

金属3D打印技术在海洋零部件的应用研究

尚宏坤,崔西亮,刘文锋,毕显斌,张孟,徐洪军

(青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋高端仪器设备研发平台,山东 青岛 266235)

摘要:为了优化金属3D打印成形工艺,建立工艺数据库,运用德国EOS M290金属3D打印设备,采用SLM技术,进行某海洋仪器设备中涡轮的打印工艺优化试验和不同零部件对激光填充线距离参数的选择试验。研究表明,涡轮45°倒角时打印出现翘曲变形,涡轮直角时打印效果良好,可用直角打印后进行车削加工方式进行倒角;随着激光填充线距离增大,打印件的质量下降,打印时间缩短。文章旨在优化模型打印方式、填充线的距离等参数,寻求最优打印质量,为海洋零部件的减重、高效打印提供一定的借鉴意义。

关键词:金属3D打印;工艺优化;激光填充线距离;质量

中图分类号:TH164 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)03-0122-03

Application Research of Metal 3D Printing Technology in Marine Parts

SHANG Hongkun, CUI Xiliang, LIU Wenfeng, BI Xianbin, ZHANG Meng, XU Hongjun

(Marine Instrument Center, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266235, China)

Abstract: In order to optimize the metal 3D printing forming process and establish the process database, the EOS M290 metal 3D printing equipment from Germany and SLM technology was used to optimize the printing process of a turbine in an ocean equipment and experiment the selection of laser filling line distance parameters for different parts. The results show that the warpage deformation occurs when the turbine is 45° chamfered, and the printing effect is good when the turbine is at right angles and the chamfer can be removed by using the turning method later. With the increase of the laser filling line distance, the weight and the printing time of the printed part decreases. This paper is aimed to seek the optimal printing quality by changing the printing mode and the filling line distance and to provide some references for the weight reduction and efficient printing of Marine parts.

Keywords: metal 3D printing; process optimization; laser hatch distance; weight

0 引言

海洋环境是一种复杂的腐蚀环境,所以海洋仪器设备关键零部件对耐腐蚀的要求很高^[1]。目前海洋领域应用最多的防腐金属材料为316L不锈钢、硬质氧化后的铝合金、钛合金等。海洋领域仪器设备的关键零部件以多品种小批量为最突出特点,其中通过普通机加工减材制造无法完成的高可靠性异构件也不在少数。适合海洋环境下耐腐蚀特点的金属3D打印技术在海洋舰船、海洋仪器设备及深海潜航器等的关键零部件上的应用颇具优势与前景^[2]。

目前航天领域3D打印研究及应用案例较多,如航天529厂已实现3D打印产品多工艺、多结构在轨应用;航天一院发射的“千乘一号”卫星整星结构采用轻量化三维点阵结构,设计及制备周期缩短至1个月;上海交通大学、中国航发商用航空发动机有限责任公司、沈阳铸造研究所等也在3D打印工艺方面取得了一系列成果^[3-4]。但海洋领域3D打印应用较少,研究金属3D打印成形工艺,建立金属3D打印技术的核心工艺数据库,将极大地降低产品的研发成本,缩短研发周期,提高产品质量与性

能,增强工艺实现能力,使金属3D打印更好地服务、支撑于海洋仪器设备关键零部件的研发与应用,形成海洋领域新型制造体系。

1 技术及设备基础

金属增材制造(additive manufacturing, AM),也称金属3D打印,作为战略性新兴产业,受到世界各国高度重视及积极推广。该方法是依据分层制造、逐层叠加的原理,通过高能束热源(激光、电子束)熔敷金属粉末,直接从三维CAD模型制备零件的一种方法^[4]。

目前青岛海洋科学与技术试点国家实验室已在海洋领域开展海洋仪器设备关键零部件的3D打印研究,已具有金属、非金属3D打印设备各1台。其中金属3D打印设备为德国EOS-M290,该设备采用的工艺类型为选择性激光熔化(SLM),目前可进行不锈钢、铝合金、钛合金等海洋常用金属材料的关键零部件打印。

SLM技术是近些年快速发展起来的一种新型金属增材制造技术,主要成形材料为金属粉末,基于离散-堆积原理,控制高能激光束逐层熔化、凝固金属粉末,可快速直接成形出高性能金属复杂结构件^[5]。

第一作者简介:尚宏坤(1989—),女,山东青岛人,工程师,工学学士,研究方向为3D打印、智能制造。

2 45°倒角打印成形效果对比

内应力控制及变形开裂成为长期制约大型金属构件激光增材制造技术发展的瓶颈难题^[6]。45°倒角直接打印成形需考虑两个因素:重力因素、打印过程中模型不同部位能量密度因素。

当模型的某个面与垂直线的角度>45°角且悬空时,材料会在凝固之前坠落,这就是3D打印中的45°角原则。因SLM选择性激光熔化的原理是将金属粉末高温熔化,一层一层地堆积直至模型最终成形。考虑到重力因素,打印过程中模型的某个面与垂直线的角度>45°并悬空时,虽然材料经过熔化会有一定的黏附性,但材料也有可能在没有完全固化之前就发生坠落从而导致打印失败。

