DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2022.01.014

SLS 成型参数对 PA2200 拉伸试样强度和尺寸精度的影响

侯高雁[1],郝志强[2],段现银[2]

(1. 武汉职业技术学院 机电工程学院,湖北 武汉 430081;2. 武汉科技大学 冶金装备及其控制教育部重点实验室,湖北 武汉 430081)

摘　要:选择性激光烧结(SLS)成形工艺参数对成形件力学性能和尺寸精度有很大影响,不同的成形材料需要不同的工艺参数组合;然而,对于 PA 材料尚缺成形参数标准。为了解决这个问题,选用 PA2200 粉末材料,研究了激光功率和扫描速率对成形件拉伸强度和尺寸的影响。结果表明,以拉伸强度和尺寸精度为参考指标,结合理论分析与实验验证,最优参数为:激光功率 40 W,扫描速率 4 000 mm/s。以此参数的 PA2200 成形件拉伸强度可达 44.48 MPa,尺寸精度 X 向、Y 向和 Z 向相对偏差分别为 -0.41%、-0.40%和 0.50%。

关键词:SLS;激光功率;扫描速率;拉伸强度;尺寸精度

中图分类号: TQ322.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2022)01-0066-03

Influence of SLS Forming Parameters on Strength and Dimension Accuracy of PA2200 Tensile Specimens

HOU Gaoyan[1], HAO Zhiqiang[2], DUAN Xianyin[2]

(1. School of Electrical and Mechanical Engineering, Wuhan Polytechnic College, Wuhan 430081, China; 2. Key Laboratory of Metallurgical Equipment and Control Technology, Wuhan University of Science and Technology, Ministry of Education, Wuhan 430081, China)

Abstract: The forming parameters of selective laser sintering (SLS) have great influence on the mechanical properties and dimensional accuracy of forming parts, and different forming materials need different process parameters combination. However, there is no standard of forming parameters for PA materials. In order to solve this problem, the influence of laser power and scanning rate on tensile strength and size of forming parts was studied by using PA2200 powder material. The results show that the optimal parameters are as follows: laser power 40 W, scanning rate 4 000 mm/s, taking tensile strength and dimensional accuracy as reference indexes, combined with theoretical analysis and experimental verification. With this parameter, the tensile strength of PA2200 can reach 44.48 MPa, and the relative deviations of dimension accuracy in X, Y and Z directions are -0.41%, -0.40% and 0.50%, respectively.

Key words: selective laser sintering; laser power; scanning speed; tensile strength; dimensional accuracy

选择性激光烧结(Selective Laser Sintering,简称 SLS)是目前增材制造的主流技术,其利用激光烧结技术对成形粉末逐层进行选区烧结从而形成三维实体。SLS 成形无需添加支撑,具有精度高、一次成形数量多等优点,非常适用于个性化、定制化服务,具有广泛的应用空间和价值[1-2]。

SLS 成形件的力学性能和精度取决于预热温度、打印层厚、扫描间距、激光功率和扫描速率等成形工艺参数[3-4],每一参数都会对成形件的力学性能和尺寸精度产生影响,且错综交互,不同的成形材料成形参数又不同, 所以成形参数的优化与研究是 SLS 的一个热点课题。杨来侠[5]对聚苯乙烯与聚甲基丙烯酸甲酯混合粉末进行尺寸精度的优化, 分析分层厚度、扫描速度和扫描间隙对成形件尺寸精度的影响,通过实验分析得出了最优的参数组合。吴海华[6]以石墨和酚醛树脂混合粉末为基础,研究了激光能量密度和分层厚度对成形件抗弯强度和成形精度的影响,通过正交实验确定了最优工艺参数组合。鲍飞[7]研究了激光工艺参数对 SLS 覆膜砂型强度的影响规律,分析了激光功率、扫描间距和扫描速度对

收稿日期:2020-12-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51875379);湖北省教育厅科学研究计划指导性项目(B2020384)

