

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.11.012

连续与短切CF增强PA6复合材料双喷头3D打印工艺参数优化

苏文璐¹, 卢立成¹, 钱波¹, 茅健^{1,4}, 张立强¹, 刘钢^{1,2,3}

(1.上海工程技术大学机械与汽车工程学院,上海 201600; 2.成都智远先进制造技术研究院,成都 610000;
3.机械工业航空大型复杂薄壁构件智能制造技术重点实验室,上海 201600; 4.上海交通大学四川研究院,成都 610000)

摘要:为提升连续碳纤维(CF)和短切CF增强尼龙6复合材料3D打印制件的力学性能、优化3D打印基础工艺参数,基于熔融沉积型3D打印工艺,通过自主搭建的双喷头3D打印实验平台制备打印制件,并以此为研究对象,设计4因素3水平正交试验,研究连续CF隔层数、连续CF打印间距、打印温度、打印速度四种工艺参数对打印制件拉伸强度和弯曲强度的影响。采用极差分析法得到最佳工艺参数组合,验证正交试验结果。使用扫描电子显微镜观察拉伸制件和弯曲制件的断裂面微观形貌,进一步探究了打印制件的层间断裂形貌特性和层内丝材分布规律。结果表明,当连续CF隔层数为1、连续CF打印间距为0.5 mm、打印温度为250 °C、打印速度为900 mm/s时,打印制件的层内沉积线之间孔隙较少,层间结合效果较好,其拉伸强度和弯曲强度达到最高,分别为109.73 MPa和119.14 MPa,与短切CF增强尼龙6复合材料相比,拉伸强度提升了249%,弯曲强度提升了286%。

关键词:碳纤维;尼龙6;熔融沉积;复合材料;3D打印;正交试验;工艺参数

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)11-0071-07

Process Parameters for Dual-Nozzle 3D Printing of Continuous and Chopped CF Composite Materials

Su Wenlu¹, Lu Licheng¹, Qian Bo¹, Mao Jian^{1,4}, Zhang Liqiang¹, Liu Gang^{1,2,3}

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201600, China; 2. Zhiyuan Advanced Manufacturing Research Center, Chengdu 610000, China; 3. Key Laboratory of Intelligent Manufacturing Technology for Large Complex Thin-walled Components in the Aerospace Industry of the Mechanical Engineering, Shanghai 201600, China;
4. Sichuan Research Institute, Shanghai Jiao Tong University, Chengdu 610000, China)

Abstract : To enhance the mechanical properties of 3D printed components made from continuous carbon fiber (CF) and chopped CF reinforced nylon 6 composites, and to optimize the foundational 3D printing process parameters, a study was conducted. Utilizing the fused deposition modeling (FDM) 3D printing technique and a self-constructed dual-nozzle 3D printing experimental platform, printed components were fabricated as the subject of research. A four-factor three-level orthogonal experiment was designed to investigate the influence of four process parameters: continuous CF layer separation, continuous CF printing spacing, printing temperature, and printing speed, on the tensile strength and flexural strength of the printed components. The Taguchi analysis method was employed to determine the optimal combination of process parameters and validate the results of the orthogonal experiment. Furthermore, scanning electron microscopy was utilized to observe the microstructure of the fracture surfaces of both tensile and flexural specimens. This allowed for further exploration of interlayer fracture morphology characteristics and filament distribution patterns within the printed components. The results demonstrate that when the continuous CF layer separation is set to 1, continuous CF printing spacing is 0.5 mm, printing temperature is 250 °C, and printing speed is 900 mm/s, the printed components exhibit minimal interlayer voids, excellent interlayer bonding, continuous CF reinforced nylon 6 composites achieves the highest tensile strength of 109.73 MPa and flexural strength of 119.14 MPa. This represented a significant improvement of 249% in tensile strength and 286% in flexural strength compares to chopped carbon fiber-reinforced nylon 6 composite materials.

