

# 基于 SLS 原型的快速(重力)铸造工艺

刘洪军<sup>1</sup> 李亚敏<sup>1</sup> 黄乃瑜<sup>2</sup> 董选普<sup>2</sup> 樊自田<sup>2</sup>

(1. 兰州理工大学; 2. 华中科技大学)

**摘要** 结合 SLS 快速成形和铸造工艺可以实现金属零件的快速铸造。根据原型材料可熔融和烧失的特性, 制定了类似于熔模铸造的快速铸造工艺方案。讨论了快速金属铸件的特点, 对快速铸造工艺提出了成功率高、成形性好和性能较高的要求。分析了面向金属零件快速铸造的重力铸造工艺并以实例说明, 顶注式浇注系统适用于结构简单且高度不大的快速零件, 而阶梯式浇注系统适用于中大型和复杂程度较高的铸件。

**关键词** 激光选区烧结; 快速制造; 铸造工艺

**中图分类号** TG24 **文献标志码** A **文章编号** 1001-2249(2005)07-0408-03

以快速原型结合铸造技术由于能够以较低的成本在短时间内制造出性能优良、形状复杂的金属零件, 成为目前应用最广泛、最实际可行的金属零件快速制造工艺<sup>[1,2]</sup>。在多种快速成形工艺中, SLS(激光选区烧结)工艺由于具有烧结材料广泛的突出特点<sup>[3]</sup>, 使其在铸造工艺中应用潜力很大。目前 SLS 工艺和铸造工艺相结合快速制造金属零件的工艺路线主要有两种: 一种是直接烧结覆膜砂或者陶瓷粉, 制造砂型或者砂芯用于铸造<sup>[4,5]</sup>; 另一种是烧结高分子材料或者蜡基材料, 通过熔模铸造的方法快速制造金属零件<sup>[6,7]</sup>。本课题对后一种工艺进行了研究和应用, 主要探讨基于 SLS 原型的金属零件快速铸造过程和特点, 分析了面向快速铸造的重力铸造工艺, 并通过实际零件加以说明。

## 1 基于 SLS 原型的快速铸造工艺方案

根据对各种高分子特征指标的分析 and 激光烧结试验, 选择了聚苯乙烯体系作为 SLS 烧结的基础材料, 综合考虑 SLS 烧结工艺和铸造过程的要求, 经过对该材料体系进行改性, 研制出了适用于本研究的高分子烧结粉末材料 H<sup>1</sup>。

通过对原型材料物理化学变化的理论分析和实际的原型试验可以知道, SLS 原型加热时会熔融流动和热分解, 因此可以通过受热熔融和分解而脱去原型。这种性质与铸造工艺中熔模铸造的蜡模性质类似, 因此借鉴熔模铸造工艺来进行快速原型到金属零件的转制是完全可行的。由于 SLS 原型和蜡模特点的相似性, 因此将原型看作蜡模, 也通过受热熔融和焙烧得到具有原型形状内腔的铸型, 然后浇注得到所要求的金属零件。

通过试验分析发现, 与蜡模材料相比, 原型受热后熔体粘度很高, 对型壁的附着力较大, 往往经过很长时间加热还只能脱去大部分原型, 铸型中残余原型材料需

要通过高温焙烧的手段才能完全去除, 而且 SLS 原型外覆壳型也需要焙烧才能获得高的性能。根据热分析的结果, 原型材料在 500 °C 以上基本可以分解完, 烧失后残余的灰分极少, 一般不会对铸造过程和零件质量产生影响。

根据上述分析, 制定出了基于 SLS 高分子原型的金属零件快速铸造工艺方案, 其工艺流程见图 1, 主要分为 4 个阶段:



