

喷射成形 Al-Pb 合金的组织与性能^①

李晓学 刘 勇 孙继跃 崔 华 段先进 张济山

(北京科技大学新金属材料国家重点实验室, 北京 100083)

摘 要 研究了喷射沉积成形 Al-Pb 合金的显微组织及耐磨性能, 并与铸态 Al-Pb 合金进行了对比。同时还研究了喷射沉积成形 Al-Al(Pb) 复合板的组织及回复再结晶行为。研究表明: 喷射沉积成形 Al-Pb 合金, 显微组织为均匀细小的等轴 α 基体上弥散分布着均匀细小的 Pb 颗粒。与铸态 Al-Pb 合金相比, 喷射沉积成形 Al-Pb 合金具有更细的晶粒度和更好的耐磨性能。弥散均匀分布的细小 Pb 颗粒对提高合金的耐磨性能具有很大的帮助。喷射沉积成形 Al-Al(Pb) 复合板经 20% 轧制后其回复再结晶温度明显高于普通的 Al 合金。

关键词 喷射成形(SF) Al-Pb 合金 显微组织 耐磨性能 回复再结晶

中图法分类号 TG450

长期以来, Al-Sn 合金作为轴承、轴瓦耐磨材料得到了广泛应用, 但由于 Sn 是矿床储量少而用途多、消耗量大的金属, 因此研究其替代产品很有必要^[1]。Al-Pb 合金由于具有良好的耐磨性和耐疲劳性能, 且价格低廉, 正成为一种新型的滑动轴承、轴瓦材料。然而在通常铝合金的熔炼温度范围内, 合金液处于液相两相分离区, 而且由于 Al 和 Pb 的密度相差甚大, 会导致比重偏析, 这样就不符合减磨材料的要求。因此 Al-Pb 材料推广与应用的关键就是如何获取以细小的球状弥散分布在 Al 基体上的 Pb 粒问题。近来人们试图用粉末冶金和快速凝固的方法制备 Al-Pb 合金籍以改善其耐磨性, 但由于工序增多成本上升影响了其推广与应用。而喷射成形技术由于其特有的工艺流程短、所得材料具有快速凝固显微组织特征的技术特点^[2, 3], 因此在制备 Al-Pb 耐磨材料方面显示出诱人的潜力。

作者对喷射沉积成形(SF) 制备的 Al-Pb 合金的显微组织、耐磨性能作了系统的研究。同时本文还研究了 Al-Al(Pb) 复合板的显微组织

及其轧制后的回复与再结晶行为, 以期为进一步的工业应用提供参考。

1 实验方法

采用北京科技大学的喷射成形装置进行材料的制备。试验的 Al-Pb 合金名义成分(%) 为 Al-1.5Cu-1.5Si-1.5Sn-6.5Pb。磨损试验在销盘式磨损试验机上进行, 试样从柱坯中心部位取得, 尺寸为 $d\ 5\text{ mm} \times 22\text{ mm}$, 测量其磨损。利用 NEOPHDT21 金相显微镜观察显微组织, S-250MK3 型扫描电镜(SEM) 进行成分分析及磨损断面分析。

2 实验结果及讨论

2.1 Al-Pb 合金的显微组织

图 1 给出了沉积态 Al-Pb 合金与同成分的铸态合金的显微组织。二者的金相组织均为等轴基体 α 相+ Pb 相。沉积态的晶粒尺寸为 $20 \sim 25\ \mu\text{m}$, 而铸态的晶粒尺寸为 $40 \sim 60\ \mu\text{m}$ 。沉

