

# 金属注塑模具快速制造实验研究

李 艳,白培康

(中北大学材料科学与工程学院,山西 太原 030051)

**摘 要:** 本文首先介绍了本次实验所采用的选择性激光烧结方法的原理,在此基础上,详细介绍了覆膜金属粉末的制备,并对金属注塑模具快速成型工艺及后处理实验技术进行了研究。

**关键词:** 选择性激光烧结;快速制造;金属粉末

## Experiment Study on the Rapid Manufacturing of Metal Injection Mold

Li Yan,Bai Pei kang

(College of Materials and Science Engineering North University of China Shanxi Taiyuan 030051)

**Abstract:** This paper firstly introduced the principle on Selective Laser Sintering about this experiment, on this basis preparation for polymer-coated metal powder is described in detail, and the rapid prototyping technology and experimental technique on metal injection mold are researched.

**Keywords:** Selective Laser Sintering;Rapid manufacturing;Metal powder

### 1 序言

本次试验所采用的是选择性激光烧结,实验仪器是华北工学院(现为中北大学)生产的SLS激光快速成型机。选择性激光烧结(SLS)是较为常用的快速成型方法,以二氧化碳激光器为能量源,通过红外线激光束将塑料、蜡、陶瓷和金属或它们复合物的粉体烧结形成实体零件。

SLS激光烧结工艺原理如图1所示。成形过程开始,铺粉滚轮将粉末均匀地铺在加工平面上,激光束在计算机的控制下通过扫描以一定速度和能量密度扫描。激光束的开关与成形零件的第一层信息相关。激光束扫过之处,粉末烧结成一定厚度的实体片层,未扫过的地方仍是松散的粉末,这样零件的第一层就制造出来了。这时成形活塞下移一定距离,这个距离与设计零件的切片厚度一致。

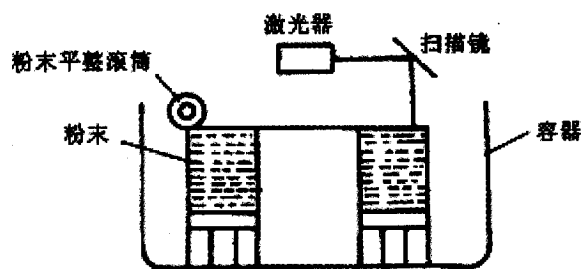


图1 SLS激光烧结工艺原理图

铺粉滚筒再次将粉末铺平后,激光束开始依照设计零件的第二层的信息扫描。激光扫过之后,所形成的第二个片层同时也烧结在第一层上。如此反复,一个三维实体就制造出来了。SLS成形过程中,粉末本身作为成形实体的支撑,因此不必制

造工艺支架,可以成形几乎任意形状的实体模型,特别适合制造复杂结构的零件,尤其是铸造模型。由于成形材料的多样性,为快速精密铸造提供了多种选择性。比如可用蜡直接制作精铸易熔蜡模,用热塑性塑料制作的模型称为消失模,用陶瓷制作铸造型壳和型芯等。

## 2 实验目的

(1) 研究铺粉厚度、预热温度、激光束参数对烧结成型性能的影响;

(2) 用正交实验法得到最佳烧结工艺参数;

(3) 通过实验研究得出金属激光快速成型件后处理工艺最佳参数,并制成符合使用要求的金属注塑模具。

## 3 覆膜金属粉末制备

### 3.1 SLS 的金属粉末组成

金属粉末的选择性激光烧结方法,按其金属粉末的组成情况,可分为三种:

1) 金属粉末为单一的粉末,例如铁粉、不锈钢、铜粉、锌粉等等。在进行激光烧结时先将金属粉末预热到某一温度稍低于金属粉末的熔点温度后,再用激光束进行选择扫描烧结。经过激光烧结的零件已具有相当的机械强度,若再经过一系列的后处理,可使零件达到相当高的强度,也可使零件的机械性能大大提高。