图 1 基于 SLS 原型的金属零件快速铸造工艺流程

### (1) SLS 原型制造

根据所制造金属零件的图纸和制造工艺进行相应的工艺设计, 并作出计算机三维实体模型。确定激光烧结工艺参数, 制造出 SLS 原型, 并进行渗蜡和表面修整处理。

### (2) 快速铸型制作

原型需要添加浇注系统后才能成为一个完整的铸造用模组, 类似于熔模铸造型壳的制造工艺, 在模组上逐层挂浆撒砂形成一定厚度的型壳。

### (3) 脱模工艺

将包含在铸型内的原型模组完全脱去, 得到具有模组形状的空腔型壳才能用来浇注。具体脱模工艺为: 首先加热烘烤熔融脱去大部分原型材料, 然后在 500 °C 以上焙烧, 使残留在铸型中的模型材料完全烧蚀, 得到内部型腔干净的型壳。

### (4) 金属零件铸造工艺

根据零件的具体要求选择合适的金属材质。原材料熔化后在快速铸型中浇注, 获得所需要的金属零件。铸造成功后, 清理出铸件并切除浇注系统。

收稿日期: 2005-04-12

基金项目: 湖北省重点科技攻关项目(2001A107B02); 模具技术国家重点实验室开放基金项目(04-4)

第一作者简介: 刘洪军, 男, 1974 年出生, 博士, 兰州理工大学材料科学与工程学院, 甘肃省有色金属新材料省部共建国家共建重点实验室, 兰州(730050), 电话: 0931-2976320, E-mail: liuhongjun@163.com

## 2 快速金属零件特点及其对铸造工艺的要求

从金属零件铸造的角度来讲,CAD 模型的设计、SLS 高分子原型的制作和快速铸型的转制都是金属零件的快速铸造的前期准备工作。必须通过铸造工艺才能将设计思想和模型迅速转化为实际的金属零件。

快速制作的金属零件一般具有以下特点:① 制作时间短,要求快速铸造的金属零件一般都有严格的时间限制,制作时间要尽可能地短;② 工艺复杂,由于采用 SLS 高分子原型结合铸造工艺间接制作金属零件,整个过程包括 CAD 三维模型的设计、SLS 原型的制造和后处理、铸型的制作、精密铸造成形以及铸件的修整等工序,工艺步骤多,每一个工艺步骤都不能有差错,否则就会导致前功尽弃;③ 成本高,SLS 原型的加工费用较高,按照制作时间来计算,一个原型的制作费用通常在几百元到几千元;原型转制为快速铸型工艺要求严格,铸型材料的成本也较高;由于快速铸件一般都是单件,整个工艺的成本包括人工成本,比常规工艺过程要高很多。

因此,对快速铸造工艺提出了以下的要求:① 工艺稳定可靠,成功率高,SLS 原型的烧结和后处理、铸型的制作和焙烧工艺等工序已经耗费了大量费用和时间,因此铸造工艺必须稳定可靠,保证较高的成功率;② 成形性好,用快速成形来制作的金属零件一般都有复杂的形状,因此对零件的成形性要求较高,以保证零件铸造时充型良好;③ 性能较高,大多数的金属快速铸件都是作为功能件使用的,因此对铸造合金的材质选择、铸件组织的致密程度、内部质量都有较严格的要求,以保证铸件的性能指标。

## 3 快速金属零件的重力铸造成形工艺

金属零件的快速制作工艺进行到浇注这个环节,基本上与常规的铸造工艺没有太多差别。对于结构复杂的薄壁零件,为了保证快速金属零件的质量和成功率,需要采用特种铸造工艺,如真空压差铸造<sup>[8]</sup>或者低压铸造<sup>[9]</sup>等。但是对于一般复杂的金属零件,或者在不具备相关设备的条件下,可以采用普通的重力铸造工艺来满足快速零件铸造的要求。因此,本文针对金属零件快速铸造的普通重力铸造工艺进行了讨论,其主要任务是进行浇注系统的设计。

浇注系统的设计原则如下:① 将液态金属平稳、顺利地导入并充满型腔,对于薄壁零件应保证充填良好;② 补充金属液凝固时的收缩,保证补缩通道通畅,提供必要的补缩用金属液;③ 快速铸型制作过程中起支撑 SLS 原型和型壳的作用,应具有一定的强度;④ 在熔失

