

快速成形技术在熔模铸造中的应用

—国外精铸技术进展述评(12)—

《特种铸造及有色合金》，2005（12）：732~735

快速成形技术(Rapid Prototyping,简称 RP)是 20 世纪 90 年代发展起来的高新技术。它能使人们头脑中的设计概念迅速变成实物。特别值得一提的是,整个产品开发过程不需要任何模具和工艺装备,大大缩短样件和新产品试制周期,迅速成为增强企业竞争力的重要手段和工具。INCAST 2004(11)发表的互联网问卷调查表明,全欧 400 多家精铸厂家中,有 93%以上都曾使用过快速成形模样,所有受访者都认同,采用此项新技术对于加速新产品开发和增强企业对市场的快速反应能力至关重要^[1]。

一. 常用快速成形方法在熔模铸造中的应用

快速成形技术在熔模铸造中的应用主要有以下几方面:

1. 制作熔模

制作模样时,快速成形机不仅可以输入由其它 CAD 软件建立的三维几何模型,也可以接收由工业 CT(计算机层析射线摄影技术)扫描所得的数据文件。例如,首先通过 CT 对零件(螺旋推进器,图 12-1a)扫描,获得其断面的二维图象(图 12-1b)。随后,图象处理软件再将各断面的二维图象组合起来(图 12-1c),构成三维几何模型(图 12-1d)。再将它传送给快速成形机制成模样(图 12-1e)^[2]。这种复原(逆向)工程方法不但可以将机器零件复原,而且还可以仿制某些人体器官。

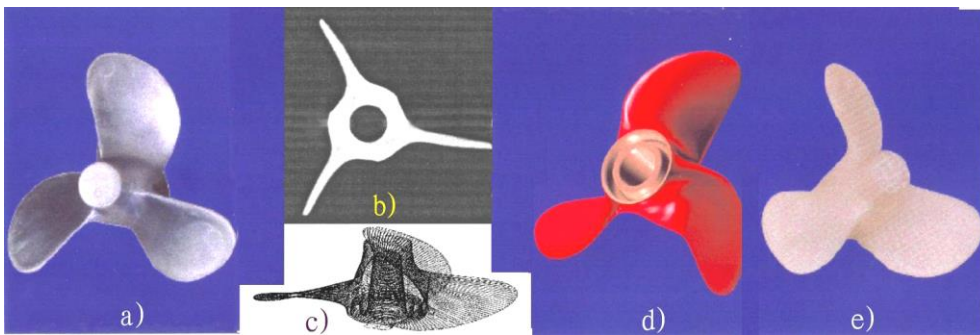


图 12-1 用 CT 数据文件复原机器零件

a)螺旋推进器零件 b) CT 所得断面二维图象 c) 二维图象组合 d) 三维几何模型 e)SLA 模样

2. 制作模具(压型)和其它工艺装备^{[2][3]}

用快速成形方法制作精铸模具具有两种方法:一种是先制成母模,再翻制环氧树脂或硅橡胶压型;另一种方法是 CAD 系统中生成的压型型块的三维几何模型直接输入快速成形机制成树脂压型。这类压型主要适合小批量生产(几十件)。如果在母模表面喷涂约 2mm 厚的金属层,并在其后充填环氧树脂制成金属-环氧树脂复合压型,可以满足生产数百件精铸件的要求。采用 SLS 法时如将加工对象由树脂粉末换成表面带一薄层热固性树脂的钢粉,用激光烧结成压型,再焙烧以除掉树脂,最后将铜液渗入压型的孔隙中。由此所得的压型在强度、导热等方面的性能与金属相似。除此之外,快速成形技术还可用于制作某些形状不规则的胎具。

3. 直接制作铸型浇铸铸件

20 世纪 90 年代初美国 Sandiana 国家实验室开展了一项名为快速铸造(FastCAST)的专门研究，被命名为直接型壳铸造法(DSPC)。遗憾的是，后来很少再见报道。

1994 年美国 Z Corporation 开发成功三维打印技术 3D Printing。该项技术最初由麻省理工学院 Ely Sachs 教授发明并拥有专利权。其基本原理与 SLS 法相似，先用滚筒喷铺一层耐火材料或塑料粉末。跟 SLS 不同的是，它不是驱动激光发射头，而是驱动喷墨打印头，按照制品的截面形状喷射胶水‘打印’。重复以上动作，直至零件制作完成，故被命名为‘三维打印技术’。其优点是，运行费用和材料成本低，速度快。如果喷铺的粉末是石膏和陶瓷的混合粉末，即可直接快速制成铸型（石膏型），用于浇铸铝、镁、锌等有色合金铸件，称之为 ZCast（图 12-2）。