2) 金属粉末为两种低熔点金属粉末的混合物。如青铜粉和镍粉、铜粉和锡粉的混合粉末等。对这种混合粉末进行激光烧结时,先将金属粉末按一定的比例均匀混合,并将混合粉末预热到一定的温度(一般是稍低于熔点较低的金属粉的熔点温度),然后再用激光进行选择扫描烧结。将熔点较低的金属粉末熔化,从而使两种金属粉粘结在一起。经过烧结后的零件强度较低,需要经过后处理(如液相烧结等)。经过后处理的零件相对密度可达到82%,机械强度也相当高。

3) 金属粉末是由金属粉和有机粘结剂混合而成的。按一定的比例将一种或几种有机物的粉末合金金属混合起来,做成覆膜金属粉。然后进行激光选择性扫描烧结,使有机物熔化把金属粉末粘

结起来。这样烧结的零件有机物被烧结后留下大量的毛细孔,机械强度不高,而且零件外观也不美观。从而需要进行大量的后处理工序,如进行高温烧结进行脱脂,使零件达到一定的机械强度,然后进行渗金属、表面处理等。

### 3.2 金属粉末的选择

本次实验所采用的制模材料选择用不锈钢粉304,目数300目。在不锈钢粉末中加入树脂充分混合、包覆,形成覆膜材料。改变加入的不锈钢粉和树脂的比例制备成3个组分。

组分	配 比 (%)		
	不锈钢粉	热熔胶类树脂	其它填料/助剂
1	95	4.5	0.5
2	94	5.4	0.6
3	93	6.3	0.7

制备步骤:

(1) 将组分3粉碎成小块,加入足量的四氯化碳将其有效的溶解;将不锈钢粉、组分1和组分2进行充分的机械混和,然后将混和物加入溶有热熔胶的四氯化碳中,进行充分的搅拌,直至成为均匀的糊状,将糊状物在容器中铺平、凉干。

(2) 待四氯化碳部分挥发后将混和物切成小块,放入干燥箱内干燥,干燥温度为45℃。

(3) 干燥时间4~6h,干燥后将混和物取出,在研磨机内研磨,由于包覆材料在室温下韧性较大,通过常规粉碎方法难以得到粒度较小的粉末材料,故采用液氮深冷低温粉碎法,可以获得粒度合适,适于激光烧结的金属粉末。将研磨后的覆膜金属粉过160目筛,完成覆膜金属粉的制备。

## 4 金属注塑模具快速成型工艺研究

### 4.1 实验条件

覆膜金属粉末的激光烧结成型实验在HLP~350I激光烧结成型机上进行,其主要技术参数为:

最大成型尺寸:  $\phi 350\text{mm} \times 400\text{mm}$   
 成型精度:  $\pm 0.15 \text{ mm}$   
 激光源: 30W Synrad CO<sub>2</sub> 激光器  
 激光束最大扫描速度: 2500mm/s

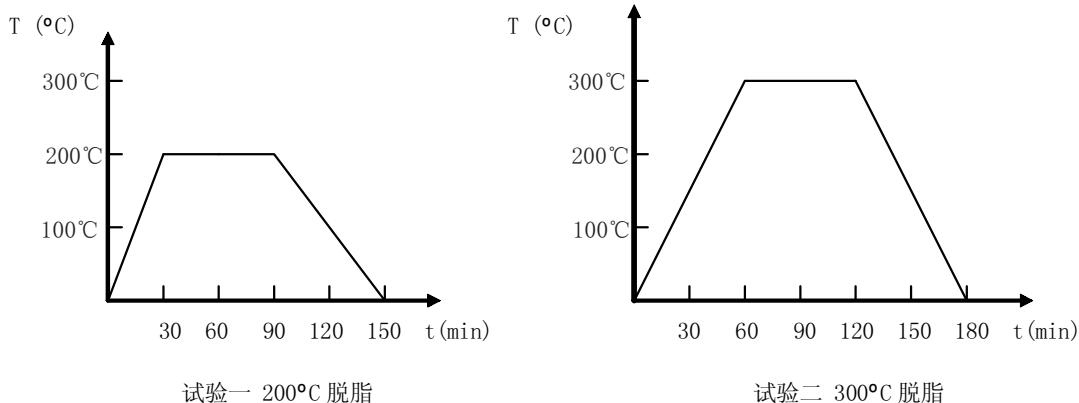


图 2 脱脂工艺温度时间曲线

控制系统: Pentium 4 工控机

输入文件格式: STL

#### 4.2 激光烧结

为防止样件烧结成型时底部推移,一般烧结之前要先进行打底。第一层的烧结时一般采用大功率、小扫速扫描的方法,以后逐渐减小功率、增大扫速。起初功率定在 25W 左右,扫速选为 800mm/s,多次扫描,以后功率逐渐减小,而扫描速度逐渐升高。然后如前所述逐层烧结,最后使零件成型。

