

# 喷射沉积过共晶 Al-Si 合金的微观组织和抗磨性能

王 锋, 张正业, 马亚军, 崔小浩, 金元生

(清华大学 摩擦学国家重点实验室, 北京 100084)

**摘要:** 采用扫描电子显微镜和 Falex-6 型摩擦磨损试验机研究了普通铸造和喷射沉积过共晶 Al-Si 合金的微观组织和摩擦学性能。显微组织观察和摩擦磨损试验结果表明, 喷射沉积能够显著改变过共晶 Al-Si 合金中初晶 Si 相的形态和尺寸, 细化合金的基体组织; 与普通铸造合金相比, 沉积态合金具有更好的耐磨性能。

**关键词:** 喷射沉积; 过共晶 Al-Si 合金; 微观组织; 耐磨性

**中图分类号:** TG146.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-0595(2003)04-0350-03

过共晶 Al-Si 合金因具有低的热膨胀系数和良好的耐磨性而在机械工业、汽车工业和电子工业中得到了广泛应用<sup>[1]</sup>。然而, 有关初晶硅相对合金耐磨性的影响存在着截然不同的看法。一种观点认为在磨损过程中初晶硅起到了支撑载荷的作用, 可以提高合金的耐磨性; 另一种观点则认为粗大的硅相容易断裂剥落, 对合金的耐磨性有负面影响。快速凝固技术可以有效地改变过共晶 Al-Si 合金中初晶 Si 的形态和尺寸, 显著改善合金的使用性能<sup>[2]</sup>。喷射沉积是一种新型的快速凝固技术。利用该技术, 将金属液流雾化成液态微滴, 在高速惰性气体作用下, 液滴迅速冷却, 随后沉积在接收基板上, 即得到特定形状的沉积坯件<sup>[3]</sup>。与粉末冶金技术相比, 喷射沉积技术将金属的雾化和雾化后液滴的沉积 2 个过程在一步冶金操作中完成, 克服了粉末冶金过程工序复杂和氧化严重的缺点。本文以 Al-20Si-3Cu-1Mg 合金为研究对象, 分析了合金微观组织与耐磨性能的关系。

## 1 实验部分

### 1.1 材料制备

试验所用合金的化学成分分别为(质量分数计): 20% Si, 3% Cu, 1% Mg, 余量为 Al。采用环孔式喷嘴进行喷射沉积, 雾化气体为 0.6~0.8 MPa 的 N<sub>2</sub>, 喷射时熔体温度为 750~850 °C, 导流管直径为 3 mm, 沉积距离为 400 mm。

### 1.2 摩擦磨损试验

在 Falex-6 型销-盘摩擦磨损试验机上评价合金

的摩擦磨损性能, Al-Si 合金试样尺寸为  $\phi 8$  mm  $\times$  12.7 mm, 偶件为  $\phi 4$  mm  $\times$   $\phi 8$  mm  $\times$  10 mm 的 45# 钢环试样, 硬度为 24HRC。施加载荷分别为 8.9 N, 17.8 N, 26.7 N, 35.6 N; 转速为 200 r/min, 试验时间为 60 min。用 1712MP8 型光电天平测定试样的磨损质量损失, 并以单位行程的磨损质量损失来表征合金的耐磨性。

