

[文章编号] 1004-0609(2001)S2-0103-04

颗粒成形 Al-Pb 合金板材的微观结构与力学性能^①

邓运来, 张新明, 娄燕雄, 刘贵材

(中南大学 材料科学与工程系, 长沙 410083)

[摘 要] 研究了 Al-8Pb-3Si-2Sn-1Cu(质量分数, %) 合金的颗粒在挤压-轧制成形时, 合金的微观结构与性能。结果显示: Al-Pb 合金颗粒中 Pb 分布在枝晶间隙或“嵌”在基体中; Al-Pb 合金颗粒经挤压-轧制及随后的退火, 合金板材中低熔点 Pb, Sn 第二相均匀地呈球形分布; 合金强度(σ_b)可达 95.8 MPa, 延伸率(δ)可达 16.3%; 在变形过程中, Al-Pb 合金颗粒的新生表面层中低熔点 Pb, Sn 第二相的重新分布影响材料的强度与延伸率。

[关键词] 铝-铅合金; 微观结构; 性能

[中图分类号] TG 335.5

[文献标识码] A

Al-20Sn-1Cu 合金作为轴瓦的耐磨与减摩层材料已有 60 多年的历史。Al 合金轴瓦材料的发展趋势之一是加 Si 并减少 Sn 含量^[1], 例如 Al-10Sn-3Si-1Cu 合金。Si 的加入不但提高了基体强度, 而且改善了轴瓦的早期磨合性^[1~4]。另一种趋势是用 Pb 代 Sn, 因为 Pb 比 Sn 有更好的早期磨合性, 同时 Pb 比 Sn 更便宜。已经证实 Al-Pb 作为轻、中载与高速内燃机的曲轴与连杆轴瓦的耐磨与减摩层材料, 具有比 Al-Sn 合金更好的耐磨与减摩综合性能^[5,6]。然而, Al-Pb 系有一个液态不混溶区^[7], 在常规的铁模铸造与半连续铸造过程中, “Pb 团”会迁移、粗化, 液相中不可避免地出现 Pb 贫化。由于 Al, Pb 密度相差大, 凝固后 Pb 会产生严重的比重偏析^[8]。为此, 出现了很多克服 Al-Pb 合金比重偏析的成形方法, 典型的方法有: 1) 将 Al-Pb 合金熔炼, 采用喷雾快速凝固方法制粉末再进行轧制^[9,10]; 2) 将 Al-Pb 合金熔炼, 采用强制搅拌铸造再轧制成板材^[11,12]; 3) 采用喷射沉积直接制成合金带坯^[13]。作者研究了 Al-Pb 颗粒在挤压-轧制制备板材时 Al-Pb 合金的微观结构与力学性能。

1 样品制备与实验方法

采用的合金成分为 Al-8Pb-3Si-2Sn-1Cu(质量分数, %)。将 99.7% 工业纯铝熔化, 加热到 950 °C, 再加入 Pb, Sn, Al-Si, Al-Cu 中间合金, 充分搅拌, 倒入一个四周打孔的旋转圆筒中造粒。将制得的粒子加热到 250 °C 后填入 d 60 mm 的挤压筒

中, 挤成 5 mm × 30 mm 横截面的板材。将挤制板材轧制成 0.4 mm × 30 mm 横截面积的板材, 然后将轧制板材在 300 °C 下经 2, 4, 6, 8, 10 h 退火。

用 SEM (KYKY1000) 作组织结构观察; 用 SEM 的 EDS 附件分析合金元素的分布; 力学性能检测在 WD-10A 型电子万能拉伸机上进行, 夹头移动速度为 3.3×10^{-2} m/s, 传感器量程为 9.8×10^2 N, 按 GB6397-86 制作拉伸试样, $L_0 = 40$ mm。

2 实验结果

合金颗粒的光学金相、SEM 相及 EDS 分析结果如图 1, 2 所示。Pb 可分布在枝晶间隙, 也会以较大颗粒“嵌”在基体内。合金颗粒挤制板材的纵向微观结构如图 3 所示, 从图中可以看出: 合金粒子经挤压变形后结合密实; 低熔点的 Pb, Sn 相呈球形分布, 局部顺挤压方向呈较粗的条状分布。图 4, 图 5 所示分别是挤制板材经轧制退火(300 °C, 6 h)后的板平面光学金相和 SEM 观察结果。由图中可以出经 300 °C, 6 h 退火, Pb 分布均匀, 已经球化。图 6 所示是 300 °C 下退火时间($t = 2, 4, 6, 8, 10$ h)与强度(σ_b)和延伸率(δ)的关系曲线。6 h 退火后强度最高, 延伸率随退火时间的延长而升高。