### 5 后处理实验技术研究

覆膜金属粉经激光烧结后,通过有机树脂的融化和在颗粒间渗入把粉末颗粒粘接在一起,这时的烧结件呈低密度多孔状结构,使得零件的力学性能较差,相对密度低,因此零件必须经过后处理(脱脂、高温烧结、渗金属),使其机械性能和热学性能通过后处理进一步提高,相对密度达到 95% 以上方能直接使用。国外对 SLS 的后处理工艺研究较多,有关资料的研究结果表明,目前主要采用的后处理方法主要有以下四种:即热等静压(HIP)法;液相烧结(LPS)法;高温烧结及熔浸法。

#### 5.1 技术路线

成型后再经过脱脂、预烧结、渗金属的后处理方法,使成型件的强度满足使用要求。

方案一:①脱脂 ②预烧结 ③高温烧结

方案二:①脱脂 ②预烧结 ③渗金属

#### 5.2 脱脂工艺

脱脂过程就是把激光烧结件中的粘接剂利用高温将它分解挥发掉,并且在烧结过程中金属粉末间彼此熔合,减少孔隙的尺寸和数量,从而提高工件的强度。本次实验是把快速成型机里烧好的金属件在真空炉里加热到一定温度并保温一定时间,脱掉金属件里所含的树脂为下一步工艺做好准备。实验要求找出最合理的加热温度及加热时间以保证构件在不变形、不损坏的条件下脱尽树脂。脱脂试验温度时间曲线如图 2 所示。

实验过程:把要进行预烧结的金属成型件小心的放入真空炉里,注意一定要轻拿轻放,因为此时的金属件非常疏松,很易损坏。然后缓慢升温设定温度,进行保温,使覆膜树脂完全脱去,并使成型件保持形状,然后进行缓慢降温,降温过程不能太快,否则易发生变形或裂开等缺陷。

实验结果表明在 300°C 时金属件脱脂比较完全,效果比较好,而且成型件没有变形和损坏,证明升温速度比较合理。故在实验二的条件下实验合理。

#### 5.3 预烧结工艺

把脱脂后的金属件在真空炉里加热到一定温度,使其具有一定强度及硬度,为下一步工作做好

准备。实验要求找出最合理的加热温度及加热时间,使构件达到一定的强度及硬度要求并保证构件不变形不损坏。

烧结过程:把脱过脂的金属件小心的放入真空炉里,经 3h 缓慢升温到 1000℃,升温速度不能太快以免件发生裂纹等损坏,然后保温 3h,使件充分烧结,达到实验要求,保温完毕后用至少 4h 时间降温,降温一定不能快,否则件易发生变形,烧结过程总体时间大约 10h 左右。预烧结工艺试验温度时间曲线如图 3 所示。

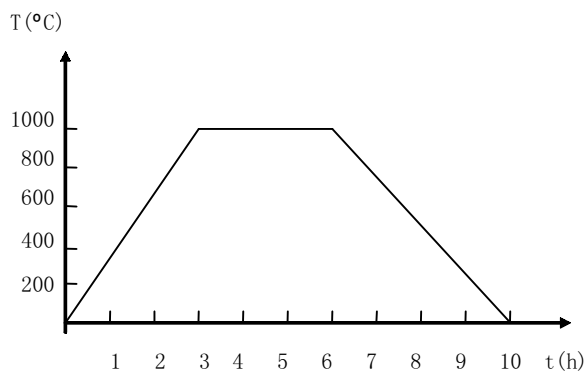


图 3 预烧结工艺温度时间曲线

经过预烧结后的件,硬度和强度达到了进行下一步实验的要求,不易捏碎,没有变形和损坏,可以进行下一步的高温烧结和渗金属实验。

#### 5.4 高温烧结工艺

激光烧结的覆膜金属烧结件是一种不稳定的材料,它和其它材料的主要区别是含有众多的孔隙,把预烧结后的金属件放在真空炉里加热到接近其熔点并保温一定时间,使孔隙收缩并最终消除,最后使金属件能具有良好的金属性能,达到所需的要求。实验要求找出最合理的烧结温度及烧结时间,使构件达到所要求的强度、硬度和精度。