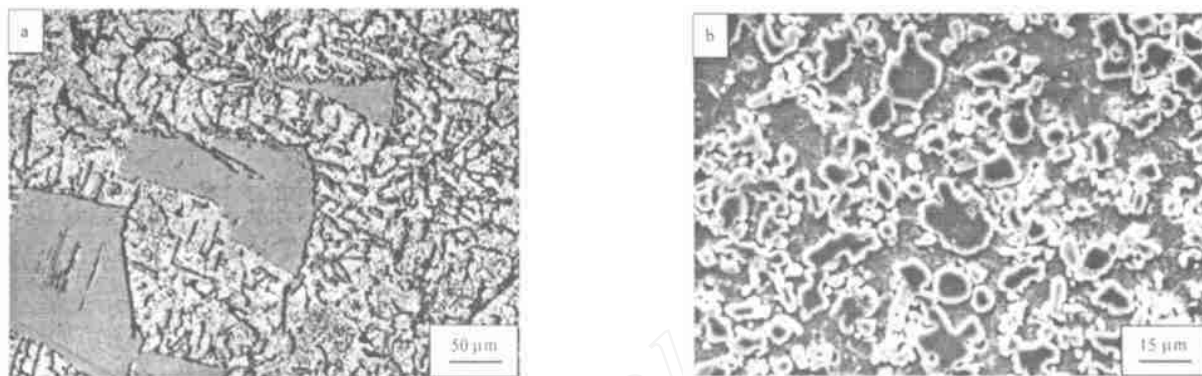
利用 CSM-950 型扫描电子显微镜(SEM)观察合金的微观组织。

## 2 结果及分析

### 2.1 合金微观组织

图 1 示出了采用普通铸造和喷射沉积技术制备的 Al-Si 合金和 Al-20Si-3Cu-1Mg 合金的微观组织形貌 SEM 照片。可以看出, 普通铸造过共晶 Al-Si 合金的组织由形状不规则的板块状初晶 Si 相和枝晶状的共晶基体组成[见图 1(a)]; 板块初晶 Si 相对合金基体产生严重的割裂作用, 在集中应力作用下 Si 相容易断裂脱落, 故普通铸造过共晶 Al-Si 合金的耐磨性能不佳。喷射沉积 Al-20Si-3Cu-1Mg 合金由  $\alpha$ -Al 基体和颗粒状 Si 相组成[图 1(b)]; 与铸态组织相比, 沉积态组织中初晶 Si 相较细小均匀且弥散分布于基体中, 而基体尺寸同铸态相比显著减小, 且未出现枝晶状共晶体。

利用喷射沉积技术制备过共晶 Al-Si 合金时, 由于雾化过程中的冷却速度相对较高, 有利于改变 Si 相的生长形态; 沉积过程中半凝固液滴在沉积表面的



(a) As-cast

(b) As-spray-deposited

Fig 1 Microstructures of Al-20Si-3Cu-1Mg alloy

图1 Al-20Si-3Cu-1Mg 合金的微观组织 SEM 照片

高能碰撞引起了雾化液滴内 Si 相的变形和断裂,增加了沉积表层 Si 相核心的密度,提高了 Si 相形核的驱动力,因而 Si 相保持颗粒状。此外,雾化液滴内已凝固部分中形成了细小的共晶组织,随着雾化液滴与表面半凝固区的高速碰撞,共晶体发生破碎或重熔,所以沉积态组织中形成了  $\alpha$ -Al 基体和颗粒状 Si 相,而枝晶状共晶组织消失。

## 2.2 合金的摩擦磨损性能

图 2 示出了 2 种合金的磨损率随载荷变化的关系

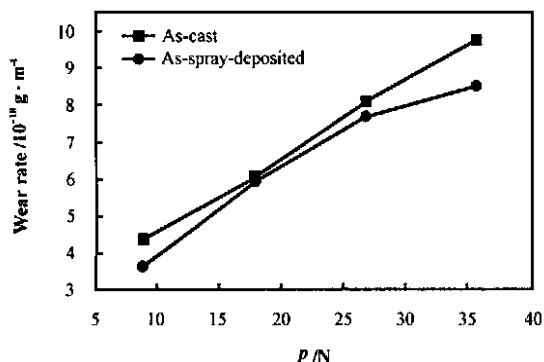


Fig 2 Variations in the wear rates of as-cast and as-spray-deposited Al-Si alloys with load

图2 普通铸造和喷射沉积 Al-Si 合金的磨损率随载荷变化的关系曲线

系曲线。可以看出,随着载荷的增加,合金的磨损率均有所增大;与普通铸造合金相比,在相同载荷条件下,沉积态合金的磨损率明显较低。喷射沉积 Al-20Si-3Cu-1Mg 合金具有良好的耐磨性的原因在于,在合金组织中形成了颗粒状的初晶 Si 相,与铸态组织中的板状初晶 Si 相比,这些颗粒状的 Si 相尺寸较小,它们均匀分布在基体组织中,形成了硬质点分布于软基体中的理想的耐磨体系。而利用普通铸造法得

