

文章编号: 1001-3806(2010)04-0561-04

## 激光能量密度对尼龙 12/HDPE 制品尺寸的影响

任乃飞, 罗艳, 许美玲, 顾佳方, 江杰  
(江苏大学 机械工程学院, 镇江 212013)

**摘要:** 为了研究激光能量密度对尼龙 12/高密度聚乙烯(HDPE)制品尺寸的影响,基于选择性激光烧结快速成型技术,利用 CO<sub>2</sub> 激光对尼龙 12/HDPE 粉体材料进行了激光烧结成型试验,并用扫描电镜分析了烧结层中尼龙 12/HDPE 的显微组织。结果表明,随着激光功率/扫描速率( $P/v$ )的增加,烧结件的翘曲量逐渐增大;较佳的成型激光能量密度为  $P/v = 0.8\%$ ,此时的翘曲量约为 0.4mm。该结果对复合尼龙粉末的激光烧结的研究是有帮助的。

**关键词:** 激光技术; 选择性激光烧结; 激光能量密度; 翘曲量; 致密度

**中图分类号:** TF124;TQ327.8 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1001-3806.2010.04.034

### Effect of laser energy density on the dimension of nylon12/HDPE product

REN Nai-fei, LUO Yan, XU Mei-ling, GU Jia-fang, JIANG Jie

(School of Mechanic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** In order to discuss the effect of laser energy density on the dimension of nylon12/HDPE (high density polyethylene) product, experiments of sintering nylon12/HDPE were carried out with CO<sub>2</sub> laser based on the selective laser sintering technology. The microstructure of laser-sintering nylon12/HDPE was examined by means of scanning electron microscopy. It is concluded that warping will increase with the ratio of power/velocity( $P/v$ ) increasing. Optimum laser energy density  $P/v = 0.8\%$  while warping is about 0.4mm. This study is helpful to sinter the composite of nylon powder.

**Key words:** laser technique; selective laser sintering; laser energy density; warping; sintered density

### 引言

选择性激光烧结(selective laser sintering, SLS)是一种用粉末直接制备零件的一种快速成型技术。它有着运用材料广泛、小批量生产成本低、制造周期短等优点。在大多数研究中,成型粉主要集中在金属、陶瓷及非晶塑料基材体系<sup>[1-2]</sup>。一些学者对选择性激光烧结基本成型工艺进行了研究,如 GIBSON 等人<sup>[3]</sup>研究了选区激光烧结工艺参量对尼龙件性能的影响;GU 等人<sup>[4]</sup>研究了激光功率、扫描速率、扫描间距及铺粉厚度等单因素工艺参量对铜基合金烧结组织及性能的影响;HO 等人<sup>[5]</sup>认为烧结试件的体积密度和拉伸性能随着能量密度的增加而提高。ZHANG 等人研究了选区激光烧结中能量密度对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PS 复合材料致密度和显微结构的影响。

选择性激光烧结实质上是粉末材料依靠从激光处吸收的能量来使自身温度升高,使其熔融、固化,从而

达到成型的目的。烧结温度主要取决于表面粉末材料从激光能量里吸收的部分能量,这部分能量向粉末内部热传导。激光所能产生的能量有与激光束参量有关,如激光功率  $P$ ,扫描速率  $v$  和扫描间距等有关<sup>[6]</sup>。有学者<sup>[7]</sup>在研究激光功率、扫描速率等工艺参量对成型件性能影响时提出,激光功率和扫描速率对成型件质量的影响是等效的,即小功率、低速度和大功率、高速度对成型件质量的影响是等效的。

尼龙是选择性激光烧结材料的一种,属于聚酰胺类,是一种半结晶性聚合物,熔融粘度低,具有良好的综合力学性能,热稳定性较好,与其它尼龙产品相比具有更低的熔融温度,更小的吸水率和成型收缩率<sup>[8]</sup>。高密度聚乙烯(high density polyethylene, HDPE)是一种结晶度高、非极性的热塑性树脂,具有良好的耐热性和耐寒性,化学稳定性好,还具有较高的刚性和韧性,机械强度好<sup>[9]</sup>。