Keywords : carbon fiber ; nylon 6 ; fused deposition modeling process ; composite material ; 3D printing ; orthogonal experiment ; process parameter

基金项目: 四川省自然科学基金项目(2023NSFSC0366),天府峨眉计划专项资助项目(川峨眉第2018号)

通信作者: 刘钢,博士,教授,主要研究方向为航空航天高端自动化装备和工艺核心技术

收稿日期: 2023-09-16

引用格式: 苏文璐,卢立成,钱波,等.连续与短切CF增强PA6复合材料双喷头3D打印工艺参数优化[J].工程塑料应用,2023,51(11):71-77.

Su Wenlu, Lu Licheng, Qian Bo, et al. Process parameters for dual-nozzle 3D printing of continuous and chopped CF composite materials[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(11): 71-77.

3D打印又称增材制造,是一种基于三维模型数据、可实现任何复杂零件快速成型制造的技术^[1]。连续纤维增强聚合物复合材料(CFRPCs)是一种以连续纤维为增强体,树脂聚合物为基体的高性能复合材料^[2],该复合材料具有比模量高、比强度高、耐高温、耐腐蚀等特点,已广泛应用于汽车、飞机和航天等领域^[3-4]。近年来,随着3D打印技术的发展,熔融沉积型(FDM)3D打印工艺为CFRPCs的无模快速成型制造提供了新思路^[5]。为了提高打印制件的力学性能,打印材料不再局限于聚乳酸(PLA)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)、尼龙(PA)等原始强度较弱的单一聚合物,而是在树脂基体中掺入短切纤维颗粒起到一定增强作用,Carneiro等^[6]发现在聚丙烯(PP)中加入短切玻璃纤维可提高40%的拉伸强度,Ning等^[7]通过在ABS中加入不同含量的短切碳纤维颗粒以提高打印制件的拉伸和弯曲性能。然而,由于短切碳纤维的承载能力有限,使用短切碳纤维对力学性能的改善并不明显^[8-9],而连续纤维比短切纤维具有更高的力学性能^[10]。因此,连续纤维作为增强体被广泛应用于FDM 3D打印工艺中,以获得特定性能的复合材料结构件^[11-13]。

然而,由于FDM工艺逐层沉积构建的特点,打印过程中沉积线之间和沉积层之间的黏结力较弱,再加上喷嘴挤压力不均匀,导致打印制件内部孔隙较多,影响了打印制件层间结合强度,Yavas等^[14]和Touchard等^[15]发现层间结合强度对3D打印制件的力学性能起着重要作用。同时,在3D打印过程中,相互制约的打印工艺参数也在影响着打印制件的力学性能。Mosleh等^[16]通过改变喷嘴直径、层厚和打印速度来研究连续碳纤维增强ABS的最佳打印条件。Tian等^[17]研究了打印温度、层厚和打印间距对连续碳纤维增强PLA复合材料弯曲性能的影响。由此可见,对于CFRPCs 3D打印制件,其力学性能不仅取决于连续纤维的增强作用,还取决于打印参数和沉积线、层之间的相互作用。

虽然研究人员从多个方面对CFRPCs 3D打印制件进行研究,但少有研究关注不同工艺参数下连续和短切碳纤维复合材料的协同增强作用。因此,笔者选用短切碳纤维增强尼龙6复合材料作为基体,连续碳纤维作为增强体,采用FDM 3D打印工艺,通过自主搭建的双喷头3D打印设备制备打印件,基于正交试验,通过改变连续碳纤维隔层数、连

续纤维打印间距、打印温度和打印速度研究各工艺参数对打印制件弯曲性能和拉伸性能的影响,并通过扫描电子显微镜分析了打印制件断裂面沉积线、沉积层间的微观形貌,确定了最佳的工艺参数。

1 3D打印工艺原理与平台搭建

基于一种FDM双喷头3D打印工艺,其原理如图1所示,打印原料分为树脂丝材和连续纤维丝材,丝材通过挤出电机送至3D打印头,在打印头内部加热至熔融状态通过喷嘴逐层铺放至打印平台,在该过程中,连续纤维会根据路径跳转点和结束点进行实时切断动作。3D打印头会根据切片软件生成的轮廓路径和填充路径打印,当单层实体构建完毕后,3D打印头会抬升一个层厚距离进行下一层打印,通过逐层堆积实现打印件的制造。

