

# 砂型铸造用模具快速制备及耐磨性研究

庞国星<sup>1</sup>, 陈华辉<sup>2</sup>

(1. 北华航天工业学院材料工程系, 河北 廊坊 065000; 2. 中国矿业大学(北京)材料工程系, 北京 100083)

**摘要:** 研究了砂型铸造用模具的快速制备及适合其耐磨的表面涂层材料, 对添加  $Al_2O_3$  颗粒材料进行了耐磨性系列试验, 用扫描电镜和原子力显微镜进行了分析。结果表明, 当  $Al_2O_3$  颗粒含量达 5% 时, 磨损率最低; 随  $Al_2O_3$  颗粒含量的增加, 复合涂层的摩擦系数逐渐增大, 复合涂层的磨损机理由粘着占主导逐渐转变为犁削沟占主导。

**关键词:** 快速砂型铸造; 模具涂层; 耐磨

中图分类号: TG241 文献标识码: A 文章编号: 1000-8365(2010)12-1634-04

## Rapid Preparation and Study on the Wear-resistance of the Pattern Material for Sand Casting

PANG Guo-xing<sup>1</sup>, CHEN Hua-hui<sup>2</sup>

(1. Department of Material Engineering, North China Institute of Astronautic Engineering, Langfang 065000, China; 2. Department of Material Engineering, China University of Mining Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In this paper, the rapid sand mold pattern preparation and its coating are developed. Serial experiments on the effect of  $Al_2O_3$  particle additions in the coating on the wear resistant properties of pattern are investigated with wear resistant test machine and SEM and AFM. The results of experiments indicate that the 5% of  $Al_2O_3$  addition has the lowest weight loss and with the increase of  $Al_2O_3$  particle addition, friction coefficient of the composite coating is increased. The wear mechanism of composite coating is from the adhesive mechanism to the plough mechanism with increasing addition of  $Al_2O_3$  particle.

**Key words:** Rapid sand mold pattern preparation; Pattern coating; Wear resistance

随着市场竞争的日益激烈, 产品的开发周期、生产周期、更新周期越来越短。因此, 面对一个迅速变化且无法预料的买方市场, 以往传统的大批量生产模式对市场的响应就显得越来越迟缓与被动。快速响应市场需求, 已成为制造业发展的重要方向。快速原型技术(Rapid Prototyping, RP)就是在这种背景下逐步形成并得以发展的<sup>[1-4]</sup>。采用这种技术既可以开发功能制件或用于新产品的评价, 也可用于快速制造砂型模具等。粉末激光烧结快速成型工艺(Selective Laser Sintering, SLS)的研究与开发一直是国内外快速成型技术(RP)领域的重要研究方向之一。国内经过几十年的发展, SLS 材料取得了长足的进步, 但是目前 SLS 成型材料的后处理材料和工艺大多不太理想, 使成型

件的力学性能不能满足功能性制品的要求。因此, 开发变形小、强度高、无污染、成本低新型后处理材料与工艺, 以及功能性涂层的制备是非常必要的。快速砂型铸造主要是指缩短生产周期的砂型铸造工艺, 而制模周期是制约铸造生产周期的重要因素之一。快速砂型铸造主要是指基于快速原型的制模工艺, 本文采用的是经快速原型(SLS)方法制造的模型, 再经树脂灌注后可以强化其内部结构和表面性能, 该模型可以直接用于砂型铸造用模具, 但应用后发现表面耐磨性较差。因此, 开发快速砂型铸造, 必须研究适合的快速砂型铸造模具材料及涂层。

### 1 快速原型(SLS)的基本工艺过程

选择性粉末激光烧结快速成型 SLS 技术是几种最成熟快速原型制造技术之一。与其他快速原型技术同样, 有选择地将可熔化粘结的粉末烧结成型并层层叠加成实体, 是一种基于离散和堆积原理的崭新制造技术。

如图 1 所示, 粉末材料选择性烧结工艺成型原理是: 计算机控制  $CO_2$  激光束按截面轮廓的信息扫描工

收稿日期: 2010-08-16; 修订日期: 2010-09-15

基金项目: 河北省教育厅科研项目: (L2005-5Z; 学校重点质量学科: XK-2010-05 Z)

作者简介: 庞国星(1963), 河北沧州人, 教授, 从事耐磨材料及表面工程研究。

Email: panglgh@163.com

作台上的一层粉末材料, 单个的微粒便会在它们的接触点凝成一片层实体, 然后下降活塞带动刚凝固的几何实体向下移动一层的厚度, 接着铺粉辊横跨工作面移动, 铺上新的一层粉末, 此过程反复进行直至生成三维实体; 待工作缸冷却, 取出实体, 去除包裹在原型外的多余粉末, 再按设计要求对其表面有选择的进行密封、渗透、上漆等处理。