烧结过程:把预烧结过的金属件小心的放入真空炉里,经 3h 缓慢升温到 1300℃,升温速度不能太快以免件发生裂纹等损坏,然后保温 3h,使件充分烧结,达到实验要求,保温完毕后用至少 4h 时间降温,降温不能太快,否则件易发生变形,烧结过程总体时间大约 10h 左右。高温烧结工艺试验温度时间曲线如图 4 所示。

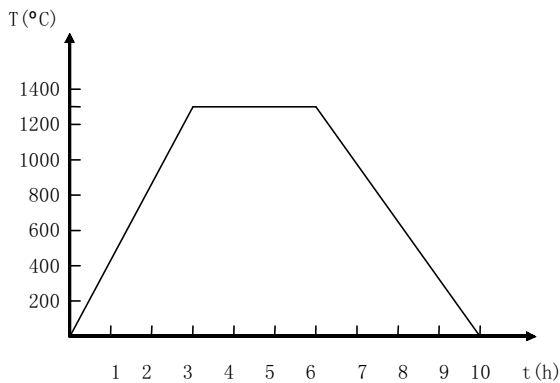


图 4 高温烧结工艺温度时间曲线

结果分析:高温烧结后的金属件没有损坏变形,经测试强度和硬度达到了使用要求,结果表明此高温烧结工艺比较合理。

#### 5.5 渗金属工艺

提高烧结材料力学性能的最有效途径之一是消除或减少残留孔隙。熔渗法是将熔点低于烧结材料的合金或金属,于液态下熔渗于烧结材料内部孔隙中的一种方法。利用熔渗法可以大大减小烧结材料的孔隙度,且可使熔渗金属和被熔渗烧结材料互相合金化,烧结材料的力学性能显著提高,达到所要求。

## 6 结论

(1)配置了覆膜不锈钢金属粉,并利用变长线扫描快速成型机(HLRP-350I)进行了烧结成型实验;

(2)通过大量实验研究,得到了覆膜金属粉末激光烧结成型的最佳工艺参数:激光功率为 15W,扫描速度为 1000 mm·s<sup>-1</sup>,铺粉厚度为 0.10 mm,粉末颗粒尺寸为 46 μm。在此工艺条件下,激光烧结成型件密度为 2.321g/cm<sup>3</sup>。

(3)通过实验研究,找出了金属激光快速成型件后处理工艺最佳参数。包括脱脂、预烧结、高温烧结和渗金属。激光烧结成型件经后处理性能得到大幅度提高,其中高温烧结件抗拉强度 205MPa,延伸率 12%;渗金属件抗拉强度 290 MPa,延伸率 8%。该项技术可用于注塑模、铸模等金属模具及零件的快速制造。

(下接第 51 页)

极富光泽的色彩为青铜器增添了几多富丽和华贵。

### 3.2 镶嵌红铜

红铜镶嵌的具体做法有两种，一种是用煅制的铜丝或铜片嵌入纹槽内，称为“镶嵌法”，属于机械法成形，在铜器表面预先铸出浅槽的花纹图案，纹槽必须是口沿表面窄，底面略宽，横断面呈梯形，然后将红铜锤成薄片、长条或铜丝压入预铸的纹槽中错磨而成。还有的根据纹饰要求，将红铜窄条薄片盘绕嵌入，从表面看似密致的同心层状纹。小田溪战国墓葬出土的那件铜壶就有这样的纹饰，镶嵌坚固，可见技艺之高超。