3 分析与讨论

Al-1.52% Pb 合金共晶点为 659 °C, 在常温与颗粒挤压加热温度(250 °C)下, Pb 和 Sn 几乎不会

① [收稿日期] 2001-08-29; [修订日期] 2001-09-29

[作者简介] 邓运来(1969-), 男, 讲师, 博士研究生。

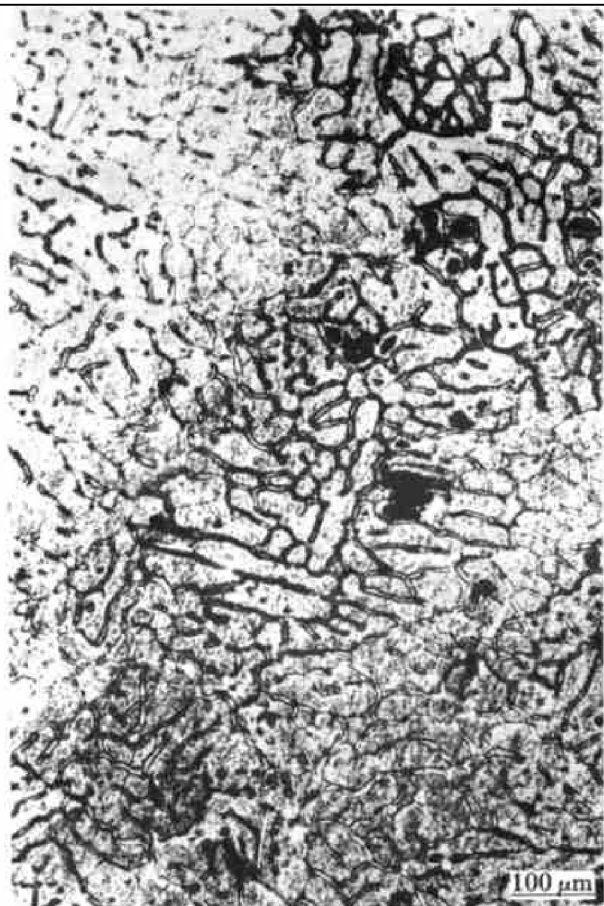


图1 合金颗粒的光学金相

Fig. 1 Metallograph of alloy particle

固溶于 Al 基体,但在 950 ℃下熔炼时,Al-Pb 处于液态单相区。在强力搅拌作用下,Al-Pb 能混合均匀。旋转圆筒中的熔体在离心力作用下从筒壁孔甩入水中而快速冷却,Pb 来不及完成液态时的分层、聚集就已凝固。由于 Pb 的熔点比基体低得多,故 Pb 主要分布在枝晶间隙中(如图 1 所示)。图 1 中较大的球形 Pb 团,可能是在粒子的飞行过程中,枝晶骨架未完全形成时,Pb 在离心力作用下绕过枝晶骨架发生的聚集。

Pb-61.9%Sn 合金共晶点为 183 ℃,在熔炼与凝固过程中很容易聚集在一起,成为合金中第二相的主要成分(如图 2 所示)。图 2 的 EDS 结果还显示,在低熔点第二相中含有 Si,出现“Pb 包 Si”微观结构,这与 Al-Sr-Si 合金中的“Sn 包 Si”微观结构非常相似,这一显微结构被认为是改善 Al-Sr-Si 合金磨合性的关键因素^[2,4]。

如图 3 所示,合金颗粒在 250 ℃挤压成型时,合金颗粒的平均变形程度达到 98.8%,合金颗粒延长,表面积增加,在强烈的三向压应力作用下,合金颗粒结合在一起。由于变形温度超过了 Pb 和 Sn 固熔体的熔点,低熔点相(主要成分为 Pb, Sn)成球形或类球形分布在基体中,同时,变形热与颗粒间

