase	14	23	27	18	14
Average side length of β phase/μm	90.3	84.8	89.4	113.6	104.6
Maximum side length of β phase/μm	119.0	136.0	127.7	147.9	174.4
Minimum side length of β phase/μm	55.3	56.8	54.6	73.9	64.5
Area ratio of β phase/%	9.39	13.59	17.73	19.10	12.60

锡的 α 固溶体减少与合金中锡的比例降低有关。由于模具高的冷却速度，外侧的巴氏合金温度较低，更易形成锡的 α 固溶体，造成浇铸得到的棒料边缘成分偏析，而内部温度较高，铜易与锡结合形成 Cu₆Sn₅ 相，这将导致 Cu₆Sn₅ 相析出增多与锡的 α 固溶体减少。对于本实验中 Cu 的含量 6%~10% 范围内，增加的 Cu₆Sn₅ 相形成骨架并成为 β 相结晶的核心，阻止 β 相由于上浮而引起的偏析，所以 β 相分布都比较均匀。

上述分析说明，随着铜的加入，较软的基体比例降低，硬而脆的 Cu₆Sn₅ 相增加，β 相数量变化不大，而晶粒尺寸略有增大。由于硬质相的增加会造成合金塑性降低，而各相晶粒尺寸的增大会影响巴氏合金的性能，晶粒越大，强度越低，塑性和韧性越差，因此应控制铜粉的加入量，使得 Cu₆Sn₅ 相不至于过多，β 相晶粒尺寸增加较少。

2.2 高温压缩性能分析

材料的压缩性能是指材料在压应力作用下抵抗变形的能力。轴承的高速、重载化发展要求巴氏合金材料具有高的抗压缩性能，但是由于巴氏合金的温度敏

感性比较大，高速重载所带来的温升将使巴氏合金材料的力学性能更差，从而导致巴氏合金层变形，油膜厚度增大，承载力降低，甚至巴氏合金层会发生塑性流变，造成严重烧瓦事故，因此必须对改性后的巴氏合金进行高温条件下的抗压缩性能测试。

高温压缩试验前后的试样对比如图 4 所示。从图中可以看出，试样 0、1 和 2 最终被压成鼓状。由于试样 0 在压缩量小于 9 mm 时的载荷变形曲线较为平缓，没有明显的上扬趋势，因此补充进行了较长时间的试验，在压缩变形量达到 13 mm 时尚未被压溃。试样 1 和试样 2 在压缩载荷基本稳定后结束试验，压缩变形量为 9 mm 左右，试样没有被压溃。试样 3 和 4 在压缩变形量达到 3~4 mm 时有较为明显的压缩载荷降低的趋势。结束试验后发现试样呈现出明显的沿法线与试样轴线成 45°~55° 夹角的斜截面错位而破坏的迹象。

高温压缩试验载荷变形曲线如图 5 所示。通过图解法可以确定最大实际压缩力，利用公式 (1) 计算出压缩屈服强度：

$$R_e = \frac{F_c}{S_0} \quad (1)$$



图 4 高温压缩试验前后的试样对比
Fig.4 Comparison of specimens before and after the compression test (120 °C)

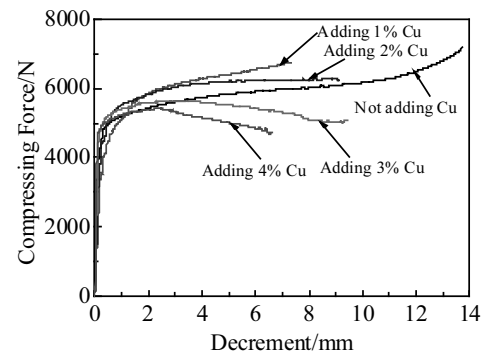


图 5 加入不同量铜的巴氏合金高温压缩载荷变形曲线
Fig.5 Load-deformation curves of Babbitt alloy added with different amounts of Cu in high temperature compression test (120 °C)