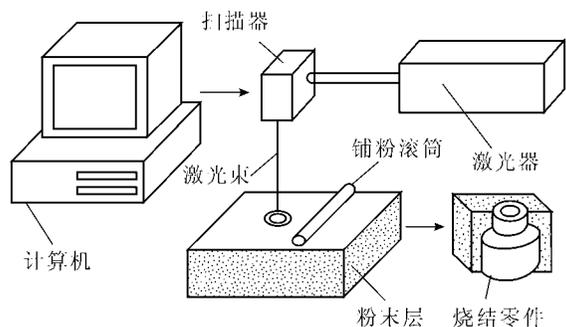


图1 粉末材料选择性激光烧结工艺原理图

Fig.1 Principle diagram of powder SLS

选择性激光烧结材料是最具潜力、最具活力和诱发力的领域, 国外新工艺的出现往往与新材料的应用有关。成型材料多样性是粉末激光烧结技术最显著的特点<sup>[2-5]</sup>, 也成为快速成型技术的发展瓶颈。金属粉末成型一直是 SLS 技术发展的热点, 在推出铁合金(树脂包附着金属粉末)烧结技术后, 2003 年市场上开始出现的铁合金、铁镍合金等直接烧结金属粉末技术, 代表了 SLS 技术发展的最高成就。目前, 粉末激光烧结快速成型工艺还主要以塑料粉(包括聚苯乙烯(PS)、蜡粉、尼龙等为原料, 由激光辐照使之烧结。聚苯乙烯(PS)粉末受热后可熔化、粘结, 冷却后可以固化成型, 而且该材料吸湿率小, 收缩率也较小, 其成型件浸树脂后可进一步提高强度, 主要性能指标可达拉伸强度  $\geq 15$  MPa、弯曲强度  $\geq 33$  MPa、冲击强度  $\geq 3$  MPa, 可作为原型件或功能件使用。由于粉末材料已事先铺就, 光斑或熔池较小, 而且未烧结的粉末起到了支撑作用, 无需附加支撑。因此 SLS 技术制造的零件精度较高且形状较复杂。

快速砂型铸造模具的制造可以借助选择性激光烧结(SLS)制造出所需要的复杂形状的模具。

## 2 后处理材料及耐磨涂层制备

选择性激光烧结快速原型件的后处理材料多选择环氧系列树脂<sup>[6,7]</sup>。经系列试验, 选择环氧树脂 CYD-128、稀释剂 660 A、固化剂(由固化剂 A 和固化剂 B 组成的混合物)的组成物作为后处理涂层材料。针对砂型铸造的模样需要原型件具备一定的耐磨性, 选取确定的后处理涂层材料 200g, 加入不同质量的氧化铝(2~10  $\mu\text{m}$ )颗粒, 分别取 1%、3%、5%、8%、10% 的加

入量(占涂层基体的质量百分比), 与树脂混合均匀后涂刷于快速成形工件的表面, 当完全渗透后, 将试件放入事先准备好的烘箱中(温度定在 40  $^{\circ}\text{C}$ ), 固化 4~5 h 得到原型件的耐磨涂层。磨损试样尺寸: 12 mm  $\times$  10 mm  $\times$  10 mm, 试样表面用 800<sup>#</sup> 水砂纸打磨, 对偶件为淬火低温回火态的轴承钢 GCr15 钢球, 硬度为 60 HRC。磨损试验在 WTM-1E 微型磨损实验机上进行, 对 GCr15 淬火钢球施加一定压力, 并使其在试件表面按圆周形轨迹滚动, 每个试样的磨损试验时间为 30 min。试验前试样和对偶件钢球表面均用丙酮擦拭干净, 磨损量由 FA2004 数字电子天平测量。磨损试验的数据均为 3 次重复试验数据的平均值。试样硬度由表面洛氏硬度计(HR15Y)测量(实验力为 15 kg, 钢球直径为 12.7 mm)。试样的磨损表面用日立 S-3400N 扫描电镜进行观察分析, 磨损三维形貌由 CSPM5500 型原子力显微镜(广州本原纳米仪器有限公司)观察。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 摩擦学行为分析

磨损试验的结果见表 1 和图 2。

表 1  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (微米级)加入量对涂层硬度和耐磨性的影响  
Tab.1 Effect on coating hardness and wear resistant by the added amount of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  particles (in  $\mu\text{m}$  grade)