图 12-2 Zcast 法制作的石膏型和铝合金铸件

二. 常用快速成形方法应用效果比较

目前实际生产中较流行的快速成形方法有立体平板印刷法(SLA)、选区激光烧结法(SLS)、熔融堆积法(FDM)、层合物制造法（LOM）和直接型壳铸造法(DSPC)等。近年来，国外不少研究机构从制作模样的质量和在熔模铸造中的表现等方面，对上述方法进行了比较，结果如下：

- 1) 制成模样的尺寸精度 SLA 法最高，SLS 和 FDM 次之，LOM 法最低^[4]。
- 2) 模样表面粗糙度 模样表面经打磨精整后用表面粗糙度仪测量，结果见表 12-1^[4]。可见表面粗糙度以 SLA 和 LOM 法较细，FDM 法最粗。
- 3) 再现精细部位的能力 以齿间距约 3mm 的齿条为对象考察这四种方法复制精细部位的能力。结果以 SLA 最佳，FDM 最差^[4]。
- 4) 在熔模铸造中的表现 上述四种方法中，制品本身就是蜡模的方法(如 FDM 或 SLS)，很容易适应熔模铸造工艺的要求，无疑表现较好。而树脂或纸制模样尽管也可燃烧掉，但毕竟不象蜡模那样容易适应熔模铸造的要求，需要不断改进，以趋利避害。

表 12-1 模样表面粗糙度的比较 (单位: μm)

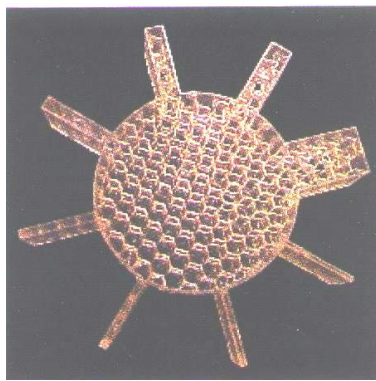
测量部位	LOM	SLS	FDM	SLA
水平面	1.5	5.6	14.5	0.6
斜面	2.2	4.5	11.4	6.9
垂直面	1.7	8.2	9.5	4.6

从总体看, SLA 法尽管与熔模铸造工艺也还有某些不适应之处, 但由于制成的模样尺寸精度和表面质量好而倍受青睐, 在国外, 特别是航空航天和军工部门的熔模铸造企业应用相当广泛。SLS 法模样质量虽较 SLA 略逊一筹, 但容易适应熔模铸造的工艺要求, 所以, 国内熔模铸造中应用越来越多。FDM 法尽管最容易适应熔模铸造的工艺要求, 但制成蜡模的尺寸精度和表面质量尚不尽如人意; 而 LOM 法虽模样质量尚可, 但难以适应熔模铸造, 因此, 目前前后二种方法在熔模铸造中推广应用均受到一定限制。

三. 熔模铸造中应用 SLA 和 SLS 的新进展

1. 新型光固化树脂^{[5][6]}

SLA 法早在 1987 年就已商业化了, 它最初是被用来制作实体模型和具有一定功能的样件。20 世纪 90 年代初期, 美国 3D System Inc 的 QuickCast 软件开发成功, 使 SLA 快速成型机能够制作出内部呈蜂窝形结构(图 12-3a)而外表仍保持光滑致密的精确模样(图 12-3b), 不仅节省了 90% 的制模材料, 而且在焙烧型壳的时候, 模样首先向内坍塌而不致将型壳胀裂。除此之外, 人们逐步发现, 对于制模用光固化树脂来说, 还需要满足以下一些特殊要求:



a) SLA 模样内部的蜂窝结构



b) SLA 模样

图 12-3 具有蜂窝结构的 SLA 模样

- 粘度——如果树脂粘度太大, 模样制成后内腔中剩余的树脂很难排尽, 残存树脂过多, 仍有可能在焙烧时将型壳胀裂, 因而往往不得不采用离心分离等措施。另外, 制成的模样表面也很难擦净。
- 残留灰分——这也许是最重要的要求, 如果型壳焙烧后残留灰分多, 将导致铸件表面产生非金属夹杂及其它缺陷。
- 重金属元素含量——这对于铸造高温合金特别重要。例如铈在 SLA 光固化树脂中就是一种较为常见的元素, 如果它出现在型壳焙烧后的残灰中, 就可能污染合金, 甚至使铸件报废。
- 尺寸稳定性——在整个操作过程中模样尺寸都应保持稳定, 为此, 树脂的吸湿性低也是非常重要的。