① 国家高技术(八六三计划)新材料领域资助项目 收稿日期: 1999-01-15
李晓学, 男, 24 岁, 硕士

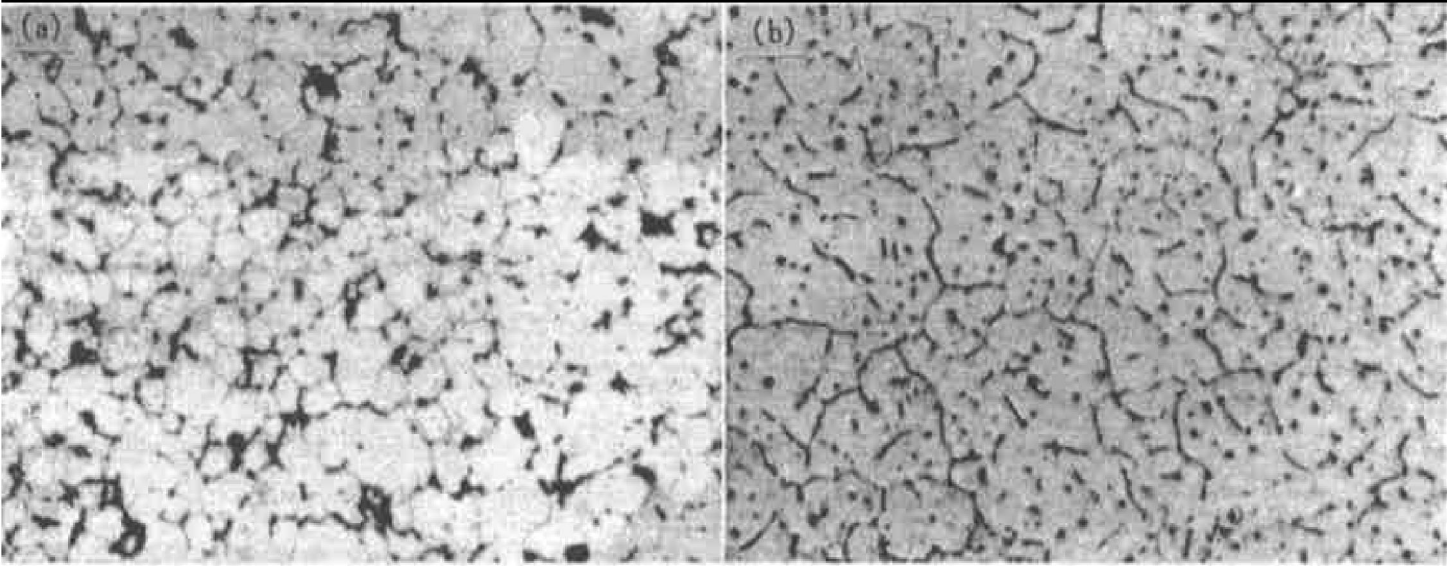


图 1 沉积态与铸态 Al-Pb 合金组织

Fig. 1 Microstrucures of as-sprayed (a) and as-cast (b) Al-Pb alloys(× 100)

积态与铸态 Al-Pb 合金中 Pb 相的分布情况分析表明, 沉积态 Al-Pb 合金中 Pb 粒子的分布更加弥散、细小, 在晶内分布更均匀, 而铸态合金中 Pb 却几乎偏聚在晶界上, 在晶内分布较少且呈大块状。在 Al-Pb 合金中 Pb 粒子的分布是影响其耐磨性能的主要因素^[4, 5], Pb 粒子的粒度越小, 分布越均匀, 则具有更好的耐磨性能。

2.2 Al-Pb 合金的耐磨性能

对喷射成形所得 Al-Pb 合金与铸态 Al-Pb 合金以及不加铅(其他成分相同)的铸态铝合金进行了对比磨损试验, 磨损试验条件如下: 滑动速率: 0.75 m/s, 对磨材料: 45 钢(HRC=22.8), 载荷强度: 0.4 MPa。试验结果如表 1 所示。