模型每层打印过程中,打印轮廓(Contour)和内部填充线(Hatch)的能量密度计算公式分别为:

打印轮廓的能量密度:

$$E_c = \frac{L_p}{S \cdot L_t} \quad (1)$$

内部填充线的能量密度:

$$E_H = \frac{L_p}{S \cdot H \cdot L_t} \quad (2)$$

式中: S 为速度,mm/s; L_p 为激光功率,W; L_t 为层厚,mm; H 为激光填充线距离,mm。

可得出打印模型轮廓时(除部分下方轮廓外)的能量密度会略大于打印内部填充线的能量密度。海洋仪器设备零部件中,45°倒角基本都处于每层打印的轮廓处,能量密度略高,因此发生翘曲变形从而导致打印失败的概率大。

以某海洋仪器设备中涡轮为打印模型,该模型尺寸为R8×6.5mm,含有2个45°倒角,可较好地试验45°倒角直接打印对零件成形效果的影响。根据在海水中防腐蚀要求,材料选用316L不锈钢粉末,此粉末粒径为15~53μm,使用EOS-M290设备打印。

此模型分两种不同试验方式打印,打印方式一:只在模型底面添加常规的块状支撑和锥形支撑,倒角处不添加支撑,其他参数选用EOS默认参数;打印方式二:模型底面添加常规的块状支撑和锥形支撑,倒角处添加同样的块状支撑和锥形支撑,其他参数选用EOS默认参数。模型见图1、图2。

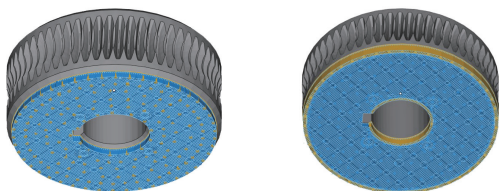


图1 方式一

图2 方式二

通过以上两种方式打印的结果可见,打印方式一45°倒角处整周全部上翘;打印方式二45°倒角处有1/3圆周长度支撑拉不住模型实体,支撑与模型连接处产生开裂。两种方式打印皆在45°倒角处发成翘曲变形,翘曲阻挡住

刮刀刮粉,打印失败。打印效果见图3、图4。

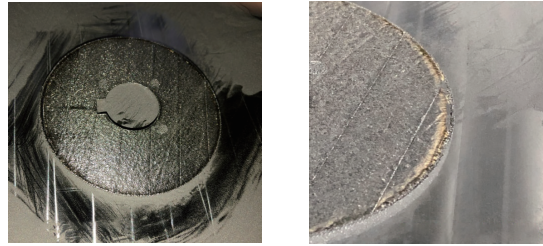


图3 方式一打印结果

图4 方式二打印结果

通过以上两种打印方式得出,零部件45°倒角直接进行SLM打印易发生翘曲变形,不利于零部件成形。可通过更改零部件模型去掉倒角,后期通过车削机械加工方式进行倒角。切削加工具有高效率、高精度和高表面质量的优点^[7],得到的倒角精度和表面质量更好,机械性能也更加优良,从而提高了零部件在海洋仪器设备中的可靠性。

3 海洋仪器设备中不同零部件对激光填充线距离参数的选择

EOS M290打印时,打印件实体部分每一打印分层的内部是由激光束按设定好的路径逐步熔化金属粉末而堆积成的,激光束在每一层内部走的路径就是激光填充线,见图5。

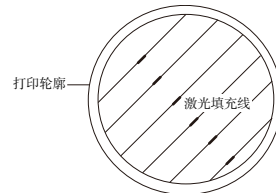


图5 激光填充线

一般来说,金属3D打印成形时,同样高度的实体零件需要两倍高度的金属粉末来熔化成形。EOS M290设备使用的标准参数中,每种金属材料对应的激光填充线距离(Hatch distance)有各自的标准值,因为粉末和实体的密度是有差别的,所以当将激光填充线距离相对标准值逐渐增大时,零件打印每一分层的孔隙率会逐渐增大,零件密度会逐渐减小,质量也相应逐渐减小。

以长方体作打印件为例,打印件尺寸为20mm×20mm×17mm(长×宽×高),打印时不添加任何支撑;根据海洋仪器设备内部零部件多采用铝合金材料的现状,打印材料选用铝合金粉末(AlSi10Mg),此粉末粒径为35~85μm。使用EOS-M290设备打印,对应的AlSi10Mg激光填充线距离标准值为0.19mm。打印10个长方体打印件,每个打印件分别设定不同的激光填充线距离,分别测量每个打印件成形后的质量和打印完成时间,研究海洋仪器设备中不同零部件对激光填充线距离的选择方案。

打印时设定刮刀的刮粉速度为80mm/s、刮刀回收粉仓的速度为150mm/s,打印层厚为0.03mm,每个长方体分567层打印。设定0.25mm为1个激光填充线距离变化梯度,采用软件EOS PRINT2.2分别计算单独1个长方体的打印时间;批量打印这10个长方体打印件,打印完成