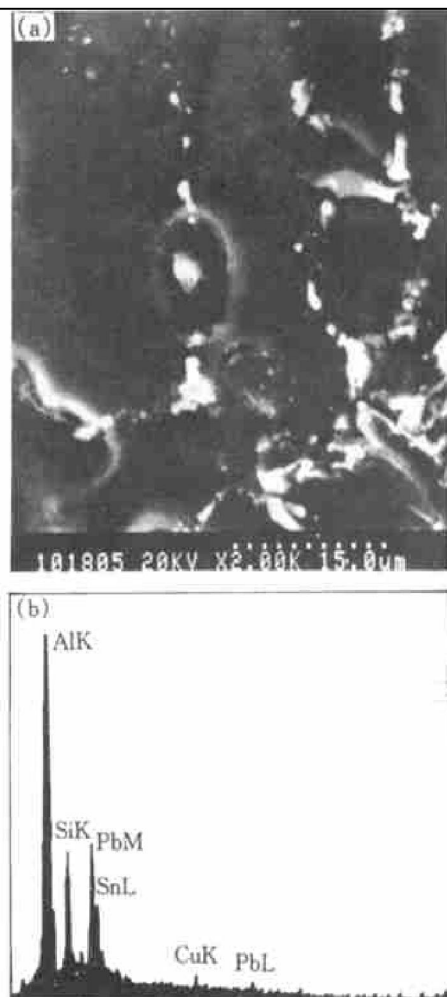


图2 合金颗粒的 SEM 相及微区 EDS 分析结果

Fig. 2 SEM photograph (a) and EDS result (b) for alloy particle

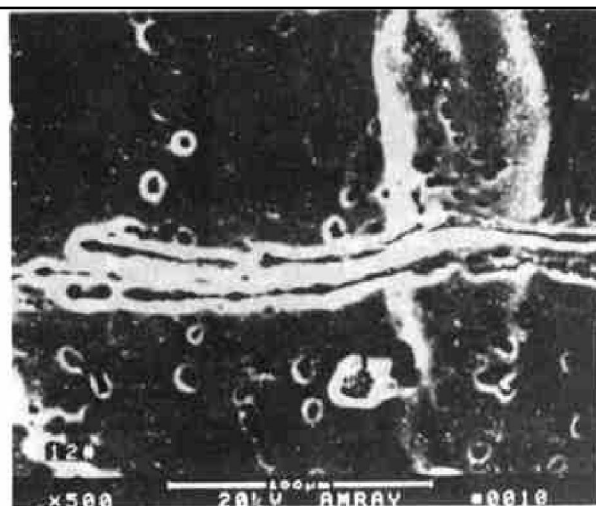


图3 挤制板材板平面的 SEM 相

Fig. 3 SEM photograph of plane for extruded sheet

的摩擦热会使新生表面层的低熔点第二相(主要成分为 Pb, Sn)熔化、聚集,顺挤压方向呈条状分布。

制材经 300 ℃退火后,Pb 均匀分布在板平面上(图 4),从 SEM 相(图 5)可看出 Pb 会球化,即使是挤压时形成的 Pb 局部粗条状分布也会球化,在微



图 4 轧制退火板材的板平面光学金相

Fig. 4 Metallograph of plane for rolled sheet after annealing

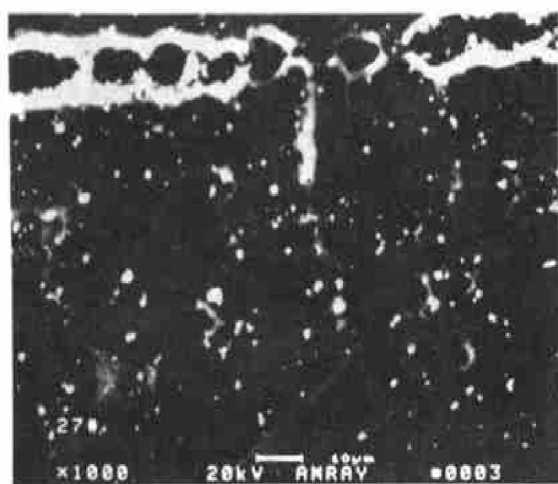
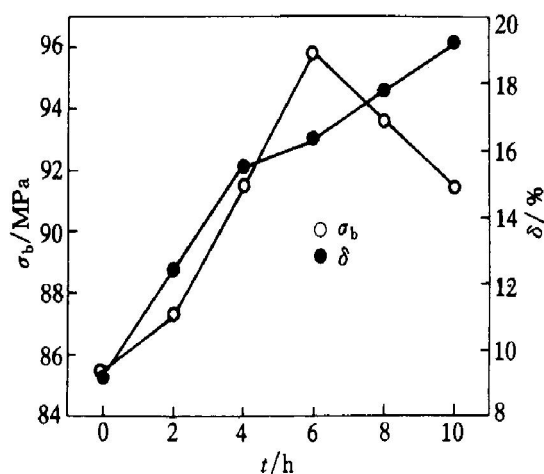


图 5 轧制退火板材板平面 SEM 相

Fig. 5 SEM photograph of plane for rolled sheet after annealing

图 6 t - σ_b - $\delta\%$ 关系曲线Fig. 6 t - σ_b - $\delta\%$ curves

观上为能连成一线的小球形(小于10 μ m)。

随着退火时间的延长,合金的强度先升后降,延伸率上升。这说明低熔点第二相的分布与形状影

响了合金的力学性能。轧制后,合金的强度与延伸率都低,可能是局部低熔点 Pb 和 Sn 的粗条状分布引起的。随着退火时间延长到6 h, Pb, Sn 固熔体的球化已经基本完成,此时,强度达到峰值,延伸率也较高。再延长退火时间,合金基体可能发生再结晶,强度下降,延伸率继续上升。

