

选区激光烧结技术的成形空间稳定性研究

黄洁,郑凯特,王磊,孙丽娟,刘洋洋

(上海飞机制造有限公司,上海 201324)

摘要:根据选区激光烧结快速成形需求,以热塑性材料尼龙为研究对象,开展选区激光烧结 SLS 技术的成形空间稳定性研究。对成形空间中不同位置的 405 根试样进行测试,研究试样在二维空间位置、三维空间位置性能差异及相应不同空间区域中试样摆放方向(xy 、 xz 和 yz)对力学性能影响的差异。工艺试验表明:成形空间总体试样拉伸强度变异系数 CV 值为 3.71%;成形空间中心位置及第一层位置温度变化梯度小;3 种成形方式中, xz 方向试样力学性能最优,为 43.69 MPa,变异系数为 2.98%。

关键词:尼龙;选区激光烧结技术;稳定性;变异系数

中图分类号:TP204 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)01-0081-03

Study on Stability of Forming Space of Selective Laser Sintering Technique

HUANG Jie, ZHENG Kaite, WANG Lei, SUN Lijuan, LIU Yangyang

(Shanghai Aircraft Manufacturing Co., Ltd., Shanghai 201324, China)

Abstract: According to the requirements of selective laser sintering rapid prototyping, the spatial stability of SLS technology was studied with thermoplastic nylon as the research subject. 405 samples in different spatial positions were tested. The effect of specimen placement direction (xy , xz and yz) on the two-dimensional were studied. The process test shows that the variation coefficient of tensile strength of the whole sample in the forming space is 3.71%, and the temperature gradient in the center and the first layer of the forming space is small. Among the three forming methods, the mechanical properties in xz direction perform the best with 43.69 MPa and the coefficient of variation as 2.98%.

Keywords: nylon; selective laser sintering technology; stability; coefficient of variation

0 引言

选区激光烧结(selective laser sintering, SLS)是一种基于粉末床的激光增材制造技术,具有制造流程短、材料利用率高、可成形任何复杂结构零件等特点。选区激光烧结成形过程中不同位置温度差异会导致打印件弯曲和扭转变形,温差越大,零件尺寸偏差越大^[1-5]。HOFLAND E C 等^[6]研究了工艺参数对 SLS 成形件性能的影响,SENTHILKUMARAN K 等^[7]分析了 SLS 成形方式对成形件精度的影响。由于温度不均匀导致不同位置收缩的顺序和收缩量不同而造成成形件的畸变或翘曲^[8-9]。通过研究因温度不均匀导致不同空间位置力学性能的影响规律,开展空间稳定性试验,研究试样在二维空间位置、三维空间位置性能差异及相应不同空间区域中试样摆放方向(xy 、 xz 和 yz)对力学性能差异的影响规律,并得出最优的成型空间位置。

1 试验参数

本试验所用尼龙 PA2200(平均粒径 $<60\ \mu\text{m}$)尼龙粉末

原材料,材料类型为尼龙 12。粉末批次号:9012-0014,试验工艺参数窗口为:激光功率 17~25 W、温度 171 °C~173 °C、扫描间距 0.25~0.50 mm、扫描速度 2 000~3 000 mm/s。

1.1 试验装置

试验设备使用 EOS P110 选区激光烧结设备,最大成形尺寸(宽×深×高)200 mm×250 mm×300 mm,30 W 二氧化碳激光器,如图 1 所示。

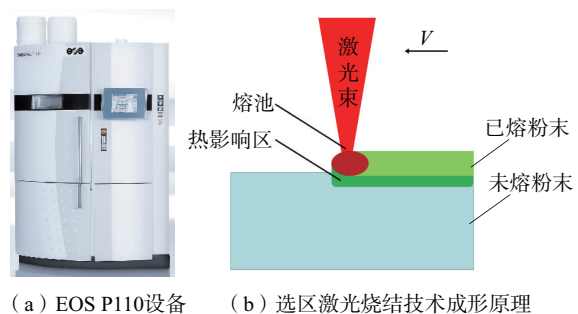


图 1 选区激光烧结设备及成型原理

第一作者简介:黄洁(1988—),女,江苏江阴人,工程师,硕士,研究方向为金属、非金属增材制造工艺研发、民机增材制造适航符合性研究与验证等。

1.2 试验方法

选择拉伸试样模型如图 2 所示。

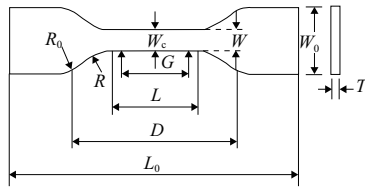


图 2 拉伸试样模型

根据 ASTM D638 规范,选择 Type V 型试样。即 $W = (3.18 \pm 0.5) \text{ mm}$, $L = (9.53 \pm 0.5) \text{ mm}$, $W_0 = (9.53 + 3.18) \text{ mm}$, $L_0 = 63.5 \text{ mm}$, $G = (7.62 \pm 0.25) \text{ mm}$, $D = (25.4 \pm 5) \text{ mm}$, $T = (3.2 \pm 0.4) \text{ mm}$ 。