非商业用途的聚合物和聚合物的混合物的使用使得选择性激光烧结件的性能方面得到了很大的提高<sup>[10-11]</sup>。聚酰胺和聚乙烯的混合物由于其在化学性能、热能和机械性能方面的优越性而得到广泛的应用,如低温时的韧性和低的摩擦系数<sup>[12]</sup>。SALMORIA<sup>[10,13]</sup>等人研究了不同的尼龙 12/HDPE 混合粉末

作者简介:任乃飞(1964-),男,教授,博导,主要从事激光冲击强化、逆向工程与快速制造技术、数字网络化制造、光子制造与测试等方面的研究工作。

E-mail: rnf@ujs.edu.cn

收稿日期:2009-08-31;收到修改稿日期:2009-10-23

的成分比对制件的弹性、塑性的影响及其微观结构特性。在SALMORIA的研究中,并未加入相容剂,因为尼龙12与HDPE的极性不同,这样就使得两种材料的相容性不好,对制件的性能会有很大的影响。作者在SALMORIA等人研究的基础上,在混合粉末中加入相容剂,根据在烧结过程中,成型粉末与激光作用的机制,研究了在其它条件不变的情况下,激光功率和扫描速率的比值对对烧结试件收缩的影响及其规律。

## 1 实验部分

### 1.1 实验材料

尼龙12粉末:200目(法国阿托公司产品);HDPE:60 $\mu\text{m}$ (上海阳励机电科技有限公司);相容剂:马来酸酐接枝聚烯烃HD900E,料粒(南京华都科技实业实业有限公司)。

### 1.2 实验设备

快速成型机为HRPS-III A型(武汉滨湖机电技术产业有限公司);高速混合机为SHR系列(江苏省张家港市鸿运机械制造有限公司)。

### 1.3 实验步骤

1.3.1 粉末制备 相容剂料粒经低温冷冻、粉碎、过筛,得到相容剂粉末。将质量比为90/10的尼龙12/HDPE复合粉末中加入适量的相容剂,放入高速混合机内高速混合,得到均匀混合的粉末。

1.3.2 成型粉末的选区激光烧结 本文中使用的选择性激光烧结系统为武汉滨湖机电技术产业有限公司生产的HRPS-III A型快速成型机。首先,利用3维软件进行建模,激光烧结系统将模型进行切片,再根据每层切片形状对粉末进行激光烧结,其原理如图1所示<sup>[14]</sup>,当一层扫描结束后,工作台下降一层的高度,供

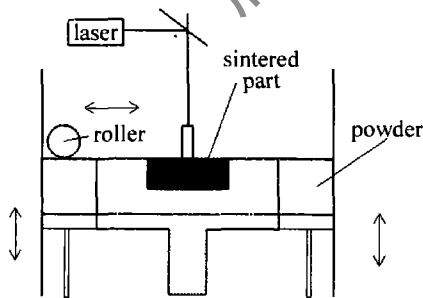


Fig. 1 Schematic principle of SLS

粉筒上升一定的高度,将粉末铺平,再次进行激光束的扫描照射。重复上述过程,层层叠加,直到形成所需的3维实体原型或零件。在整个烧结过程中,无需额外的支撑,未烧结的粉末自然的成为下层的支撑。在整个烧结过程中,将粉末预热到105 $^{\circ}\text{C}$ ,扫描间距为0.15mm,层厚为0.15mm,改变激光功率 $P$ 和扫描速率 $v$ ,在设计参量下进行烧结试验。

1.3.3 测试方法 利用千分尺测量烧结件尺寸,并计算出其翘曲量。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 能量密度与 $P/v$ 值的关系