从表 1 可见, 与铸造法相比, 由 SF 法制造的 Al-Pb 合金具有更好的耐磨性能, 而分布

均匀的 Pb 粒子对提高其耐磨性具有很大的作用。

图 2 是喷射成形与铸态 Al-Pb 合金的磨损表面断口形貌。由图 2 可以看出, 喷射成形工艺制备的 Al-Pb 合金由于 Pb 的均匀分布, 使 Pb 相在磨损表面延展成一连续的 Pb 薄层, 同时由于基体具有一定的强度而不至于发生粘着磨损^[6]; 而铸态合金由于其 Pb 相分布不均匀, 未能形成连续的 Pb 薄层, 故二者在耐磨性方面存在一定的差异。根据摩擦理论的简单粘着理论^[7], 摩擦系数由下式确定:

$$\mu = \frac{\tau_{bs}}{\sigma_{sh}} \tag{2}$$

式中 μ —磨损摩擦系数, τ_{bs} —摩擦表面软金属(Pb)的剪切强度极限, σ_{sh} —基体硬金属的抗拉屈服极限。

喷射沉积成形 Al-Pb 合金由于铅的均匀展

表 1 不同制备方法制备的 Al-Pb 合金磨损试验对比

Table 1 Comparison of wear resistance performance of Al-Pb alloys prepared by different ways

Alloy composition	Prepared method	Mass loss rate / (10 ⁻⁸ kg•m ⁻¹)	Volume loss rate / (10 ⁻¹³ m ³ •m ⁻¹)	HB
Al-1.5Cu-1.5Sn	cast	2.29	60.1	70
Al-1.5Cu-1.5Sn-6.5Pb	cast	0.84	24.9	65
Al-1.5Cu-1.5Sn-6.5Pb	SF	0.69	15.2	68

开形成连续的铅薄层,同时基体又具有一定的强度而使各处都处于低摩擦系数状态,而铸态合金由于铅的不均匀分布而导致不同部位摩擦系数的不同,这就导致了磨损的加剧。因此在AlPb合金中Al基体上分布的Pb颗粒分布越均匀,越细小,则其耐磨性能越好。

2.3 AlPb复合板的轧制及其回复与再结晶

在工艺上将AlPb板直接与钢板进行复合是比较困难的,故生产上常采用将铝作为过渡层的三复合制造轴瓦材料^[8]。本实验即是

先把Al板与AlPb板复合,为以后与钢板的复合作工艺准备。由室温固相复合工艺可知^[9],冷轧AlAl复合板时,当变形率达到50%以上时,其复合界面强度才接近于同温度下的金属基体强度。而铝、铝铅板复合轧制时,当变形率达到20%时再增加变形量AlPb板极易开裂,所以一次轧制很难达到界面结合的要求,故有必要将一次轧制的复合板作回复再结晶处理后进行二次或多次轧制。对变形20%的复合板分别在520℃,560℃保温1h。图3为不同热处理制度下复合板的金相组织图。由图3可