序号	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (微米级)加入量 (占涂层基体的质量百分比)(%)	试样硬度 /HR15Y	试样磨 损率(%)	摩擦 系数
1	0	56	3.2%	0.38
2	1	93	0.32	0.40
3	3	108	0.18	0.42
4	5	118	0.11	0.44
5	8	129	0.21	0.47
6	10	135	0.25	0.50

### 3.2 磨损表面形貌观察与磨损机理分析

对未添加颗粒的涂层和不同  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒含量的涂层的磨损形貌进行了扫描电镜观察, 结果如图 3。

由图 3 可知, 未添加颗粒的涂层的磨损表面较为平整, 存在较多的粘着痕迹和极轻微的犁沟; 随着涂层中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒含量的增加, 磨损表面变得越来越粗糙, 犁削沟槽密度增大, 犁沟数量增加, 深度变浅, 长度缩短, 犁削磨损逐渐占主导, 粘着痕迹逐渐减少。随  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒含量的增加, 复合涂层的耐磨性能得到提高, 复合涂层阻碍磨料运动的能力增强, 磨料对涂层表面的犁削作用行程缩短, 复合涂层的耐磨性能提高。

但是, 随着  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒含量的增加, 复合涂层基体对  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒的固定能力减弱, 使得  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒脱落, 而成为松散磨料的几率增大, 当  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒含量

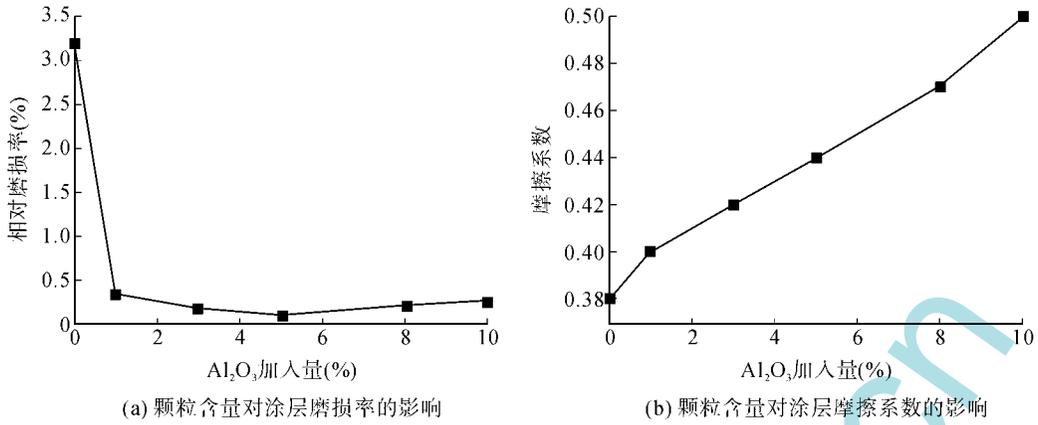


图 2 颗粒含量对试样涂层磨损率和摩擦系数的影响

Fig. 2 Effect on wear rate and friction coefficient of coating by different added particle content