作者简介:侯高雁(1986—),硕士,讲师.研究方向:3D 打印技术.电话:15102786079,Email:hougaoyan2013@163.com

通讯作者:段现银(1986—),博士,副教授.研究方向:3D 打印与精密制造.电话:15927490824,Email:xyduan@wust.edu.cn

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

成形件抗弯强度和抗拉强度的影响,获得了最优强度性能的参数组合。目前的研究工作比较单一和局限,无法总结出普遍规律,对于PA(Polyamide聚酰胺俗称尼龙)粉末工艺参数优化的研究也不足[8-9]。

针对以上问题,本研究选用PA粉末为研究对象,以成形件的拉伸强度为评价指标,研究激光功率和扫描速率对成形件拉伸强度和尺寸精度的影响,以确定优化的工艺参数组合。

1　实验方法

1.1　实验材料

烧结材料为白色、球状的PA2200粉末(纯PA12尼龙粉末构成),由德国易欧司光电技术有限公司(EOS)生产,粉末粒径分布较窄,平均粒径为60 μm,表面光洁度好,具有较好的流动性、耐热性、耐水解性和脱模性。PA2200材料的典型应用是经过高精加工抛光后处理的功能原型。激光烧结时采用新粉与旧粉1:1比例混合使用。

1.2　实验仪器

激光烧结成形采用德国易欧司光电技术有限公司(EOS)生产的EOS P396选择性激光烧结快速成形机。利用宁波北仑通盛机械制造有限公司制造的XHS-50KG高速混合机实现新粉与旧粉的混合,以提高烧结件的性能和精度。通过EOS公司生产的Auspack-und Siebstation P1/P3筛粉机实现粉末的过滤,除去粉末中的杂质,并在成形件烧结完后进行粉末回收利用。采用宁波鄞州五乡鑫哲机械厂制造的9070喷砂机对成形件表面经过喷砂后处理,清除未烧结残余粉末,提高表面质量。采用承德金建检测仪器有限公司生产的UTM-1422电子万能力学试验机测量成形件的拉伸强度。

1.3　材料制备及测试

利用选择性激光烧结快速成形机打印PA2200成型件,试样如图1所示,尺寸根据国家标准:塑料拉伸性能的测定GB/T1040-2006[10]。预热温度168 ℃,扫描间距0.4 mm,打印层厚0.12 mm。采用全面实验法考查激光功率和扫描速率的影响,激光功率选择30、40和50 W 3个等级,扫描速率选择3 000、4 000和5 000 mm/s 3个等级。共9组数据,每组打印5个试样。

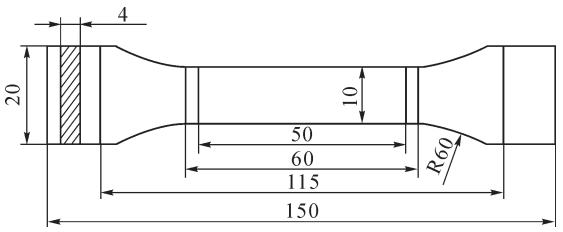


图1 拉伸试样尺寸
Fig.1 Dimensions of tensile specimen

在室温下利用电子万能力学试验机对每组的5个试样进行拉伸实验,拉伸强度取平均值,拉伸速率为50 mm/min。

对试样的X向(尺寸150 mm)、Y向(尺寸20 mm)和Z向(尺寸4 mm)的尺寸进行测量。按公式(1)计算试样的尺寸相对偏差,以评价试样的尺寸精度,取每组5个试样测量结果的平均值。相对偏差越接近于0,尺寸精度越高。

$$\phi=\frac{(A-A_0)}{A_0}\times 100\% \tag{1}$$

式中,ϕ为尺寸相对偏差,%;A为试样的实际尺寸,mm;A_0为试样的理论尺寸,mm。

2　结果与讨论

2.1　激光功率的影响

(1)激光功率对成形件拉伸强度的影响　图2为在不同扫描速率时激光功率对成形件拉伸强度的影响。从图2可知,随着激光功率的增大,拉伸强度也逐渐增大,且不同扫描速率时的拉伸强度差距变小。拉伸强度与激光功率成正比。激光功率在30～40 W增大时,拉伸强度增大幅度较大;在40～50 W增大时,拉伸强度小幅增加。激光功率为40 W是最佳的拉伸强度参数。