为研究成形空间中区域位置对拉伸性能的影响,将成形舱空间分为三层,自下而上分别为第一层、第二层及第三层。每层分为 5 区域,每个区域内设置 xz 、 xy 及 yz 3 种不同摆放方向试样各 3 片。每组试样使用进行试验,每次试验 135 根试样,共做 3 次试验,如图 3 所示。

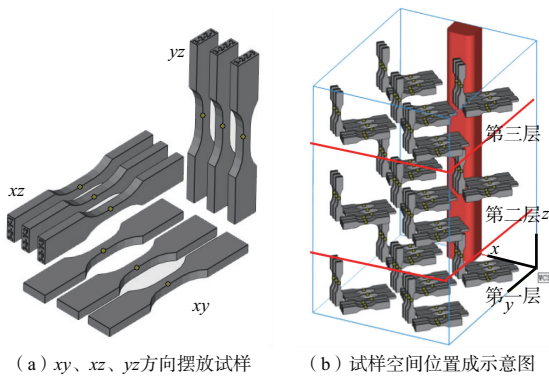


图 3 拉伸试样空间位置

2 实验分析

为研究成形空间中不同位置对力学性能的影响,对整体试样的拉伸强度平均值、标准偏差及 CV 值及整体拉伸强度平均值、标准偏差及 CV 值性能计算^[9-12],得出总体试样的数值。试验总试验试样为 $i = 135$,对 135 件拉伸试样进行拉伸测试得出相应的结果,如表 1 所示。

表 1 试验数据

参数	总体数值
平均值 \bar{x}/MPa	43.66
CV 值/%	3.71

从表 1 中可以看出,总体试样拉伸强度平均值为 43.66 MPa,标准偏差值为 1.62,变异系数 CV 值为 3.71%。

对试样进行空间拉伸性能分布,如图 4 所示。从图中可以看出,成形舱中心位置的拉伸件的拉伸强度在 43~47 MPa 区域范围内,成形舱四周位置的拉伸件的拉伸强度在 40~44 MPa 区域范围内。可以得出成形中心位置成

形件强度优于四周成形件强度。

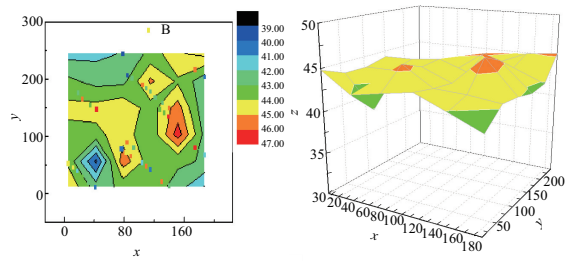


图 4 选区激光烧结设备空间拉伸性能分布

3 验证试验

为进一步研究二维空间位置、三维空间位置及试样摆放方向对零件力学性能的影响,设计验证试验,并对数据进行分析。

3.1 二维空间位置对拉伸性能的影响

为进一步研究二维空间位置对零件力学性能的影响,分别对成形空间三层中每一层进行分析,自下而上分别为第一层、第二层及第三层,如图 5 及表 2 所示。

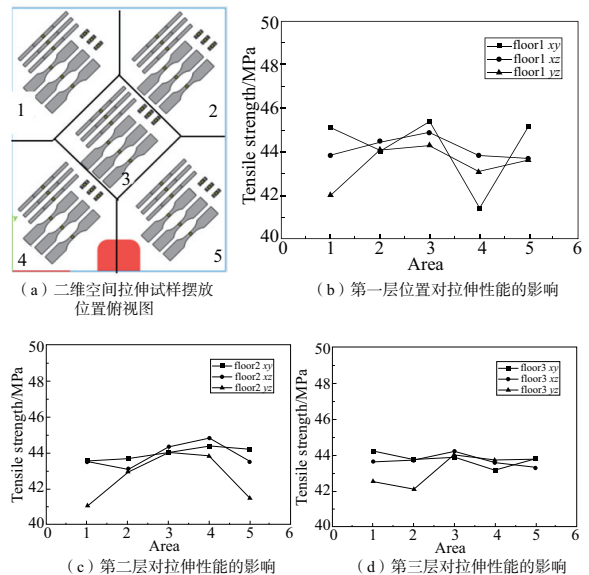


图 5 二维空间位置对拉伸性能的影响

表 2 区域试验数据

区域	平均值/MPa	标准偏差值/MPa	CV 值/%
1	43.47	1.26	2.89
2	43.18	1.57	3.63
3	44.04	0.90	2.04
4	43.49	1.12	2.58
5	43.64	0.65	1.50

从图 5 及表 2 可以看出,1-5 区域内, xy 、 xz 及 yz 方向试样在成形中心位置区域的 3 区域的拉伸强度为 44.04 MPa,最优;3 区域及 5 区域的数据离散程度较其

他区域低。综上表明,在二维空间位置中,中心位置试样力学性能最佳,为 44.04 MPa,并向四周逐步减小。中心 3 区域位置为二维空间中最优成形区域,变异系数为 2.04%。