另一种用预铸的花纹铜片安放在铸型内，浇铸时嵌在器表，称为“铸镶法”。曾侯乙墓下层甬钟和盨的红铜花纹就是这样制作的<sup>[9]</sup>。

### 3.3 镶嵌绿松石

关于绿松石的镶嵌方法，据石璋如研究，第一应是器物上先铸成阴纹的纹饰，第二是按照纹饰的规格制作不同形状的绿松石片或块。镶嵌绿松石片或块时用粘接剂，其成分有可能使用一种树脂，因树脂为有机物，埋在地下日久即腐朽失去粘接的作用。故发掘出土的镶嵌绿松石的器物，纹饰中的绿松石常有脱落现象，亦有学者指出，粘接剂据观察可能是漆或桐油之类的物质。绿松石在嵌于器表后一般要经过磨错，使之平滑。

镶嵌玉和其他宝石的工艺与镶嵌绿松石的工艺基本相同。

#### 参考文献

- [1] 马承源主编. 中国青铜器. 上海:上海古籍出版社,1988年
- [2] 吴来明. 中国古代金属着色技术概论. 上海博物馆文物保护科学论文集. 上海:上海科学技术文献出版社,1996:161-167.
- [3] 刘洪涛编著. 中国古代科技史. 天津:南开大学出版社出版,1991:42.
- [4] 叶小燕. 我国古代青铜器上的装饰工艺. 考古与文物. 1983(4):84-94.
- [5] 廉海萍. 中国古代铸造技术概述. 上海博物馆文物保护科学论文集. 上海:上海科学技术文献出版社,1996:136-137.
- [6] 侯介仁. 秦陵铜车马中镶嵌工艺的使用. 西北农大学学报. 1995(S1):85-88.
- [7] 朱凤翰著. 古代中国青铜器. 天津:南开大学出版社出版,1995:544-553.
- [8] 华觉明等著. 中国冶金史论集. 北京:文物出版社,1986:44.
- [9] 笑宇. 中国古代青铜装饰工艺. 金属世界. 1996(2):29.
- [10] 蒋素华. 中国古代青铜器的瑰宝——重金络壶. 特种铸造及有色合成. 2000(2):57-58.
- [11] 精美的图画——金银错壶. 金属世界. 2004(4):55.
- [12] 陕西省博物馆,陕西省文物管理委员会.《陕西岐山贺家村西周墓葬》.《考古》.1976(1).
- [13] 张晓芬. 错金银铜壶. 金属世界. 1998(6):1.
- [14] 史树青. 我国古代的金错工艺. 文物. 1972(6).

(上接第37页)

#### 参考文献

- [1] 刘书华. 快速成型制造技术. 新技术新工艺,2000(3)
- [2] 杨家林,王洋,陈杨. 新技术新工艺,2003(1)
- [3] 郭九生. 基于激光快速成型的快速工 / 模具制造. 金属成型工艺,1998(3)
- [4] 颜永年等. 快速成型技术的功能集成研究. 中国机械工程,1997
- [5] 莫健华,李湘生. SLS成型机的粉末预热过程研究. 华中科技大学学报,2001.2(2)
- [6] 马黎,肖跃加. 快速成型在新产品开发中的应用. 锻压机械. 1998(5)
- [7] 于一定. 金属模具设计. 吉林人民出版社,1980.1
- [8] Singh Nana. system Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing. John Wiley and Sons, Inc., 1996
- [9] Menges G, Morhen P. How to Make Injection Moulds. Hanser Publishers, 1986. ISBN 344613 6665
- [10] Xu Xiarong, Sachs E, Allen S, Cima M. Designing conform-

- mal cooling channels for tooling. Proceedings of the 9th SFF Symposium, Austin, Texas, USA, August 10-12, 1998: 131-146.
- [11] Junich I Kurokaw a, Kajunari M atsumo to, et al. Development of high efficiency volute pump of very low specific speed. In: The Sixth Asian Int. Confon Fluid Machinery, Beijing, 2000. 250~255
- [12] Kelder J D H, Dijkers R J H, van Esch B P M, et al. Experimental and theoretical study of the flow in the volute of a low specific speed pump. Fluid Dynamics Research, 2001(28):267~280
- [13] Yasushi Tatebayashi, Han Hai, Toshio Kobayashi. A 32D simulation of flow in a screw type centrifugal pump with tip clearance. In: the Second International Symposium on Fluid Machinery and Fluid Engineering. Beijing, 2000. 608~615