近年来, 美国 DSM Somos 公司研制成功一种新型的光固化树脂 Somos 10120, 满足了上述主要要求, 颇受精铸生产厂家青睐。这种新产品已在三个不同精铸厂铸造了三种合金(铝、钛和钴钨合金), 取得了满意的效果^[6]。

2. 采用 SLA 模样进行小批量生产

采用 SLA 模样小批量生产精铸件需要考虑 2 个主要问题: 一是模样和铸件所能达到的尺

寸精度，二是生产成本和交货期是否具有优势。美国 Solidiform、Nu-Cast、PCC、Uni-Cast 等多家精铸厂，采用 SLA 模样铸造了数百个铸件，实际测量铸件尺寸后，统计分析表明，采用 DSM Somos 公司新开发的 11120 光固化树脂和 QuickCast 技术，制成的 SLA 模样，尺寸偏差^[7]不超过铸件公差值的 50%。绝大多数铸件尺寸符合公差要求，合格率达 95% 以上（图 12-4）。

尽管制作一个 SLA 模样的成本要比制作相同蜡模高得多，耗费时间也要长一些，但不需要设计制造压型，所以，在单件小批量生产时，在成本和交货期方面仍具有优势。铸件越复杂，这种优势越明显。以 Nu-Cast 公司生产的形状复杂的航空精铸件为例（图 12-5）^[7]，其模具制作费用约 85000 美元，每天生产 4 个蜡模，每个蜡模成本费（含材料和人工）150 美元。如果采用 SLA 法，每个 SLA 模样成本 2846 美元，但不需要设计制造模具。由此算出，如果产量小于 32 件，采用 SLA 模成本低于蜡模；超过 32 件，则成本高于蜡模（图 12-6）；使用蜡模，设计制造模具需耗时 14~16 周，而 SLA 模不需要模具。因此，如果产量少于 87 件，采用 SLA 模，交付铸件比蜡模快（图 12-7）。但超过 87 件，则采用蜡模更快^[7]。另一个需要考虑的因素是，如果采用蜡模，当产品更新换代时，模具需要重新制作，付出代价大；而采用 SLA 模样，需要做的只是更改 CAD 几何模型，比重新制作模具简便快捷得多。