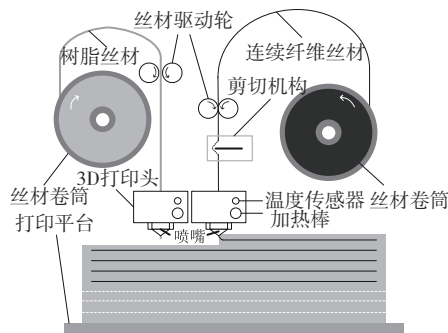


图1 FDM双喷头3D打印工艺原理图

根据上述工作原理,实验室自主搭建了双喷头3D打印实验平台,如图2所示,该实验平台采用笛卡尔式结构,X,Y,Z三轴运动相互独立。3D打印双喷头搭载于X轴,其中树脂丝材打印喷嘴直径为0.4 mm,连续纤维打印喷嘴直径为1 mm。打印制件的构建层如图3所示,连续纤维层选择连续碳纤维(CCF)作为增强体,树脂基体层选择树脂丝材作为基体进行打印,其中,树脂丝材是以尼龙6为基材添

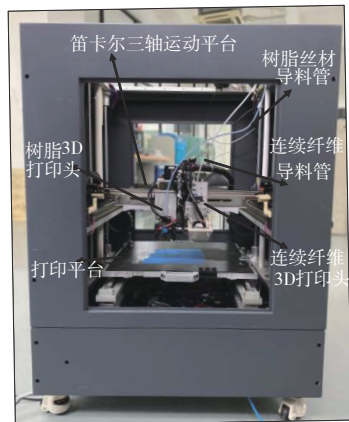


图2 连续纤维复合材料双喷头3D打印实验平台

加15%的短切CF构成的复合材料,称为短切CF增强尼龙6复合材料。通常,为增加打印制件首层附着性和整体对称性,打印制件的底层和顶层由树脂丝材打印。

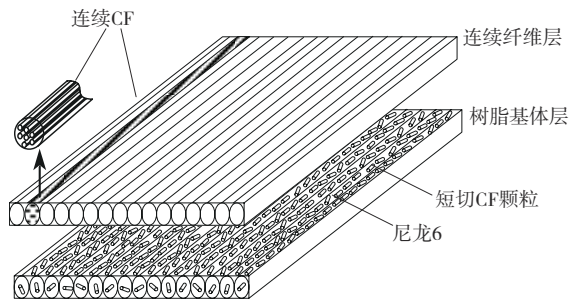


图3 连续纤维增强体和树脂基体构建层示意图

1.1 3D打印原材料

短切CF增强尼龙6复合材料:Onyx,直径1.75 mm,美国Markforged公司。

连续CF材料:CCF,直径(0.38±0.02) mm,美国Markforged公司。

1.2 主要仪器及设备

3D打印机:自主搭建的连续纤维复合材料双喷头3D打印机;

微机控制电子万能试验机:ETM 304C型,ETM5038B型,深圳万测试验设备有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):EVO15型,德国卡尔蔡司公司。

1.3 实验方案

将试样模型以STL格式导出,在切片软件中设置打印参数并进行切片,使用双喷头3D打印机打印试样。选择连续纤维打印间距(A)、连续纤维隔层数(B)、打印温度(C)和打印速度(D)4个工艺参数作为研究内容,设计4因素3水平的正交试验方法进行样条制备,因素水平表见表1。为保证打印质量,打印前将喷嘴预热至目标温度,并清除喷嘴处的残料,设定打印层厚为0.2 mm,短切CF增强尼龙6复合材料丝材填充比例为100%。打印结束后,将样品放置密封袋内,待其自然冷却到稳定状态后进行拉伸、弯曲测试。