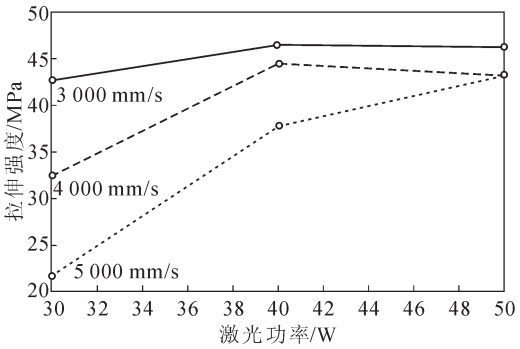
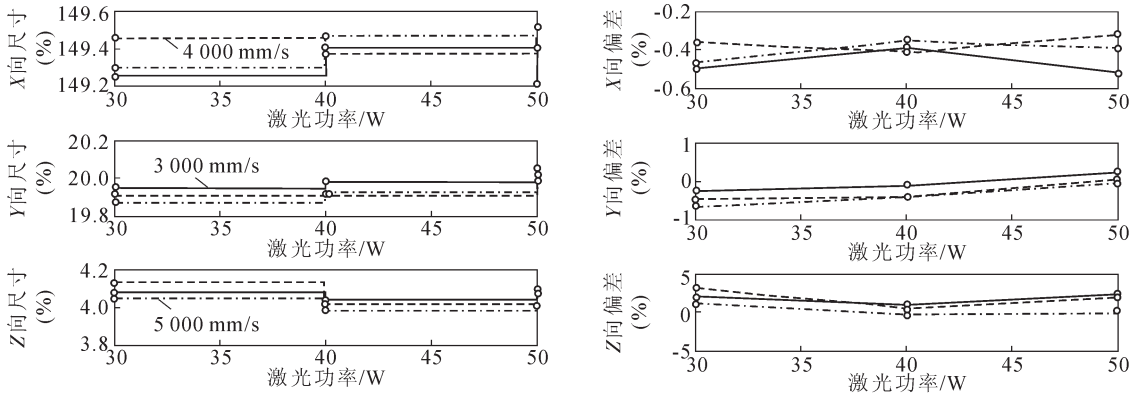


图2 激光功率对成形件拉伸强度的影响
Fig.2 Effect of laser power on tensile strength of forming parts

(2)激光功率对成形件尺寸精度的影响　图3为不同扫描速率时激光功率对成形件尺寸精度的影响规律。可以看出,当功率在30～40 W增大时,X向、Y向和Z向的尺寸精度相对偏差逐渐向0靠近,尺寸精度提高;当功率在40～50 W增大时,不同方向的尺寸精度相对偏差逐渐远离0,尺寸精度降低。所以激光功率为40 W是最佳的尺寸精度参数,X向、Y向和Z向的尺寸精度相对偏差(%)分别为[-0.41,-0.35]、[-0.40,-0.10]和[-0.25,0.10]。

激光功率为粉末烧结提供能量,决定了成形件

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a)尺寸　　(b)尺寸精度相对偏差

图 3 激光功率对成形件尺寸精度的影响

Fig.3 The influence of laser power on the dimensional accuracy of formed parts

的致密性。激光功率较低时，粉末吸收的能量不够，成形件表面松散，力学性能和尺寸精度较差。激光功率较高时，粉末吸收的能量过多，成形件表面过于紧密，容易造成硬度较大、表面发黄，韧性较差，尺寸精度偏低等。

2.2 扫描速率的影响

(1)扫描速率对成形件拉伸强度的影响　由图2可见，当激光功率为40 W时，扫描速率在3 000～4 000 mm/s增大时，拉伸强度小幅降低；扫描间距在4 000～5 000 mm/s增大时，拉伸强度大幅降低。所以扫描速率为4 000 mm/s是最佳的拉伸强度参数。