4 结论

1) 制得的 Al-Pb 合金颗粒中 Pb 主要分布在枝晶间隙或以较大尺寸的粒子“嵌”在基体内。并且有改善合金磨合性的“Pb 包 Si”微观结构。

2) 挤压-轧制方法制备的 Al-Pb 合金板材中低熔点 Pb 和 Sn 的第二相均匀地呈球形分布。

3) 制备的 Al-8Pb-3Si-2Sn-1Cu(质量分数,%)合金强度(σ_b)可达95.8 MPa,延伸率($\delta\%$)可达17.8%。

4) 在变形过程中,Al-Pb 合金颗粒的新生表面层中的低熔点 Pb 和 Sn 的第二相在变形热与摩擦热的作用下熔化、聚集,顺着变形方向被拉长,退火后又重新球化。合金板材的强度(σ_b)与延伸率(δ)受低熔点 Pb 和 Sn 的第二相分布与形状的影响。

[REFERENCES]

- [1] Tiwai S N. Aluminum alloy as plain bearing materials-on overview [J]. Light Metal Science and Technology, 1986, 2: 318- 329.
- [2] YUAN Ge-cheng(袁鸽成), LI Zu-juan(黎祚坚), LOU Yan-xiong(娄燕雄), et al. 新型铝锡硅合金结晶行为及微观组织 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1997, 7(4): 110- 11.
- [3] YUAN Ge-cheng(袁鸽成), LI Zu-juan(黎祚坚), LOU Yan-xiong(娄燕雄), et al. 硅含量对新型铝锡硅合金摩擦磨损性能的影响 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(Suppl. 1): 101- 105.
- [4] YUAN Ge-cheng(袁鸽成), LI Zu-juan(黎祚坚), LOU Yan-xiong(娄燕雄), et al. 几种铝锡硅铜合金的摩擦磨损特征 [J]. Tribology (摩擦学报), 1998, 18(2): 146- 151.
- [5] Tiwai S N, Pathak J P, Malhotra S L. Microstructures and mechanical properties of leaded aluminum alloy [J]. Met Tech, 1983, 10: 413- 418.
- [6] Mohan S, Agarwala V, Ray S. Friction characteristics of stir-cast Al-Pb alloys [J]. Wear, 1990, 83: 140- 145.

- [7] YU Jue-qi (虞觉奇). Collection of Phase Diagram of Two Elements (二元合金状态图集) [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1987. 151.
- [8] Moore K I, Zhang D L, Cantor B, et al. Solidification of Pb particles embeded in Al [J]. Actall Metall 1990, 38 (7): 1327– 1342.
- [9] Ogita Y, Ido Y, Sakamoto M. Improvement of aluminum-lead bearings [J]. Met Powder Rep, 1991, 46 (2): 37– 44.
- [10] SONG Chun-fu (宋春福), ZHANG Xiao-ming (张小明), GUO Xin (郭欣). 铝铅轴承合金板的研究 [J]. Rare Metal Material and Engineering (稀有金属材料与工程), 1990(3): 24– 26.
- [11] SUN Da-ren (孙大仁), LIU Yong-bin (刘勇兵), AN Jian (安健), et al. 冷却速度和铅含量对新型 Al-Pb 铸造轴承合金显微组织的影响 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals (中国有色金属学报), 1998, 8(S1): 141– 144.
- [12] Lepper K, James M, Chashechkina J. Sliding behavior of selected aluminum alloys [J]. Wear, 1997, 46: 203 – 204.
- [13] LI Xiao-xue (李晓学), LIU Yong (刘勇), SUN Ji-yue (孙继跃), et al. 喷射成形 Al-Pb 合金的组织与性能 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metal (中国有色金属学报), 1999, 9(S1): 106– 109.

Microstructure and mechanical properties of Al-Pb alloys in process of achieving sheet from particles

DENG Yun-lai, ZHANG Xin-ming, LOU Yan-xiong, LIU Gu-cai
(Department of Materials Science and Engineering, Central South University,
Changsha 410083, P. R. China)

[Abstract] The micro-structure and mechanical properties of Al-8Pb-3Sn-1Cu (mass fraction, %) in the process of achieving the sheet from particles by extrusion, rolling and heating were investigated. The results show: the low smelting point phase including lead and tin is well-distributed; the strength and stretch rate of the finished product respectively are 95.8 MPa and 16.3%; the existing situation of lead and tin in the new interface of particles is changed by deformation, which affects the strength (σ_b) and stretch rate ($\delta\%$) of the finished product.

[Key words] Al-Pb alloy; micro-structure; mechanical properties

(编辑 吴家泉)