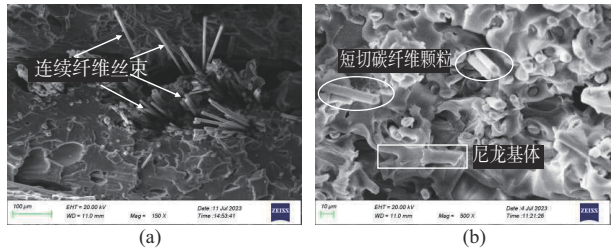
利用Solidworks三维建模软件绘制3D打印制件,采用位移加载模式,利用电子万能试验机分别参照GB/T 1447-2005和GB/T 1449-2005测试样品拉伸强度和弯曲强度。测试3次后结果取均值,拉伸和弯曲速率均为10 mm/min;截取试样并喷金后,利用SEM观察其截面形貌。

表1 因素水平表

水平	因素			
	A/mm	B/层	C/°C	D/(mm·min ⁻¹)
1	0.5	1	240	800
2	1	2	250	900
3	1.5	3	260	1000

2 结果与讨论

利用SEM对短切CF增强尼龙6复合材料和加入CCF材料的层间断裂样貌进行形态分析,其SEM照片如图4所示。由图4a可见,CCF沿铺放方向以丝束状呈单向分布,纤维束束间的孔隙是试验过程中纤维被拉出的结果。图4b是断裂截面中短切CF增强尼龙6复合材料基体的微观形貌,可以看出,短切CF颗粒被尼龙基体包覆,呈各向均匀分布,其中短切CF颗粒与尼龙基体间存在少量孔隙。



a—CCF材料微观形貌;b—短切CF增强尼龙6复合材料微观形貌
图4 打印制件层间断裂样貌SEM照片

2.1 极差分析

正交试验力学性能检测结果见表2。

表2 正交试验结果

编号	A/mm	B/层	C/°C	D/(mm·min ⁻¹)	拉伸强度/MPa	弯曲强度/MPa
1	0.5	1	250	900	109.73	119.14
2	0.5	2	260	800	93.85	108.27
3	0.5	3	240	1 000	85.93	95.82
4	1	1	240	800	80.05	89.18
5	1	2	250	1 000	76.36	84.41
6	1	3	260	900	68.54	79.05
7	1.5	1	260	1 000	51.94	67.38
8	1.5	2	240	900	46.31	65.36
9	1.5	3	250	800	43.71	60.50

为验证CCF材料的增强性能,拉伸试验组增加对照对象X1,弯曲试验组增加对照对象X2,X1和X2均为短切CF增强尼龙6复合材料打印,不添加CCF。最终打印制件的拉伸强度和弯曲强度如图5所示,X1的拉伸强度为31.43 MPa,X2的弯曲强度为30.88 MPa。该结果表明,在正交试验组各工艺参数范围内,连续纤维对打印试样的拉伸性能和弯曲性能起到增强作用。

对试验数据进行极差分析,结果列于表3。表3

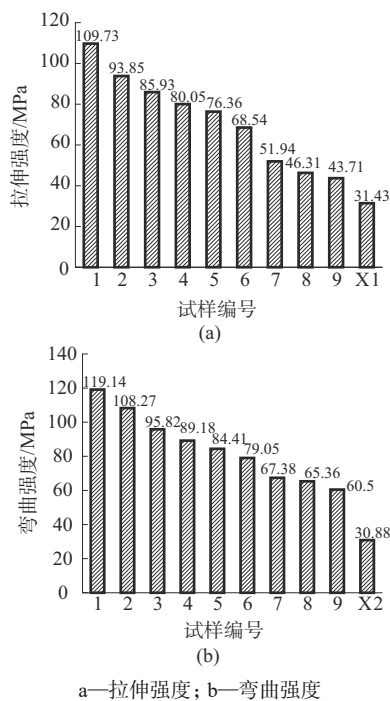


图5 打印制件的拉伸强度和弯曲强度

中 k_i 表示某一因素在 i ($i=1,2,3$)水平时的试验结果均值,极差 R 表示某一因素的极差值。各因素对试验结果的影响程度的大小可用极差值来判断。某因素的极差值越大,表明在试验范围内该因素的取值对试验结果的影响越大。由表3可知,对于制件的拉伸强度和弯曲强度,最佳试验条件均为 $A_1B_1C_2D_2$,即CCF打印间距为0.5 mm,CCF隔层数为1、打印温度为250 °C,打印速度为900 mm/min,此时制件的拉伸强度和弯曲强度达到最大值,分别为109.73 MPa和119.14 MPa,与短切CF增强尼龙6复合材料相比,打印制件的拉伸强度提升了249%,弯曲强度提升了286%。