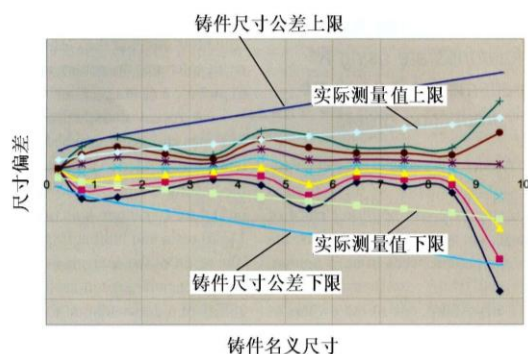


图 12-4 SLA 模样实际尺寸与铸件公差带对比

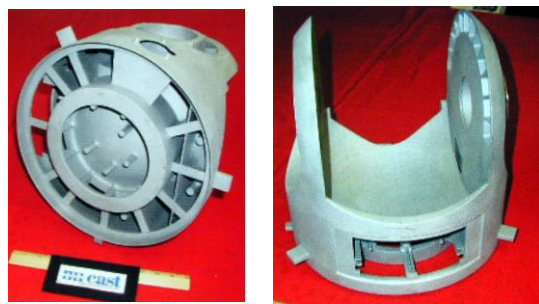


图 12-5 Nu-Cast 公司生产的航空精铸件

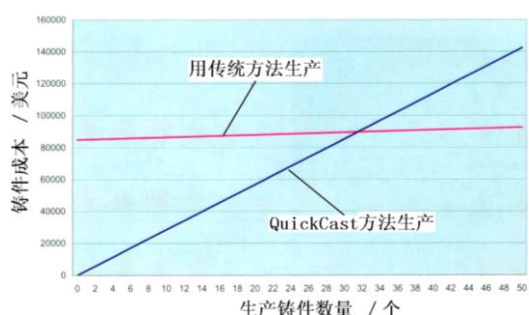


图 12-6 二种不同方法生产铸件总成本比较

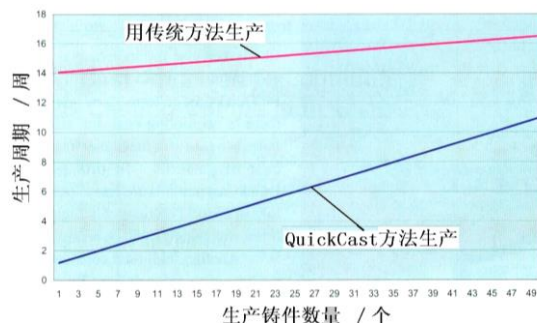


图 12-7 二种不同方法铸件生产周期比较

3. SLS 烧结聚苯乙烯粉末浸蜡模样

SLS 最初是用激光将特制的蜡粉烧结成蜡模，很适合熔模铸造的工艺特点，早在 1990 年底，美国已有超过 50 家铸造厂，生产多达约 3000 个蜡模，并成功铸出多种金属铸件。然而，蜡粉并不是最理想的制模材料，由它制成蜡模的强度不足，气温高时易软化变形，气温低时又容易碎断。因此，1990 年代初期，美国一些 SLA 用户就尝试采用聚苯乙烯(PS)或聚碳酸酯(PC)等热塑性塑料粉末代替蜡粉。此类材料制成模样疏松多孔(孔隙率达 25% 以上)，减轻了脱

模时胀裂型壳的危险，型壳焙烧后灰分少，但模样表面粗糙。因此，模样制成后需要浸蜡和手工打磨精整，使其表面光滑致密。目前这种方法已在国内外普遍应用。图 12-8 所示为北京隆源自动成型系统有限公司用 SLS 法烧制成的聚苯乙烯粉末浸蜡模的部分典型实例。

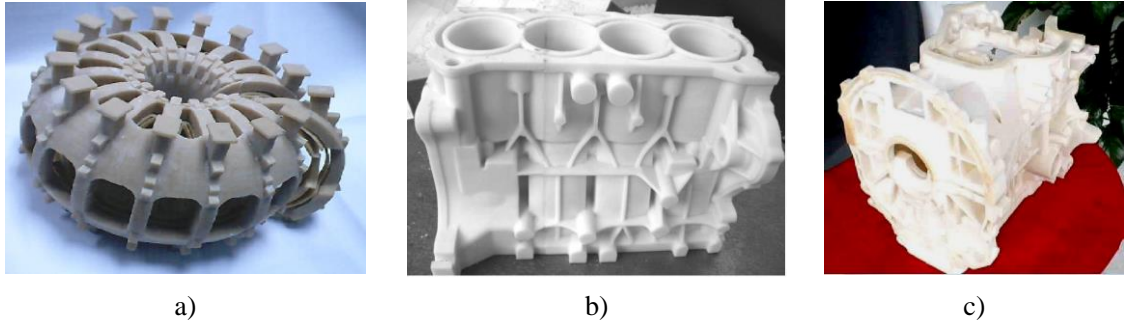


图 12-8 SLS 聚苯乙烯粉末浸蜡模（北京隆源自动成型系统有限公司提供）
a)等离子发生器 b)汽车发动机缸体 c) 发动机缸体

参 考 文 献

1. Pedro Egizabal. Study Shows Implementation of New Technologies in the European Investment Casting Sector. INCAST 2004(11):20~23
2. Robert N. Integration of Reverse Engineering Solidification Modeling and Rapid Prototyping Technologies for The Production of Net-Shape Investment Cast Tooling. Proceedings Of The 43th Annual Technical Meeting on Investment Casting., USA. 1995, 21:1~9
3. Michael Hascher. Rapid Prototyping And Rapid Manufacturing For The Modern Investment Caster. Proceedings Of The 49th Annual Technical Meeting On Investment Casting, USA. 2001, 18:1~18:9
4. Tony Riek. Comparing Rapid Prototyping Patterns For Investment Casting - An Australian Investigation. Proceedings Of The 9th World Conference On Investment Casting. San Francisco, USA. 1996, 20:1~20:11
5. Curtis Wahleren, Suresh Jayanth, Tom Mueller. Dimensional Issues With Investment Casting Patterns Made By Stereolithography. Proceedings Of The 48th Annual Technical Meeting On Investment Casting., USA. 2000, 3:1~3:9
6. Charles Kaufmann. Investment Casting Trial Studies Examine Significant New Developments In Stereolithography Resins. INCAST 2002(11): 12~15
7. Tom Mueller. Rapid Prototyping Technology ——The Changing The Economics of Low-Volume Investment Casting. INCAST 2004(10): 11~15