式中： R_c ——压缩屈服强度 (MPa)； F_c ——最大实际压缩力 (N)； S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

高温压缩试验得到的结果如表 3 所示。随着铜含量的增多，最大实际压缩力与压缩屈服强度先增加后减小，即铜粉的加入对于试样压缩屈服强度的提高有一定的作用，但是当铜粉的加入量超过 2%后，最大实际压缩力和压缩屈服强度有较为明显的降低。这是因为铜含量的增多导致了硬而脆的 Cu_6Sn_5 相增加，进而导致合金塑性降低。

2.3 摩擦磨损性能分析

2.3.1 摩擦系数测试及分析

改性巴氏合金和不锈钢配对在干摩擦时的摩擦系数曲线如图 6 所示。在干摩擦条件下，加入不同量的铜对巴氏合金干摩擦系数的影响不大。对摩擦系数曲线去掉奇异点和磨合阶段，得到不同 Cu 含量的材料干摩擦系数如图 7 所示。从图 7 的结果看，5 个试样的摩擦系数都在 0.35 左右，添加 1%~2%Cu 的摩擦系数相比未添加 Cu 的略高（高 3.8%~4.6%）；而添加 3%~4%Cu 的摩擦系数略小（小 4.1%~5.7%），这样的差别可以忽略不计，认为添加 Cu 对干摩擦系数几乎没有影响。此外，不同铜含量的巴氏合金，随着时间的增加，其摩擦系数有越来越大的趋势。

同时进行了油润滑的对比试验。采用 25#润滑油，试验前，一次性添加润滑剂，中间不再进行润滑，得到的改性巴氏合金和不锈钢配对的摩擦系数图 8 所

表 3 加入不同量铜的巴氏合金试样压缩试验数据

Table 3 Compression test data of of new Babbitt samples (120 °C)

Sample No.	0	1	2	3	4
Maximum compression force/N	6000	6300	6200	5550	5450
Compressive yield strength/MPa	76.43	80.26	78.98	70.70	70.57

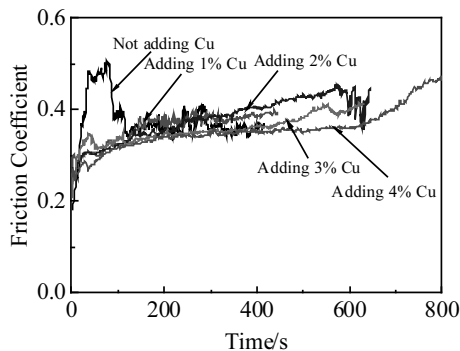


图 6 干摩擦条件下巴氏合金的摩擦系数曲线

Fig.6 Friction coefficient curve of Babbitt alloy under the condition of dry friction

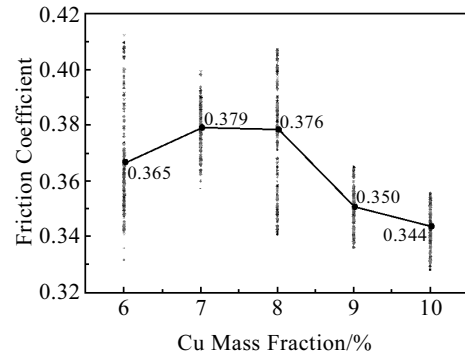


图 7 不同铜含量的巴氏合金的干摩擦系数

Fig.7 Dry friction coefficient of Babbitt alloy with different Cu mass fractions

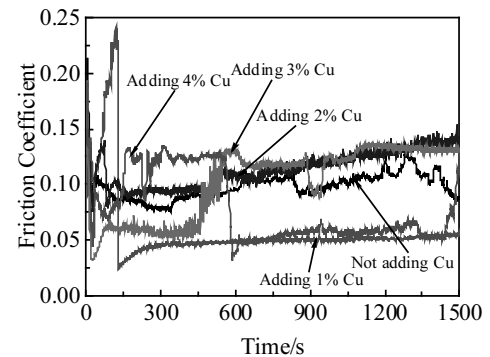


图 8 25#油润滑条件下巴氏合金的摩擦系数曲线

Fig.8 Friction coefficient curves of Babbitt alloy under the condition of 25# oil lubrication