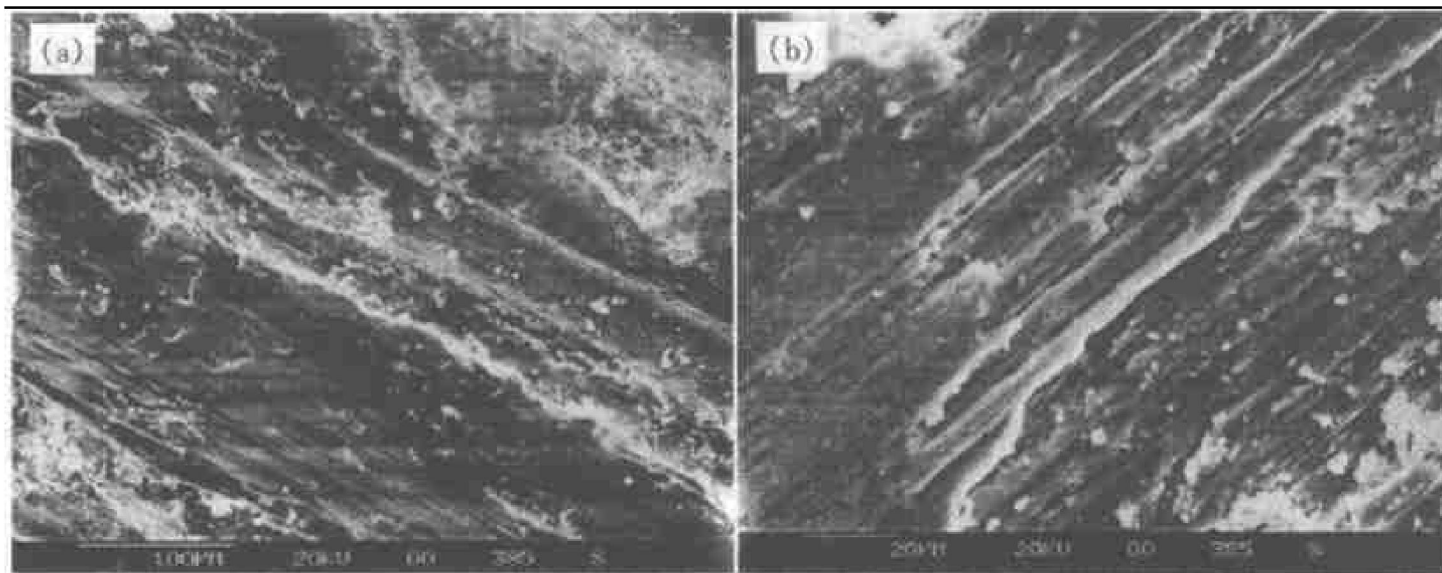


图2 喷射成形与铸态AlPb合金磨损表面断口形貌

Fig. 2 Wear surface morphologies of as-cast (a) and as-sprayed (b) AlPb alloys

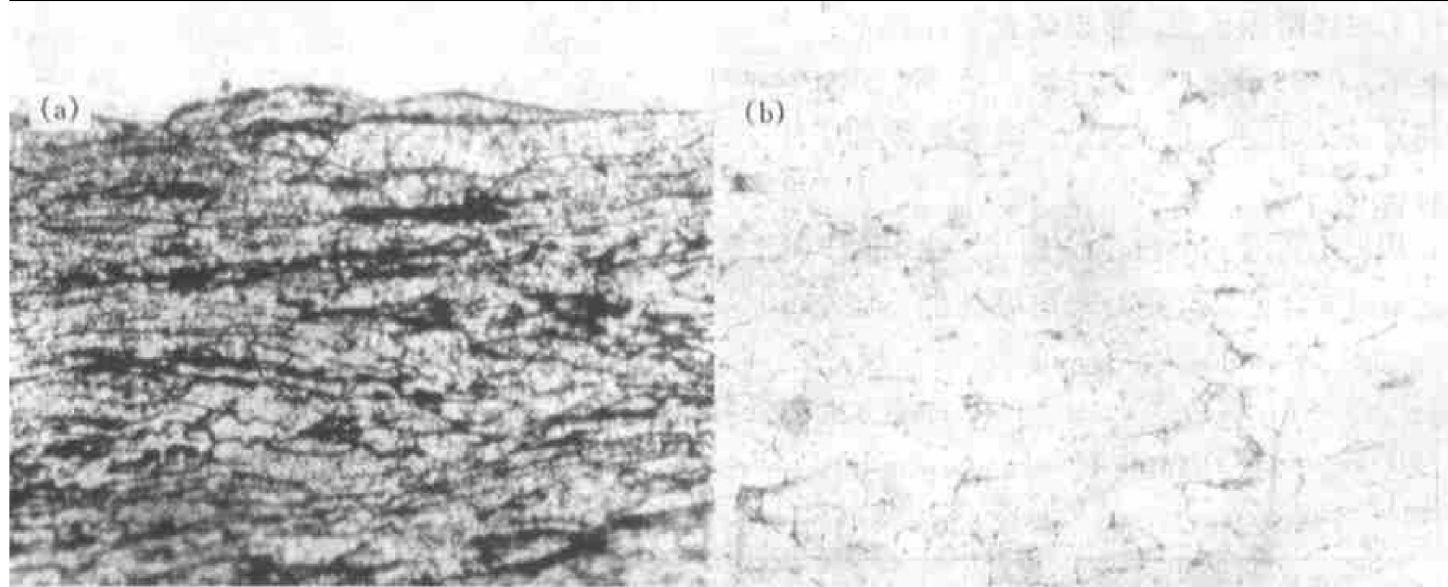


图3 轧制板经不同热处理后的组织形貌(×200)

Fig. 3 Microstructures of rolled AlPb plates after different systems of heat treatment

(a) —520℃, 1h; (b) —560℃, 1h

知复合板在 520 °C 时尚不发生明显的回复再结晶, 而在 560 °C 回复再结晶较明显。因此该复合板的回复再结晶温度远高于一般的铝合金的固溶处理温度(约 510 °C)。

3 结论

(1) 喷射沉积成形 Al-Pb 合金的显微组织为等轴 α 基体+ 弥散均匀分布的细小 Pb 颗粒, 其晶粒大小为 20~ 25 μm , 明显比铸态 Al-Pb 合金更为细小。

(2) 喷射沉积成形 Al-Pb 合金比铸造 Al-Pb 合金具有更好的耐磨性能, 均匀细小分布的铅颗粒有利于提高合金的耐磨性能。

(3) 轧态的 Al-Al(Pb) 复合板的回复再结晶温度高于普通的 Al 合金的回复再结晶温度。

REFERENCES

1 Ni Hongjun(倪红军). Special Cast and Nonferrous

Alloy(特种铸造及有色冶金), 1994, 13(5): 29.

2 Mathur P, Annavarapu S *et al.* Materials and Engineering, 1991, A142(4): 261.

3 Grant P S. Progress in Materials Science, 1995, 39(6): 497.

4 Ojha S N, Tripathi A K and Singh S N. Powder Metallurgy Inter, 1993, 25(2): 65.

5 Ojha S N, Pandey O P *et al.* Mater Trans JIM, 1992, 33(5): 519.

6 Pandey J P, Prasad B K. Journal of Materials Engineering and Performance, 1998, 7(1): 122.

7 Jin Yongxi(金永昕) and Shi Gaoyi(施高义). Principles of Friction and Wear(摩擦磨损原理). Hangzhou: Zhejiang University Press, 1987: 195.

8 Yang Qiurong(杨秋荣). Abroad Technology of Locomotives and Vehicles(国外机车车辆工艺), 1982, 23(5): 17.