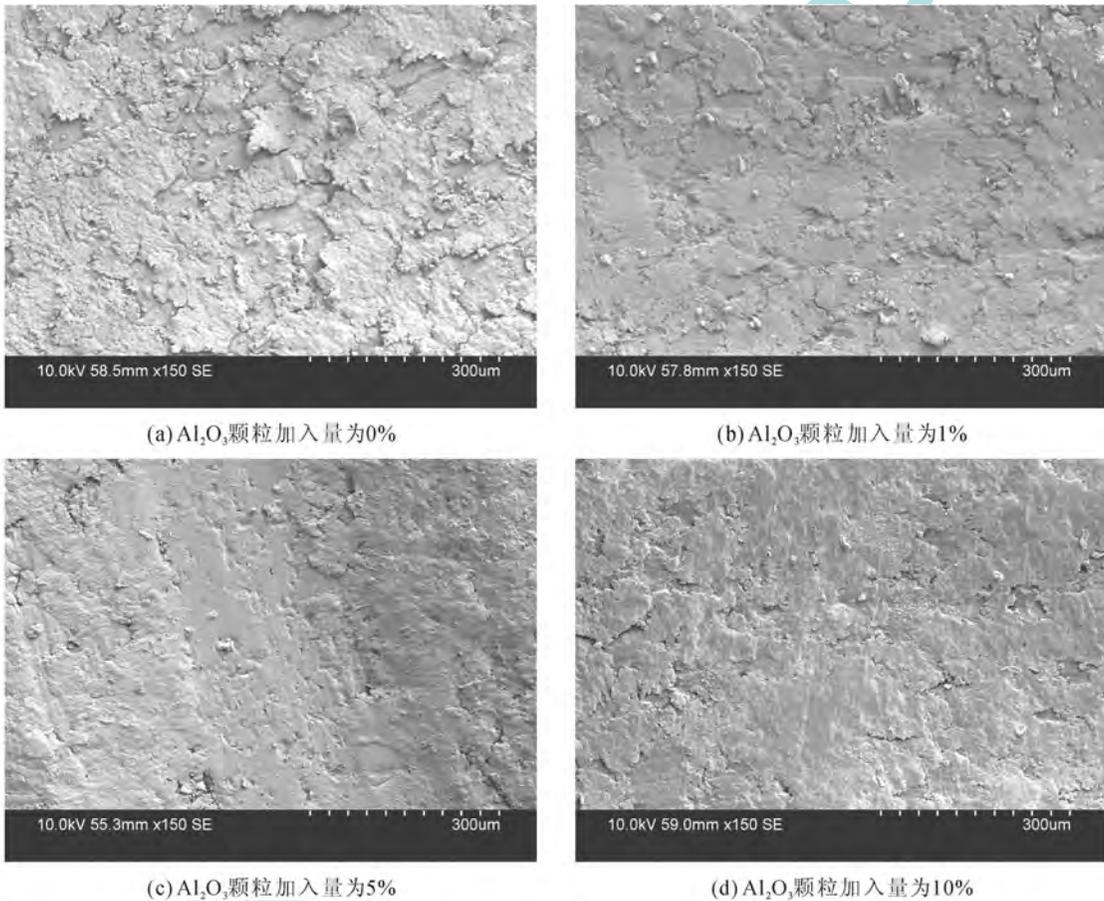


图 3 复合涂层的磨损表面形貌( SEM)

Fig. 3 Electron micrographs of the worn surfaces of composite coatings

大于 5% 后, 这种作用更加明显。随着 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 颗粒的加入, 复合涂层的磨损机制发生变化, 逐渐由粘着磨损向粘着与犁削磨损(如图 3b、c)转变, 最终几乎全部为犁削磨损(如图 3c、d)。磨损机制转化的原因如下: 由于 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 颗粒的加入, 强化了基体, 阻碍了粘着磨损的发生; 磨损过程中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 颗粒的脱落、碎裂等形成磨料, 对复合涂层形成犁削磨损。磨损三维形貌观察(图 4)也证实了上述分析。

面使复合涂层中磨损机理发生转变, 降低其表面的粘着现象, 从而提高耐磨性能; 另一方面, 随颗粒含量的增加, 复合涂层对其摩擦副的磨损加剧, 反过来又造成摩擦副对复合涂层表面的磨损程度增加, 磨损过程中产生的摩擦热降低了基体的性能, 减弱了基体对颗粒的固定作用, 颗粒脱落形成松散磨料的几率增大, 松散磨料对复合涂层产生磨损。颗粒含量对复合涂层耐磨性的影响主要在于其对磨损机理的影响, 当颗粒含量较少时, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 颗粒对复合涂层中基体的锚钉作用不