3.2 三维空间位置对拉伸性能的影响

三维空间位置对成形件拉伸性能的影响如图 6、表 3 所示。

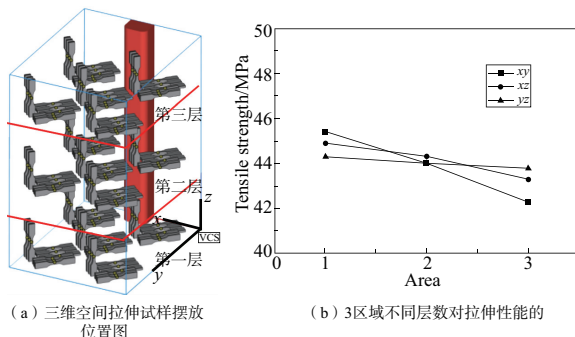


图 6 三维空间位置对拉伸性能的影响

表 3 三层试验数据

层	平均值/MPa	标准偏差值/MPa	CV 值/%
1	43.87	1.07	2.45
2	43.47	0.91	2.08
3	43.63	0.73	1.67

从图 8 可以看出,随着层数增加,试样拉伸强度递减;从表 3 可以看出,在三维空间位置中,第一层位置试样力学性能最佳,为 43.87 MPa,并沿 z 轴方向自下而上减少,第一层为三维空间中最优成形区域,变异系数为 2.45%。

3.3 试样摆放方向对拉伸性能的影响

为了进一步研究成形空间中不同位置、试件不同摆放方向对力学性能的影响,分别计算 xy 、 xz 及 yz 不同摆放方向的平均值、标准偏差和 CV 值及整体拉伸强度平均值、标准偏差及 CV 值,计算结果如表 4 所示。

表 4 层试验数据

参数	整体拉伸强度		CV 值/%
	平均值/MPa	标准偏差值/MPa	
总体数值	43.66	1.62	3.71
xy 方向	43.55	1.675	3.85
xz 方向	43.69	1.306	2.98
yz 方向	43.52	1.833	4.21

从表 4 计算数据可以看出, xy 、 xz 方向摆放试样的变异系数数值小于 yz 方向摆放试样的试样变异系数。 xz 方向试样力学性能为最佳,为 43.69 MPa,变异系数为 2.98%。

4 结语

为研究因温度不均匀导致不同空间位置力学性能的影响规律,开展空间稳定性试验,研究试样在二维空间位置、三维空间位置性能差异及相应不同空间区域中试样摆放方向(xy 、 xz 和 yz)对力学性能差异的影响规律,得出如下结论:

1) 成形空间拉伸试件拉伸强度平均值为 43.66 MPa,变异系数为 3.71%;

2) 在二维空间位置中,中心位置试样力学性能最佳,为 44.04 MPa,并逐步向四周减小。中心 3 区域位置为二维空间中最优成形区域,变异系数为 2.04%;

在三维空间位置中,第一层位置试样力学性能最佳,为 43.87 MPa,并沿 z 轴方向自下而上减少,第一层为三维空间中最优成形区域,变异系数为 2.45%;

4) xy 方向及 xz 方向摆放试件的成形稳定性优于 yz 摆放位置的试样, xz 方向试样力学性能为最佳,为 43.69 MPa,变异系数为 2.98%。

参考文献:

- [1] GIBSON I, ROSEN D, STUCKER B. Development of Additive Manufacturing Technology [M]. Additive Manufacturing Technologies, 2015:19-42.
- [2] 杨恩泉. 3D 打印技术对航空制造业发展的影响[J]. 航空科学技术,2013,24(1):13-17.
- [3] AHN D G. Applications of laser assisted metal rapid tooling process to manufacture of molding & forming tools—state of the art [J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2011,12(5):925-938.
- [4] 施建平,杨继全,王兴松. 多材料零件 3D 打印技术现状及趋势[J]. 机械制造与自动化,2016,45(6):1-5,10.
- [5] 张俊. 多层 PA6 粉末选区激光烧结的翘曲与应力变形研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2016.
- [6] HOFLAND E C, BARAN I, WISMEIJER D A. Correlation of process parameters with mechanical properties of laser sintered PA12 parts[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2017,2017:1-11.
- [7] SENTHILKUMARAN K, PANDEY P M, RAO P V M. Influence of building strategies on the accuracy of parts in selective laser sintering[J]. Materials & Design, 2009,30(8):2946-2954.
- [8] 朱林泉,白培康,朱水森. 快速成形与快速制造技术[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
- [9] YAN C, SHI Y, HAO L. Investigation into the differences in the selective laser sintering between amorphous and semi-crystalline polymers[J]. International Polymer Processing, 2011,26(4):416-423.
- [10] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [11] 程敬丽,郑敏,楼建晴. 常见的试验优化设计方法对比[J]. 实验室研究与探索,2012,31(7):7-11.
- [12] 魏彩彩,李雪利,郝磊,等. 正交试验优化余甘子配方颗粒的提取工艺研究[J]. 中国药房,2017,28(1):61-63.

收稿日期:2020-11-02