示。在 25#润滑油润滑条件下，不同铜含量的巴氏合金的摩擦系数在 0.04~0.13 之间，是边界润滑状态下的典型摩擦系数。从图中可以看出，前 3 个试样的摩擦系数随时间变化较为平稳，而后 2 个试样的摩擦系数则变化剧烈，对比干摩擦时的摩擦系数，油润滑条件下的摩擦系数较小，但是变化较为剧烈。说明润滑油的存在对巴氏合金与不锈钢配副的摩擦状态的影响较大，而铜的含量对巴氏合金摩擦状态的影响不大。

当巴氏合金销和不锈钢盘处于比较好的润滑状态时，其摩擦系数平稳且较小，如图 8 中添加 1%Cu 试样的曲线，其摩擦系数较小（0.05）且非常平稳；当二者的润滑状态不良时，其摩擦系数变化较大，如图 8 中添加 3%和 4%Cu 的试样的曲线。添加 3%Cu 试样开始阶段，摩擦系数较小，表明建立了比较好的润滑膜，随着时间的增加，其摩擦系数快速变大，说明润滑被部分破坏，而后摩擦系数又相对稳定在较高的数值，说明还有部分润滑膜在起作用。添加 4%Cu 试样开始阶段摩擦系数较小，但是短时间内迅速增大

并在较大摩擦系数值稳定一段时间后又降低。这与摩擦面的表面粗糙度有关，也与试样的金相组织有关。因为铜的含量增加引起的硬质相增多以及软质相的减少，材料的嵌入性降低。较大尺寸的晶粒造成合金硬质相容易从试样表面剥落形成磨粒，磨粒对摩擦系数的影响较大。开始阶段，与表面粗糙峰相接触，摩擦系数不稳定，一定时间后，粗糙峰迅速被磨平，摩擦副处于稳定混合润滑状态，随着时间的增加，摩擦状态一直处于变化中。从摩擦系数上来看，上述试验的摩擦副处于混合润滑状态，其整体特性是各种润滑膜组成特性的综合表现，各种润滑膜在摩擦表面上所占的比例与摩擦界面和工况条件有关，混合润滑状态具有强烈的时变性，各种润滑膜的比例及分布处于不断的变化之中，受到多种因素的影响。

2.3.2 磨损量测试及分析

磨损量的测量采用精度为 0.1 mg 的精密电子天平，油润滑状态下的磨损量微乎其微，由于天平精度所限，没有获取其磨损量。表 4 为加入不同量铜的巴氏合金与不锈钢干摩擦状态下的磨损量。

由表 4 中数据可以看出，随着铜含量的增加，试样磨损量增加，这表明铜含量的增加导致巴氏合金材料的抗磨损性能的下降，使得材料容易被磨损，特别是当铜含量达到 8% 以上时，材料磨损严重。这与巴氏合金的金相组织有关。前述金相组织分析表明，随着铜含量的增加，巴氏合金硬质相变多，且 β 相晶粒尺寸变大，脆而大的硬质相颗粒容易从基体上脱落形成磨损。此外，脆而硬的硬质相增多，降低了材料的摩擦顺应性及嵌藏性，容易形成磨粒磨损。因此铜的加入必须控制在一定的范围内，使得硬质相的比例在一定范围内，才能保证耐磨性能不至于下降太多。

而在油润滑条件下，其磨损量非常小，且处于稳定工作状态下的巴氏合金其润滑状态为流体润滑，除启动阶段或者过载等原因造成的短时非流体润滑外，巴氏合金不会有磨损，因此加入铜改性巴氏合金的干摩擦磨损性能略有下降并不影响其使用性能。