9 Yu Jiuming(于九明) and Yu Changsheng(于长生). Journal of Northeastern University(东北大学学报自然科学版), 1995, 16(5): 491.

MICROSTRUCTURES AND PROPERTIES OF SPRAY FORMED Al-Pb ALLOYS

Li Xiaoxue, Liu Yong, Sun Jiye, Cui Hua, Duan Xianjing and Zhang Jishan
University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, P. R. China

ABSTRACT Microstructures and wear resistance of spray formed Al-Pb alloys were studied and compared with those of conventional cast Al-Pb alloy. The microstructure, recovery and recrystallization behavior of spray formed Al-Al(Pb) composite plates were also studied. The results showed that spray deposited billet exhibited microstructure of fine Pb particles homogeneously distributed on the fine equiaxial α matrix. Compared with conventional cast Al-Pb alloy, spray formed Al-Pb alloys have finer grain sizes and better wear resistance. The homogeneously distributed fine Pb particles have a great contribution to the improvement of the wear resistance of the alloys. The spray deposited Al-Al(Pb) composite plates with a “band” structure have much higher recrystallization temperature compared with those of conventional Al alloys after 20% rolling deformation.

Key words spray forming (SF) Al-Pb alloy microstructure wear resistance recovery and recrystallization

(编辑 何学锋)