后进行稳定性处理,然后线切割与基板分离,分别测量每个长方体打印件的质量。

图6为激光填充线距离分别为0.19 mm、1.00 mm、2.00 mm的打印件照片。实验数据如表1所示。

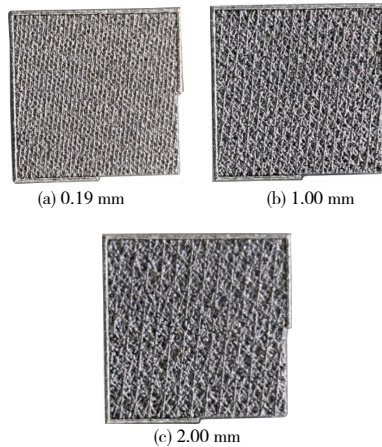


图6 打印件照片

表1 实验数据表

序号	激光填充线距离/mm	质量/g	打印时间/min
1	0.19(标准距离)	18.39	110
2	0.25	18.13	113
3	0.50	17.68	107
4	0.75	16.90	105
5	1.00	16.26	104
6	1.25	15.44	103
7	1.50	14.51	102
8	1.75	13.52	101
9	2.00	12.45	100
10	2.25	11.48	100

不同的激光填充线距离下,质量和打印时间的变化趋势见图7-图8。

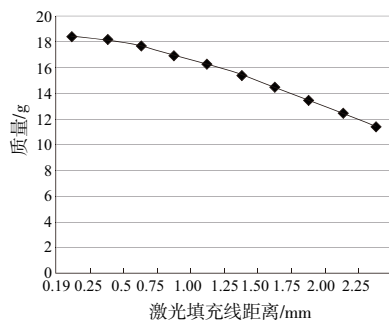


图7 质量变化趋势图

通过上述实验对比,可得出当激光填充线距离逐渐变大时,打印产品的质量逐渐下降,打印时间逐渐缩短(当零件体积较大或批量打印时,打印时间差距会拉大)。海洋仪器设备绝大多数涉及到配重问题,以使设备漂浮在水面或在水中保持特定的深度。表面漂浮仪器设备、需减小质量的潜器中,有受力小的金属零部件,可根据需求,采用

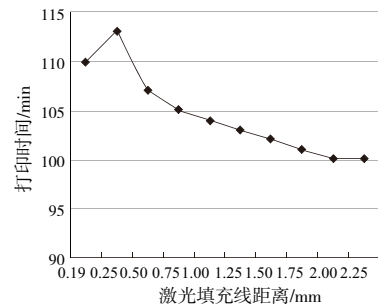


图8 打印时间变化趋势图

较大的激光填充线距离,以减少零部件的致密度,减少质量,从而整体减轻仪器设备的总重;同时零部件的打印生产时间缩短,提高了科研工作者的验证效率和研发效率。

4 结语

金属3D打印技术在海洋仪器设备关键零部件的应用,极大地提高了产品质量与性能,增强了工艺实现能力,降低了产品的研发创新成本,缩短了研发周期,形成海洋领域新型制造体系,为海洋高端装备提供更加广阔的设计自由度,逐渐向海洋强国靠近。本文基于金属3D打印设备EOS M290,采用选择性激光熔化技术,进行某海洋仪器设备中涡轮打印工艺优化试验和海洋仪器设备中不同零部件对激光填充线距离参数的选择试验,得出结论如下:

1) 零部件45°倒角直接进行SLM打印或添加常规支撑打印,易发生翘曲变形,不利于零部件成形。可更改零部件模型去掉倒角,后期通过车削机械加工方式进行倒角;可提高倒角表面质量和力学性能,从而提高零部件在海洋仪器设备中的可靠性;

2) 当更改打印参数,使激光填充线距离逐渐变大时,打印产品的质量逐渐下降,打印时间逐渐缩短,有配重需求的海洋仪器设备中,受力小的金属零部件可采用较大的激光填充线距离打印,以减少零部件质量,缩短打印时间,同时可提高科研工作者的验证效率和研发效率。

参考文献:

- [1] 侯保荣.海洋腐蚀环境理论及其应用[M].北京:科学出版社,1999.
- [2] 王士一.3D打印机现状及在海洋技术领域的应用前景初探[J].商品与质量,2016,42:66-67.
- [3] 柴象海,张执南,倪嘉,等.航空发动机风扇叶片冲击加强轻量化设计[J].上海交通大学学报,2020,54(2):186-192.
- [4] 刘时兵,柴皓,倪嘉,等.航空航天用钛合金3D打印技术的研究概述[J].铸造,2019,68(9):965-970.
- [5] ZHAO X, WEI Q S, SONG B, et al. Fabrication and characterization of AISI 420 stainless steel using selective laser melting[J]. Materials and Manufacturing Processes, 2015, 30(11):1283-1289.
- [6] 李俊峰,魏正英,卢秉恒.钛及钛合金激光选区熔化技术的研究进展[J].激光与光电子学进展,2018,55(1):011403.
- [7] 王华明.高性能大型金属构件激光增材制造:若干材料基础问题[J].航空学报,2014,35(10):2690-2698.

收稿日期:2020-06-02