原型和焙烧时提供熔融原型材料流出和气体逸出的通道,因此浇注系统应该能够保证 SLS 原型和外界通道通畅;⑤ 调节铸型各部分的温度分布,以控制铸件的凝固顺序。

根据快速铸造的特点,一般采用顶注式和阶梯式浇注形式(见图 2)。

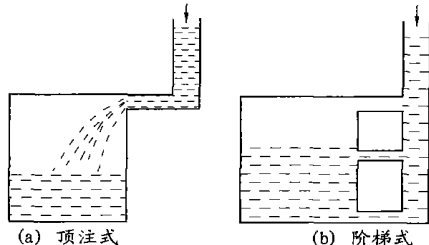


图 2 浇注形式示意图

顶注式优点是易于充满型腔,有利于顶部冒口对金属零件的补缩。但是液流对铸型底部冲击大,容易损伤零件的精细部分,金属液易产生飞溅、气孔等缺陷。适用于结构简单且高度不大的快速零件;阶梯式浇注形式浇注之初,金属液只从最底层内浇道流入型腔,待型腔内液面上升到第二层内浇道时,才从第二层内浇道流入型腔。这样各层内浇道由下而上逐层接替地起作用,最上层内浇道通入冒口,可保证实现顺序凝固和冒口最后凝固。阶梯式浇注系统适用于大中型快速零件,以及较复杂的零件。由于 SLS 原型的烧结费用较高,因此浇注系统一般不在原型上直接作出,只是留出相应的位置。待原型制作完毕,将设计好的浇注系统加工好后,粘接到原型相应的位置上,用于后期的快速铸型制作过程。

## 4 快速铸造实例

### 4.1 散热片

散热片 CAD 三维实体造型见图 3 a,尺寸为 100 mm × 70 mm × 25 mm。SLS 原型的烧结工艺参数:激光功率为 20 W,扫描速度为 1 700 mm/s,扫描间隔为 0.1 mm,铺粉层厚为 0.2 mm。制造完成的 SLS 原型见图 3 b。

由于铸件比较简单,高度较小,顶注式浇注系统比较合适,见图 3 c。铸造合金 ZL101,浇注温度 720 °C。通过快速铸造工艺铸造的散热片铝合金零件见图 3 d。从 CAD 模型到金属零件总制作时间约为 5 天。

### 4.2 汽车转向灯壳

汽车转向灯壳的 SLS 原型见图 4 a 上,铸件为典型的均匀薄壁零件,平均壁厚为 2.6 mm,尺寸为 350 mm × 150 mm × 100 mm。由于原型烧结平面较大,为防止翘曲变形,采用小的激光功率(15 W),其他烧结参数为:扫描速度为 1 700 mm/s,铺粉层厚为 0.1 mm。SLS 原型制造完成后经过外覆型壳并低温烘烤、高温焙烧后获得快速铸型。