(2)扫描速率对成形件尺寸精度的影响　图4为不同激光功率时扫描速率对成形件尺寸精度的影响。可以看出，随扫描速率的提高，成形件尺寸精度出现波动。当激光功率为40 W时，尺寸精度相对偏差波动范围最小。所以扫描速率为4 000 mm/s是对应40 W激光功率的最佳尺寸精度参数，相应的*X*向尺寸精度相对偏差为-0.41%，*Y*向相对偏差为-0.40%，*Z*向相对偏差为0.50%。

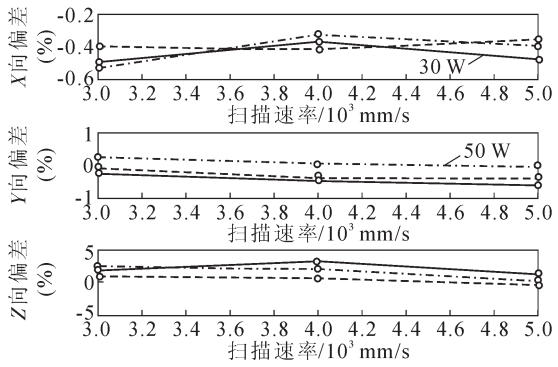


图 4 扫描速率对成形件尺寸精度的影响

Fig.4 Effect of scanning speed on the dimensional accuracy of forming parts

扫描速率是指激光在扫描过程中的速度，其决定了成形件的成形时间和致密性。扫描速率较低时，会给粉末充足的时间成形，成形件的致密性好，但会增大成形件的成形时间。扫描速率较高时，缩短了成形件的成形时间，成形效率提高了，但成形的时间较短，粉末吸收能力不足，成形件的致密性会降低。

3 结论

(1)随着激光功率的增大，PA2200成型件拉伸强度逐渐提高，且不同扫描速率时的拉伸强度差距变小。激光功率为40 W时尺寸精度最佳。

(2)随着扫描速率的增大，拉伸强度逐渐降低，且不同激光功率下的拉伸强度差距变大。扫描速率为4 000 mm/s时尺寸精度最佳。

(3)激光功率40 W，扫描速率4 000 mm/s，PA2200成形件拉伸强度可达44.48 MPa，尺寸精度*X*向、*Y*向和*Z*向相对偏差分别为-0.41%、-0.40%和0.50%。

参考文献：

[1] FINA F, GOYANES A, GAISFORD S, et al. Selective laser sintering (SLS)3D printing of medicines [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2017, 529(1-2): 285-293.

[2] 刘卫兵，钱素娟，刘志东. 3D打印用高分子材料及打印成型工艺参数优化研究进展[J]. 合成树脂及塑料，2020，37(2)：85-89.

[3] 吴海华，张成，李亚峰，等. 人造石墨粉末选择性激光烧结成形工艺实验研究[J]. 中国机械工程，2020，31(15)：1838-1845.

[4] 王丹妮，周敏，高强，等. 基于PSO-BP算法的3D打印制件精度预测模型[J]. 机床与液压，2019，47(16).

[5] 杨来侠，杜康，桂玉莲，等. PS/PMMA复合粉末选择性激光烧结成型精度工艺参数的研究[J]. 塑料工业，2019，47(8)：47-50，64.

[6] 吴海华，鄢俊能，李腾飞，等. 石墨/酚醛树脂混合粉末选择性激光烧结成型工艺研究[J]. 应用激光，2018，38(2)：195-201.

[7] 鲍飞，封雪平，缪锋，等. 激光工艺参数对选择性激光烧结覆膜砂初坯强度的影响[J]. 铸造技术，2018，39(4)：790-793.

[8] 杨旭生，汪艳，陈神星，等. 应用于选择性激光烧结的结晶性高分子材料粉末的工艺评述[J].工程塑料应用，2017，45(10)：137-141.

[9] 李晓茸，张武. 尼龙6的选择性激光烧结成型工艺实验研究[J]. 塑料工业，2020，48(4)：61-66.

[10] 吴琼，陈惠，巫静，等. 炭纤维/尼龙12复合粉体的制备及选择性激光烧结行为[J]. 功能材料，2016，4(47)：174-177.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net