表3 极差分析结果

性能	项目	A/mm	$B/\text{层}$	$C/^\circ\text{C}$	$D/(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$
拉伸强度	k_1	96.50	80.57	70.76	72.54
	k_2	74.98	72.17	76.60	74.86
	k_3	47.32	66.06	71.44	71.41
	R_1	49.18	14.51	5.84	3.45
弯曲强度	k_1	107.74	91.90	83.45	85.98
	k_2	84.21	86.01	88.02	87.85
	k_3	64.41	78.46	84.90	82.54
	R_2	43.33	13.44	4.56	5.31

注: k_1, k_2, k_3 表示某因素在三个水平下的均值。

对于制件的拉伸强度来说,影响因素 A, B, C, D 的极差分别为49.18, 14.51, 5.84和3.45。所以4个因素中对拉伸强度影响由强到弱依次为连续纤维打印间距、连续纤维层数、打印温度和打印速度,即

$A>B>C>D$;对于制件的弯曲强度来说,影响因素 A, B, C, D 的极差分别为43.33, 13.44, 4.56和5.31。因此4个因素中对弯曲强度影响由强到弱依次为连续纤维打印间距、连续纤维隔层数、打印速度和打印温度,即 $A>B>D>C$ 。

2.2 单因素试验分析

为了更直观地说明各因素对打印制件力学性能的影响,采用单因素法研究连续纤维打印间距、连续纤维层数、打印温度和打印速度四因素对制件拉伸强度和弯曲强度的影响。不同因素水平制件下的平均值如图6所示。

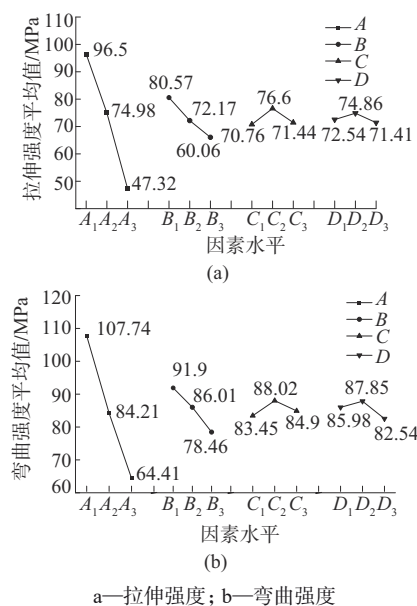


图6 拉伸强度和弯曲强度的因子各水平趋势图

由图6可知,随着CCF打印间距的增加,打印制件的拉伸强度和弯曲强度呈现减小趋势,这是因为连续纤维填充方式为等轮廓填充,打印间距越大,连续纤维之间的重叠度越小。当打印间距为0.5 mm时,连续纤维之间保持良好的接触,载荷可以有效地从基质转移到纤维,打印制件的拉伸强度和弯曲强度达到最大值,随着打印间距的增加,连续纤维之间的重叠度减小,只有部分载荷传递到连续纤维,因此随着连续纤维打印间距的增加,打印制件的力学性能呈现递减趋势。

由图6可知,随着CCF隔层数的增加,打印制件的拉伸强度和弯曲强度呈现递减趋势。连续纤维隔层数示意图如图7所示,当连续纤维隔层数为1时,CCF增强体与短切CF增强尼龙6复合材料基体逐层交替铺放,此时打印制件的连续纤维含量最多,连续纤维起到主要的承载作用,因此打印制件