2.4 硬度试验

布氏硬度测量结果如表 5 所示。在 25 °C 时，改性巴氏合金的布氏硬度为 302 MPa，未改性巴氏合金的布氏硬度为 241 MPa，此时硬度增加 25.3%。50 °C 时，硬度提高了 17.7%。当温度为 90 °C 时，改性巴氏

表 5 巴氏合金随温度变化的布氏硬度测量值

Table 5 Brinell hardness of Babbitt alloy under different temperatures (×10 MPa)

Test group	Not adding Cu			Adding 2% Cu		
	25 °C	50 °C	90 °C	25 °C	50 °C	90 °C
Group 1	25.0	20.3	17.2	32.7	24.7	19.7
Group 1	25.2	21.5	19.7	27.4	22.6	20.3
Group 3	22.3	20.9	17.6	30.5	26.6	19.0
Average value	24.1	20.9	18.2	30.2	24.6	19.7

合金的布氏硬度为 197 MPa，未改性巴氏合金的布氏硬度为 182 MPa，此时硬度增加 8.3%。

随着温度的升高，巴氏合金的硬度会降低。当布氏硬度值降到 120 MPa 以下时的温度为其软化温度，这是巴氏合金的极限工作温度，而轴承的安全使用温度推荐为软化温度的 60%。在 90 °C 时添加 2% Cu 粉的巴氏合金比未添加 Cu 粉的巴氏合金具有更高的布氏硬度，因此可以认为添加 Cu 粉后的巴氏合金软化温度比未添加铜粉的软化温度提高，使轴承能在相对较高的温度下安全运行，说明添加 Cu 粉使巴氏合金具有优越的高温性能。

3 结 论

1) 铜粉的加入对巴氏合金的金相组织有较大影响，铜的加入引起硬质相 Cu₆Sn₅ 相增加和锡 (Sn) 的 α 固溶体的减少，β 相比比例变化不大，但是 β 相晶粒尺寸有所增加。

2) 随着铜含量的增多，最大实际压缩力与压缩屈服强度先增加后减小，但是当铜含量超过 8% 以后，最大实际压缩力和压缩屈服强度反而有较为明显的降低，巴氏合金的塑性也降低。

3) 铜的加入对巴氏合金的干摩擦系数影响不大，但抗磨损性能略有下降，且当铜加入量较大时 (>2%)，抗磨损性能有较大的下降；铜的加入对油润滑条件下的摩擦系数和磨损量的影响不明显。

4) 添加 1%~2% 的 Cu 后，材料的软化温度有提高，室温硬度也在允许的范围内，高温压缩性能和摩擦磨损性能并没有明显的下降，甚至强度有所提高。因此可以认为该材料能够应用于滑动轴承，特别是重载滑动轴承。

参考文献 References

[1] Jia Qian(贾 谦), Li Yuezong(李跃宗), Chen Runlin(陈润霖) et al. China Mechanical Engineering(中国机械工程)[J], 2014, 25(21): 2860
 [2] Wang Jianmei(王建梅), Xue Yawen(薛亚文), Zhang Yanjuan

表 4 加入不同量铜的巴氏合金干摩擦磨损量

Table 4 Wear loss of Babbitt alloy added with different amounts of Cu under the condition of dry friction