TEXA大学的NELSON等人<sup>[13]</sup>指出,单位面积激光作用的能量(即能量密度)定义为:

$$ED = P / (\pi v d) \quad (1)$$

式中, $P$ 为激光功率, $v$ 为激光扫描速率; $d$ 为扫描间距。

实验中,扫描间距 $d = 0.15\text{mm}$ ,由能量密度(1)式可知,激光能量密度与激光功率/扫描速率( $P/v$ )值成正比关系,因此能量密度对试件成型质量的影响可近似认为是 $P/v$ 值对试件成型质量的影响<sup>[6]</sup>。

### 2.2 能量密度对制件精度的影响

本文中首先做了试探性的试验,根据试探性试验的结果,分别做了8W,10W,12W 3组不同激光功率的实验,使得激光能量密度的值接近,如表1所示。

Table 1 Table of  $P/v$

power/W	velocity/( $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	(power/velocity)/%
8	800	1
8	900	0.89
8	1000	0.8
8	1050	0.76
10	1000	1
10	1100	0.9
10	1200	0.83
10	1250	0.8
10	1300	0.77
12	1200	1
12	1300	0.92
12	1400	0.857
12	1500	0.8

由图2可看出, $P/v = 1\%$ 时,不同激光输出功率和扫描速率条件下,初始烧结阶段烧结的前几层都发生了严重翘曲,不能成型。这是由于在烧结初始阶段,移动的激光热源在极短时间内加热某一区域的粉末,导致这一局部区域温度快速升高,与周边没有被加热的区域造成很大的温度梯度,冷却时,收缩不均匀,引起翘曲。虽然随着烧结的进行,已烧结部分热量传递给未烧结部分,温度梯度减小,但由于激光能量密度过大,使得温度梯度过大,从而使得烧结初始几层的累积翘曲量过大,超出了单层的厚度,影响的铺粉的正常进行。当 $P/v < 0.77\%$ 时,传递到烧结层的热量太少,未达到烧结粉末的熔点而未成型,还是粉末状态。

可以看出,在激光功率相同的情况下,随着能量密

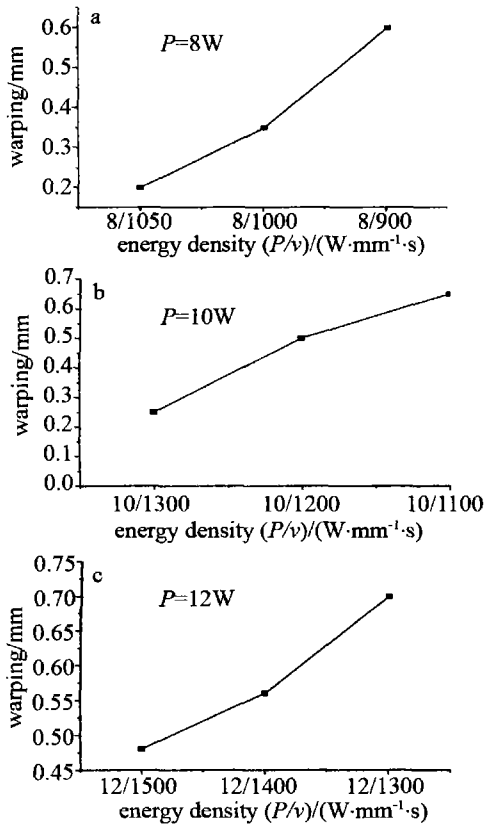


Fig. 2 Effect of energy density on the warping while power is 8W or 10W or 12W

度的增加,烧结试件的翘曲量也逐渐增加,见图2。能量密度小,粉末处于未完全黏流态,熔体的流动性不大,粉末与粉末之间有相当多的孔隙,随着激光能量密度的增加,粉末由未完全熔融变成完全熔融,流动性增加,熔体填充到各个孔隙,使得空隙率减少,密度增加,但试件的致密度并不是一味地增加的,当能量密度足够大的时候,会达到高分子材料的分解温度,使得高分子材料分解,从而降低了试件的密度。因此综合考虑尺寸精度和试件致密度的影响,得出当能量密度为0.8%左右时,此时的能量密度和试件的致密度相配合所烧结的试件的效果最好。