综合以上各种因素, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 颗粒含量的增大, 一方

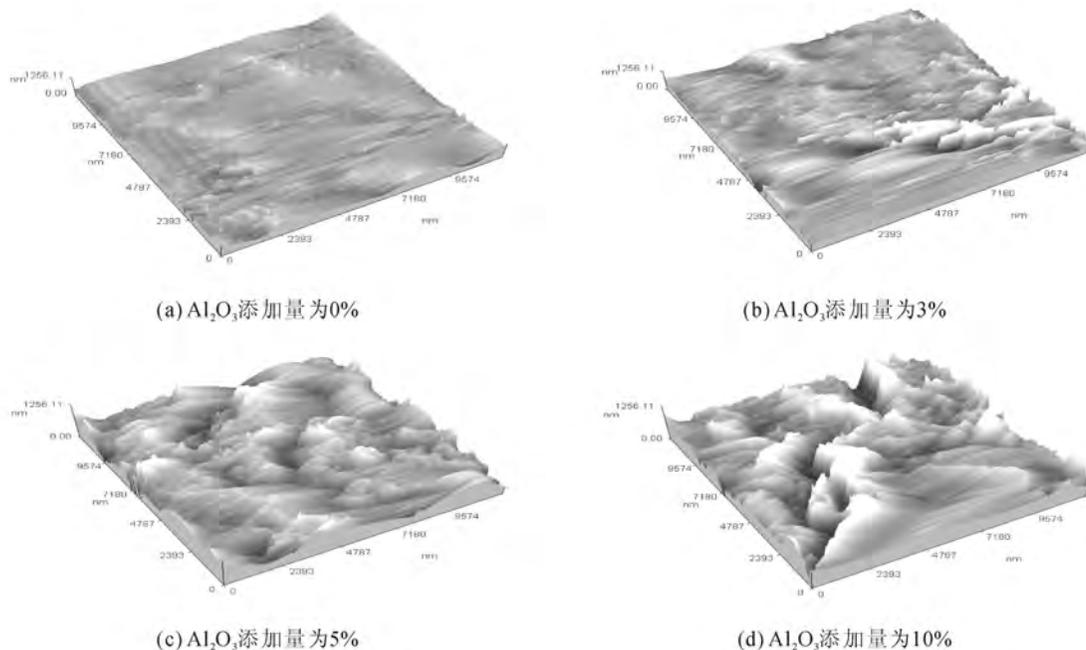


图4 复合涂层的三维磨损形貌(AFM)

Fig.4 3D Micrographs of worn surface of composite coating

足以使磨损机理发生改变,这时涂层以粘着磨损为主,涂层的耐磨性较差;随 $Al_2O_3$ 颗粒含量的增大, $Al_2O_3$ 颗粒对复合涂层的基体的锚钉作用增大,使复合涂层占主导的磨损机理由粘着磨损逐渐转变为犁削磨损,复合涂层的磨损率减小,耐磨性增强。

对快速原型工件采用环氧树脂CYD-128、稀释剂660A、固化剂(由固化剂A和固化剂B组成的混合物)的组成物,添加5%的 $Al_2O_3$ (2~10 $\mu m$ )颗粒作为后处理涂层材料,可以制备具有一定耐磨性的快速砂型铸造用模具,实例见图5。

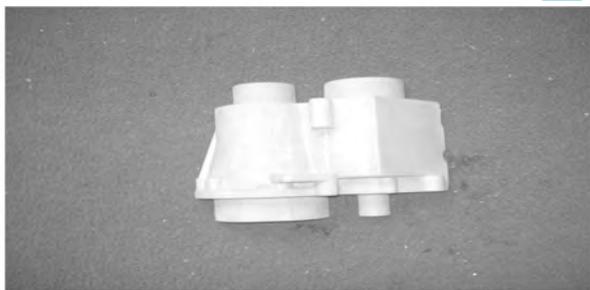


图5 后处理涂层材料处理的砂型铸造模样

Fig.5 Sand mold pattern after treatment by post treatment coating material

#### 4 结论

在干摩擦条件下,随 $Al_2O_3$ 颗粒含量的增加,复合涂层的磨损率逐渐降低,当颗粒含量达5%时,磨损率最低,随 $Al_2O_3$ 颗粒含量的继续增加,复合涂层的

磨损率略有增大;随 $Al_2O_3$ 颗粒含量的增加,复合涂层的摩擦系数逐渐增大,而且摩擦系数的增大程度逐渐减小;随 $Al_2O_3$ 颗粒含量的增加,复合涂层的磨损机理由粘着占主导逐渐转变为犁削沟占主导。

#### 参考文献

- [1] 庞国星,陈华辉.快速砂型铸造用模具材料的新进展[J].铸造技术,2005,26(1):77-78.
- [2] 尹希猛,王运赣,黄树槐.快速成型技术90年代新的制造工具[J].中国机械工程,1993,4(6):25-27.
- [3] 黄树槐,肖跃加,莫建华.快速成型技术展望[J].中国机械工程,2000,11(12):195-200.
- [4] C K Chua, S M Chou and T S Wong. A Study of the State of the Art Rapid Prototyping Technologies[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1988, 14(2): 121-125.
- [5] 王运赣.快速成型技术[M].武汉:华中理工大学出版社,1999.
- [6] 王晓洁,张炜,谢群炜.热塑性树脂改性环氧树脂基体配方研究[J].宇航材料工艺,1999,(2):21-23.
- [7] Barelay G G, Oberck, Papatthomas K I, et al. liquid crystalline epoxy thermals based on dihydroxymethylstilbene synthesis and characterization[J]. Polymer Science Part A. Polym Chem. 2006, 60: 2 021-2 023.