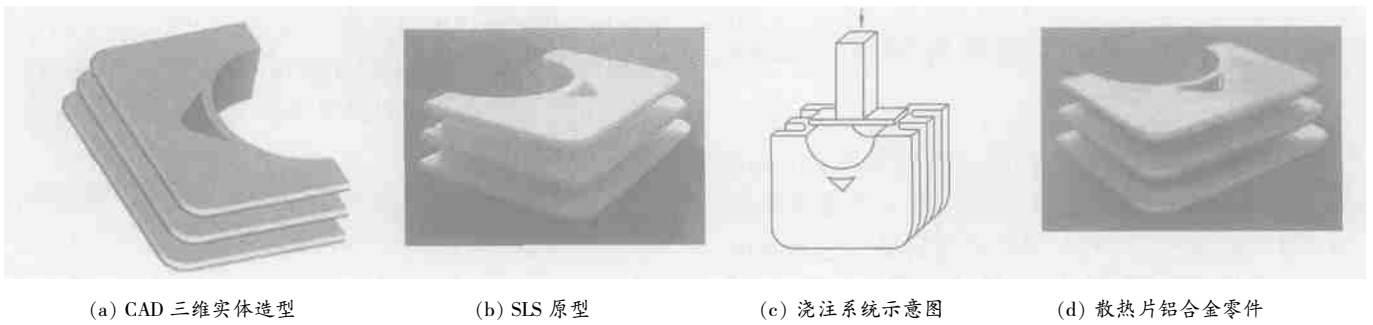


图3 散热片的CAD实体、SLS原型、浇注系统示意图和铝合金零件

为了使该均匀壁厚零件的充型完整,保证转向灯壳零件的成形,采用阶梯式浇注系统,见图4b。快速铸造的铝合金零件见图4a下。铸造合金为ZL101、浇注温度为735℃。从提供CAD三维造型到快速金属零件的制造成功,总共需要7天左右的时间。

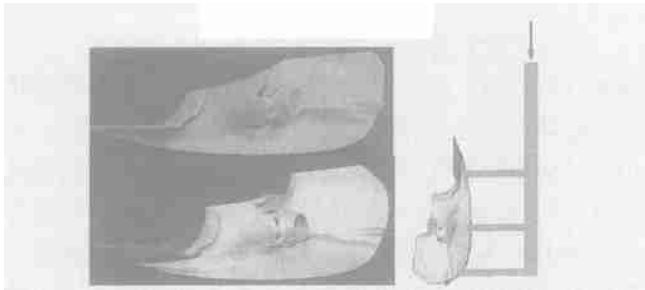


图4 汽车转向灯壳的SLS原型和金属零件以及浇注系统示意图

## 5 结语

(1) 通过选择合适的高分子原型材料,SLS快速成形工艺可以和铸造技术相结合,实现金属零件的间接快速制造。

(2) 根据SLS原型材料的可熔融和高温烧失的性质,制定出类似于熔模铸造工艺的快速铸造工艺,包括SLS原型制造、快速铸型制作、原型模组脱失、铸造工艺4个阶段。

(3) 快速金属零件一般具有制作时间短、工艺复杂、成本高等特点,要求相应的快速铸造工艺稳定可靠、成形性好、性能较高。

(4) 金属零件快速铸造中采用的重力铸造工艺一般采用顶注式和阶梯式浇注形式。顶注式浇注系统适用于结构简单且高度不大的快速零件;阶梯式浇注系统适用于大中型零件,以及较复杂的零件。

(5) 普通重力铸造工艺只用于一般复杂程度的铸件快速制造,对于结构非常复杂或者薄壁铸件,需要采用特种铸造工艺,如真空差压铸造或者低压铸造工艺。

### 参 考 文 献

1 Detlef K. Chua C K. Du Z H. Rapid Prototyping Issues in the 21st Century.

Computer in Industry, 1999, 39(3): 3~10  
 2 Wiedemann B, Jantzen H A. Strategies and Applications for Rapid Product and Process Development in Daimler-Benz AG. Computers In Industry, 1999, 39(1): 11~25  
 3 樊自田, 黄乃瑜, 李焰. 快速造型中材料的研究及发展. 见: '98 全国 RP/RT 会议论文集, 西安, 1998, 119~123  
 4 Steven A. From CAD Art to Rapid Metal Tools. Mechanical Engineering, 1997, 119(3): 82~87  
 5 樊自田, 黄乃瑜, 陈宗孟. 基于选择性激光烧结技术的快速铸造. 特种铸造及有色合金, 1999(5): 7~9  
 6 赵剑峰, 李悦, 张建华等. 基于 SLS 技术的金属零件快速制造研究. 特种铸造及有色合金, 2000(5): 9~10  
 7 孙海霄, 刘洪军, 董选普等. 基于 SLS 塑料原型的金属零件的快速铸造. 特种铸造及有色合金, 2001(4): 12~13  
 8 董选普, 黄乃瑜, 吴树森等. 复杂薄壁金属零件的快速制造技术. 铸造, 2001(6): 321~324  
 9 刘洪军, 董选普, 樊自田等. 锌合金注塑模镶块的快速制作工艺. 特种铸造及有色合金, 2003(增刊): 91~93