由图3可知,相同的P/v值条件下,不同P和v匹

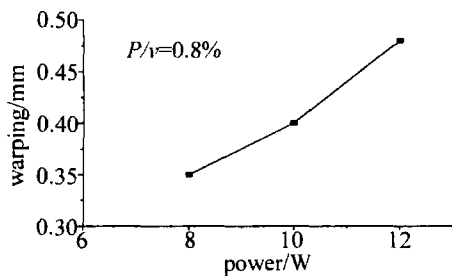


Fig. 3 Effect of power on the warping while energy density is invariant  
 配对烧结件成型形状的影响不同。随着P,v的增大,试件的翘曲量增大,因为随着P和v的同时增加,虽然激光与物质作用的时间变短,但单位时间里所吸收的热量高于P和v较小时所吸收的热量,足以熔融粉末。

图4为激光功率8W、扫描速率900mm/s时,尺寸为50mm×50mm×50mm的烧结件。

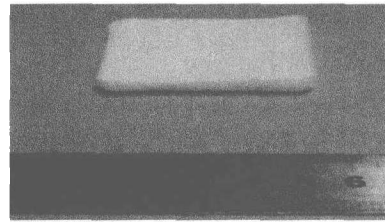


Fig. 4 Sintering part

### 2.3 扫描电镜分析

图5为P/v=8W/1050mm·s<sup>-1</sup>(即P/v=0.77%)

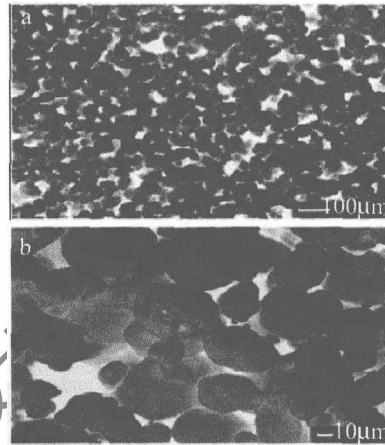


Fig. 5 Cryogenic fracture micrographs of nylon12/HDPE specimens while P/v=0.77%

时的微观结构图,粉末颗粒未完全熔融,粉末只是表面稍微熔化而简单的搭接,粉末与粉末间有相当大的孔隙,还有粉末颗粒存在。随着能量密度的增大,当P/v为8W/1000mm·s<sup>-1</sup>(即P/v=0.8%)时,粉末颗粒的

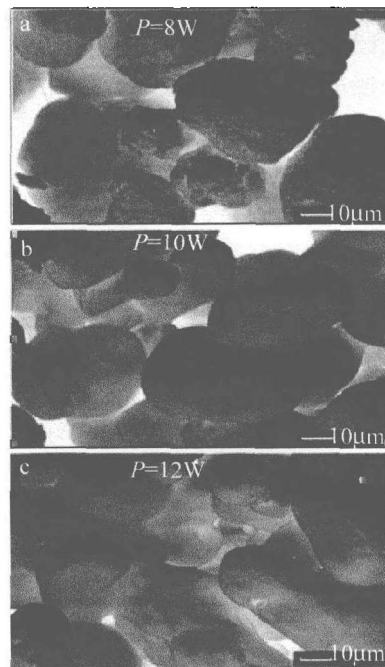


Fig. 6 Cryogenic fracture micrographs of nylon12/HDPE specimens while P/v=0.8%

熔体量增大,颗粒间能较好的熔化而使得试件表面结构较好。随着  $P/v$  值的进一步增加,粉末由不完全熔融状态变成完全熔融状态,孔隙减少,因为流动性增加,融体填充到孔隙中。