Sample No.	0	1	2	3	4
Wear loss/mg	2.1	2.4	3.1	3.7	6.2

- (张艳娟) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2015, 44(6): 1432
- [3] Zhang Zhongli(张忠礼), Duan Sihua(段思华), Ding Yong(丁勇) *et al. Journal of Shenyang University of Technology*(沈阳工业大学学报)[J], 2010, 32(1): 50
- [4] Sadykov F A, Barykin N P, Valeev I *et al. Strength of Materials*[J], 2002, 34(2): 196
- [5] Dong Guangneng(董光能), Deng Rizhi(邓日智), Xie Youbai(谢友柏). *Tribology*(摩擦学学报)[J], 2002, 22(S4): 280
- [6] Dong Guangneng(董光能), Bai Fengke(白凤科), Yuan Xiaoyang(袁小阳). *Journal of Harbin Institute of Technology*(哈尔滨工业大学学报)[J], 2001, 38(S1): 328
- [7] He Lin(贺林). *Thesis for Doctor*(博士论文)[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1996
- [8] He Lin, Zhu Jun. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*[J], 1998, 8(2): 223
- [9] Fan Jibing(樊吉兵), Weng Bingkui(翁炳奎), Li Ying(李莹). *Physical Testing and Chemical Analysis-Part A: Physical Testing* (理化检验—物理分册)[J], 2001, 37(10): 424
- [10] Weng Bingkui(翁炳奎), Long Hesun(龙荷荪), Zheng Ping(郑平). *Physical Testing and Chemical Analysis-Part A: Physical Testing*(理化检验—物理分册)[J], 1999, 35(7): 291
- [11] Jie Xiaohua(揭晓华). *Chinese Patent*(中国专利), 1800668A [P], 2006
- [12] Zhang Bin(张彬), Yang Zhongyuan(杨中元), Fu Dongxing(付东兴) *et al. Thermal Spray Technology*(热喷涂技术)[J], 2013, 5(3): 29
- [13] Zhou Jian(周健), Chen Xu(陈旭), Yao Yao(姚瑶) *et al. Chinese Patent*(中国专利), 102248320A [P], 2011
- [14] Bai Fengke(白凤科). *Dissertation for Master*(硕士论文)[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2005
- [15] Lin Zhaoqi(林肇琦). *Non-ferrous Metal Materials*(有色金属材料学)[M]. Shenyang: Northeastern University of Technology Press, 1986: 142

Effect of Increasing Cu Content on the Mechanical Properties of Tin-based Babbitt

Chen Runlin, Wei Yangyang, Jia Qian, Xu Jimin, Zhang Fan, Yuan Xiaoyang

(Key Laboratory of Education Ministry for Modern Design and Rotor-Bearing System, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: There are several varieties of common tin-based Babbitt, in which the mass fraction of Cu in SnSb11Cu6 is about 6%. The effect of increasing Cu content on the mechanical properties of tin-based Babbitt was investigated. Several new Babbitt samples were remolded by adding Cu powder to the molten SnSb11Cu6 Babbitt, and the mass fraction of Cu in the four new samples was 7%, 8%, 9% and 10%. Metallographic analysis, high-temperature compression tests, friction-wear tests and high temperature hardness tests were performed to investigate the properties of the new samples and determine the Cu content for optimal performance. The results indicate that the effect of increasing the Cu content on the metallographic structure of Babbitt is very significant. The hard Cu₆Sn₅ phase increases and α solid solution (Sn) decreases. The proportion of β phase (SnSb) does not change much and its grain size slightly enlarges. With the increase of Cu addition, the compressive yield strength increases first and then decreases. When the adding amount of Cu powder is 1%~2%, the maximum compressive force and compressive yield strength are greater. The increase of Cu content does not make an obvious change in the friction coefficient of Babbitt alloy, but the anti-wear performance under dry friction is weakened. The high temperature (90 °C) hardness and softening temperature are improved by increasing the mass fraction of Cu to 7%~8%. Since the compressive yield strength and friction-wear performance are not obviously reduced, it is considered that this tin-based Babbitt alloy with a Cu mass fraction of 7%~8% can be well used for sliding bearings, especially for heavy bearings.

Key words: Babbitt alloy; mechanical property; metallographic analysis; compressive yield strength; friction and wear; softening temperature

Corresponding author: Yuan Xiaoyang, Ph. D., Professor, Key Laboratory of Education Ministry for Modern Design and Rotor-Bearing System, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, P. R. China, Tel: 0086-29-82669152, E-mail: xyyuan@mail.xjtu.edu.cn