(编辑:袁振国)

## 2005 全国电渣冶金学术年会通知

### 1. 会议时间、会议地点

2005年9月7日报到,正式会期2005年9月8日至9月10日。

东北大学东荣宾馆(辽宁省沈阳市和平区文化路3号巷11号,东北大学校园内)。电话:024-83684091,23899464(总机)。

### 2. 会议内容

主题报告、专题报告、技术研讨、参观。

(1)李正邦院士;(2)国内电渣冶金行业知名学者;(3)国外电渣设备生产厂商代表;(4)国内电渣冶金重点产品生产企业代表。

### 3. 会务事项

住宿费:200~250元/标准间,会务费550元。

会议提交论文,务必在2005年7月31日前,以软盘、光盘、电子邮件形式提交给会务组。

### 4. 会务组联系人

陈瑞(沈阳铸造研究所)

通信地址:沈阳市铁西区云峰南街17号(邮编110022)

电话:024-25852311-356,024-25523672

手机:13332430936

电子邮件:chenrui320@sina.com

姜周华(东北大学)

通信地址:沈阳市和平区文化路3号巷11号(邮编110004)

电话:024-83686453,83687723 传真:024-23890559

电子邮件:jiang-zhouhua@263.net

张家雯(钢铁研究总院工艺所),电话:010-62182669,62185171,62181053

电子邮件:Jiawenzhang7421@sina.com

**Effects of Low Si Content on Microstructure and Properties of Mg-8Zn-4Al-0.3Mn Alloy** Zhang Chunxiang Guan Shaokang Zhu Shijie Liu Xiaofang Chen Jingyang (Zhengzhou University, Zhengzhou, China) 2005, 25(7)400~402

**Abstract** Effects of low Si content on the microstructure and properties of Mg-8Zn-4Al-0.3Mn alloy were investigated. It was found that the fluidity and wear resistance of the alloy can be remarkably improved by adding Si, and the grain size can be refined also. The micro-hardness, rigidity, tensile strength and plasticity of the alloy can be obviously increased with Si content lower than 0.41% while can be remarkably decreased due to the occurrence of character Mg<sub>2</sub>Si phase in the alloy with the Si content up to 0.69%, meanwhile, precipitation of  $\tau$  phase can be restrained and precipitation of  $\varphi$  phase can be promoted resulting from the decrease of Zn, Al atomic fraction in residual liquid phase.

**Key Words:** Mg-Zn-Al Alloy, Si, Mechanical Properties

**Influence of Ti Content on Wear Resistance of Electrolytic Low Ti ZL108 Alloy** Xie Jingpei<sup>1</sup> Guo Guoqing<sup>1</sup> Wang Jiefang<sup>2</sup> Wang Wenyan<sup>1</sup> Li Ludi<sup>1</sup> (1. Henan University of Science and Technology, Luoyang, China; 2. Zhengzhou University, Zhengzhou, China) 2005, 25(7)403~405

**Abstract** Tensile and wear testing of electrolytic low Ti ZL108 alloy with different Ti content for piston of internal combustion engine were conducted, and tensile fracture and wear morphology were observed by SEM. Experimental results and regressive equation showed that the alloy has the highest tensile strength and the lowest wear quantity with 0.11%~0.16% Ti content.

**Key Words:** Aluminum Base Alloy, Al-Si Alloy, Ti Content, Electrolytic Aluminum, Piston, Wear Resistance

**Protection of Molten Magnesium Alloys by a Mixing Gas Containing Difluoromethane** Zeng Yiwen<sup>1</sup> Peng Liming<sup>2</sup> Mo Ximin<sup>1</sup> Ding Wenjiang<sup>2</sup> (1. Shanghai University, Shanghai, China; 2. Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China) 2005, 25(7)406~407

**Abstract** The protection of Mg alloy melt surface by a mixing gas containing difluoromethane was researched systematically. The results showed that the difluoromethane can effectively protect molten magnesium alloys. The minimum concentration of difluoromethane in the mixing gas is in the range of 0.02%~1% (volume fraction) for the protection of pure Mg and AM60 alloy at different temperatures. The uniform and compaction surface oxidation film consists of MgO and MgF<sub>2</sub>, similar to those of the film in SF<sub>6</sub> protective gas by structure analysis.