到的过共晶 Al-Si 合金中粗大的 Si 相本身强度很低,且内部存在裂纹, Si 相尖角与基体结合处形成了严重的应力集中;在摩擦剪切应力作用下, Si 相容易折断并从合金基体上脱落,导致合金的耐磨性能变差。喷射沉积过共晶 Al-Si 合金组织中存在大量的颗粒状 Si 相, Si 相颗粒与基体之间形成了光滑的边缘,与基体之间的结合十分紧密, Si 相尖角的消失有效地降低了应力集中的程度,在剪应力的作用下初晶 Si 相的断裂和剥落倾向减弱,因而合金的耐磨性得以提高。

## 3 结论

喷射沉积 Al-20Si-3Cu-1Mg 合金由  $\alpha$ -Al 基体和颗粒状 Si 相组成;与铸态合金相比,沉积态合金中初晶 Si 相的尺寸显著减小, Si 相的剥落倾向减弱,因此喷射沉积过共晶 Al-Si 合金的耐磨性能显著优于普通铸造过共晶 Al-Si 合金。

## 参考文献:

- [1] Yue Wu, William A. Cassada, *et al*. Microstructure and mechanical properties of spray-deposited Al-17Si-4.5Cu-0.6Mg wrought alloy[J]. *Metall Mater Trans A*, 1995, 26: 1235-1247.
- [2] Anand S, Srivatsan T S, Yue Wu, *et al*. Processing, microstructure and fracture behavior of a spray atomized and deposited aluminum-silicon alloy[J]. *J Mater Sci*, 1997, 32: 2835-2848.
- [3] Lin S C, Gupta M, Leng Y F, *et al*. Wear of a spray-deposited hypereutectic aluminum-silicon alloy[J]. *J Mater Process Tech*, 1997, 63: 865-870.
- [4] Zhang R (张蓉), Shen S J (沈淑娟), Liu L (刘林). Effect of Overheating Treatment on the Wear Characteristics of Hypereutectic Al-Si Alloy (过热处理对 Al-Si 过共晶合金耐磨

性能的影响) [J]. Tribology (摩擦学学报), 2000, 20(5): 344-347.

## Microstructure and Wear Resistance of Spray-Deposited Hypereutectic Al-Si Alloy

WANG Feng, ZHANG Zheng-ye, MA Ya-jun, CUI Xiao-hao, JIN Yuan-sheng  
(State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Hypereutectic Al-Si alloys were fabricated making use of spray-deposition technique and conventional casting process, respectively. The microstructures of the resulting hypereutectic Al-Si alloys were investigated with a scanning electron microscope. The wear-resistance of the Al-Si alloys sliding against AISI-1045 steel was examined on a Falex-6 friction and wear tester in a pin-on-disc contact configuration. The results showed that the spray-deposited hypereutectic Al-Si alloy was composed of  $\alpha$ -Al matrix and Si particles uniformly distributed therein, with the shape and size of the primary Si different from that of the conventional as-cast Al-Si hypereutectic alloy. The spray-deposited hypereutectic Al-Si alloy sliding against AISI-1045 steel had much better wear-resistance than the conventional as-cast Al-Si hypereutectic alloy against the same counterpart as well, which was attributed to the different microstructures of the two alloy specimens. Namely, the fine Si particles in the spray-deposited hypereutectic Al-Si alloy were well bonded to the  $\alpha$ -Al matrix and were not liable to break and peel off under the shear stress, while the coarse Si particles in the conventional as-cast Al-Si hypereutectic alloy were weakly bonded to the alloy matrix and liable to peel off in sliding against the steel, owing to the concentrated shearing stress at the sharp edges of the Si particles.

**Key words:** spray deposition; hypereutectic Al-Si alloy; microstructure; wear resistance

**Author:** WANG Feng, male, born in 1966, Ph. D., e-mail: fengwang@mails.tsinghua.edu.cn