图6为  $P/v = 0.8\%$  时不同激光输出功率和扫描速度下烧结试件的显微结构图。从图中可以看到,随着  $P$  和  $v$  的变化,烧结件的显微结构也发生了变化。激光能量密度相同时,随着激光功率的提高,粉末的熔融状态发生了改变,由不完全熔融状态逐步向完全熔融状态转变,使得粉末与粉末之间的孔隙逐渐减少,大大提高了烧结件的致密度,从而对烧结件的强度方面也有很大的影响。

### 3 结论

对尼龙/HDPE 的烧结研究发现,能量密度对烧结件的尺寸精度和致密度都有很大程度的影响。通过对能量密度的研究发现,改变  $P$  和  $v$  时,能使所烧结的试件在尺寸精度和致密度粉末得到优化。

#### 参考文献

- [1] ZHAO J F, LI J X, SHEN Y F, *et al.* Fundamental experimental study on nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  bulk materials produced by selective laser sintering technology[J]. Chinese Journal of Lasers, 2003, 30(12): 1129-1132 (in Chinese).
- [2] DOMACK M S, BAUGHMAN F M. Development of nickel-titanium graded composition components[J]. Rapid Prototyping Journal, 2005, 11(1): 41-51.
- [3] GIBSON I, SHI D P. Material properties and fabrication parameters in selective laser sintering process [J]. Rapid Prototyping Journal, 1997, 3(4): 129-136.
- [4] GU D D, SHEN Y F, WU P, *et al.* Processing conditions of Cu based metal powder in selective laser sintering[J]. Chinese Journal of Lasers, 2005, 32(11): 1561-1566 (in Chinese).
- [5] HO H C H, GIBSON I, CHEUNG W L. Effects of energy density on morphology and properties of selective laser polycarbonate[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 89(90): 204-210.
- [6] ZHENG H Zh, ZHANG J, XU Z F, *et al.* Effects of laser energy density on densities and microstructures of nano- $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{PS}$  composites [J]. Chinese Journal of Lasers, 2006, 33(10): 1428-1433 (in Chinese).
- [7] LI X Sh, SHI Y Sh, HUANG Sh H. Model of scanning laser energy and its distribution in selective laser sintering[J]. Laser Technology, 2003, 27(2): 143-149 (in Chinese).
- [8] PENG X F, SHI Y S, HUANG S H. Research on affecting factors of precision of part made by selective laser sintering[J]. China Metal forming Equipment & Technology, 2005, 23(1): 101-102 (in Chinese).
- [9] HUANG D Y. Plastics properties distinguishing[M]. Beijing: Standards Press of China, 1990, 212-227 (in Chinese).
- [10] SALMORIA G V, LEITE J L, AHRENS C H, *et al.* Rapid manufacturing of PA/HDPE blend specimens by selective laser sintering: micro structural characterization[J]. Polymer Testing, 2007, 26(3): 361-368.
- [11] SALMORIA G V, AHRENS C H, KLAUSS P, *et al.* Rapid manufacturing of polyethylene parts with controlled pore size gradients using selective laser sintering[J]. Materials Research, 2007, 10(2): 211-214.
- [12] PALABIYIK M, BAHADUR S. Mechanical and tribological properties of polyamide 6 and high density polyethylene polyblends with and without compatibilizer[J]. Wear, 2000, 246(1/2): 149-158.
- [13] SALMORIA G V, LEITE J L, AHRENS C H, *et al.* Selective laser sintering of PA12/HDPE blends; effect of components on elastic behavior/plastic behavior [J]. Polymer Testing, 2008, 27(6): 654-659.
- [14] LIN L L, SHI Y Sh, ZENG F D, *et al.* Paste resin bleeding through polymeric powder sintering parts; improving mechanical performance by enhancing the interfacial structure[J]. Journal of Functional Materials, 2003, 34(1): 67-72.