**Key Words:** Mg Alloy, Ignition-proof, Protective Atmosphere, SF<sub>6</sub>, Difluoromethane (HF<sub>2</sub>-32)

**Rapidly (Gravity) Prototype Casting Technology Based on SLS Prototype** Liu Hongjun<sup>1</sup> Li Yamin<sup>1</sup> Huang Naiyu<sup>2</sup> Dong Xupan<sup>2</sup> Fan Zitian<sup>2</sup> (1. Lanzhou University of Science and Technology, Lanzhou, China; 2. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China) 2005, 25(7)408~410

**Abstract** The rapid manufacturing for metal parts can be realized by SLS prototyping combining with casting process. The rapid casting

process similar to investment casting can be scheduled based on the features of molten ability and burn loss of raw materials. Aiming at the characteristics of rapidly manufacturing metal parts, the requirements of high qualification rate, good formation ability and high performance for rapidly manufacturing process were put forward. Top gating system is suitable for metal parts with simple structure and low height while multi-step gating system is suitable for large and complicated parts in gravity casting for rapid manufacturing of metal parts in practice.

**Key Words:** SLS (Selected Laser Sintering), Rapid Manufacturing, Casting Process

**Design and Implementation of Simulation Platform on the Liquid Infiltration-extrusion Process for Fabrication of MMC (Metal Matrix Composites)** Zhang Jinhui Yang Fang Qi Lehua (Northwestern Polytechnic University, Xi'an, China) 2005, 25(7)411~412

**Abstract** Aiming at the problems of high difficulties operation and incompatibility between tool softwares for simulating fabrication of MMC in liquid infiltration-extrusion process, a simulation platform of liquid infiltration-extrusion was built up, in which simulation platform was smoothly combined with the ANSYS and Matlab software by interface I/O based on VC++ language, and system modeling, parameter prediction, simulation and digital collection were integrated. By means of the platform, the processing difficulty can be decreased, promoting it to the practical use.

**Key Words:** Liquid-solid Extrusion, Simulation Platform, Software Architecture

**Computer Video Technology for Velocity Field of Hydraulic Simulation in Low-pressure Casting Filling Process** Zhao Zhongxing<sup>1,2</sup> Wang Songtao<sup>2</sup> Zhai Yuchun<sup>1</sup> (1. Northeastern University, Shenyang, China; 2. Shenyang University of Science and Technology, Shenyang, China) 2005, 25(7)413~415

**Abstract** Image information of filling process was observed and recorded by computer video technology for hydraulic simulation based on physical simulation, image treatment and computer application. Quantitative flow field model was established by analysis of obtained flow state image in moving compensation technology for digital video treatment and calculation of two-dimensional velocity field in filling process of hydraulic simulation in low pressure casting, realizing the quantitative analysis of hydraulic simulation of filling process.

**Key Words:** Low Pressure Casting, Hydraulic Simulation, Velocity Field, Computer Video Technology

**Heat Pipe Technology and Its Application in the Casting Process of Light Alloy** Chen Janmei Zhang Xinming Deng Yulai Peng Zhuokai Jang Hao (Central South University, Changsha, China) 2005, 25(7)416~418

**Abstract** Characteristics of heat pipe technology was briefly introduced. The performance, role, potential value and application ways of heat pipe in light alloy in permanent mold casting were expounded. A new method for preparing magnesium alloy casting pipe by applying heat pipe to casting process and an improved method for preparing semi-solid billets of light alloy were specially proposed. Meanwhile,