的力学性能达到最高值。当连续纤维隔层数为2和3时,由于连续纤维层数减少,打印制件内部主要由CCF和短切CF增强尼龙6复合材料内的短切CF起到协同增强作用,但CCF越少,这种协同增强作用越弱,因此打印制件的力学性能呈现递减趋势。



图7 连续纤维隔层数示意图

采用SEM对打印制件的层间断裂面进行观察,其微观形貌SEM照片如图8所示。

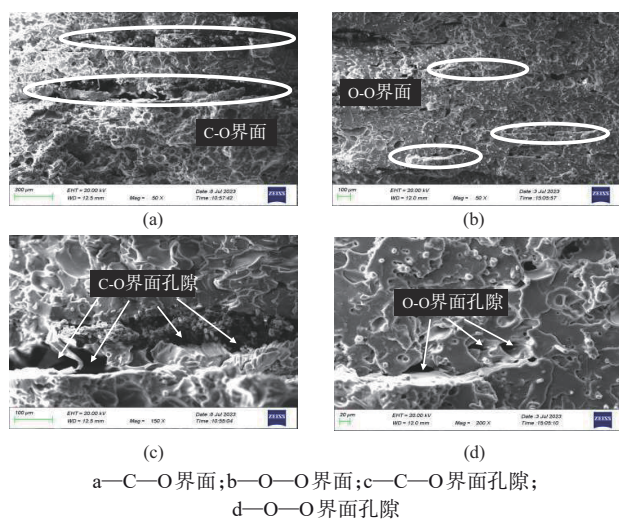


图8 打印制件层间断裂面孔隙分布图

由图8a可以看出,当连续纤维隔层数为1时,打印制件的层间结合界面为CCF与短切CF增强尼龙6复合材料基体之间(C—O)的界面,图8c为C—O界面在100 μm 选区尺寸下的微观形貌,从中可以看出C—O界面存在的孔隙主要有两种,第一种是基体材料铺放过程中丝与丝之间产生的孔隙,第二种是在基体层和增强体层间的不规则界面存在的孔隙。当发生断裂时,载荷在连续纤维和基质间交替传递,载荷在传递过程中会造成一定损失,但此时连续纤维含量较多,连续纤维的增强作用会补偿部分损失的强度,因此打印制件的力学性能达到最大值。当纤维隔层数为2和3时,层间结合界面包含两种:短切CF增强尼龙6复合材料之间(O—O)的界面和C—O界面。图8b为打印制件内部的O—O界面,由于O—O界面为同种材料的沉积层相互结合,因此孔隙量较少,由图8d可见,在20 μm 选区尺寸下对断裂面进行观察,发现O—O界面的孔隙主要

是层内沉积线在铺放过程中结合不良导致的。

随着打印温度的增加,打印制件的拉伸性能和弯曲性能呈现先增大后减小的趋势。打印温度指的是喷嘴温度,适当的喷嘴温度可以确保丝材进入喷嘴内保持一定的熔融状态并顺利挤出。不同打印温度下短切CF增强尼龙6复合材料和CCF的分布情况如图9所示。由图9a可见,当打印温度为240 $^{\circ}\text{C}$,喷嘴内的材料黏度较高,挤出时阻力较大,且挤出的短切CF增强尼龙6复合材料细丝之间黏结质量差,丝与丝之间产生孔隙,影响层间结合质量。由图9b可以看出,较低温度还会使打印制件的CCF产生剥离现象,影响打印制件的性能。由图9c可以看出,当打印温度为250 $^{\circ}\text{C}$ 时,短切CF增强尼龙6复合材料丝材丝间情况结合较好,丝间无明显间隙,且基体间可以形成良好的层间结合界面。由图9d可以看出,CCF分布均匀,断裂面无剥离现象,因此打印制件的弯曲强度达到最高值。当打印温度为260 $^{\circ}\text{C}$ 时,喷嘴内的材料偏液态,新一层材料打印时会影响未凝固的沉积层,影响材料成型质量和打印制件的力学性能。因此随着打印温度的增加,打印制件的力学性能呈现先增加后减小的趋势。

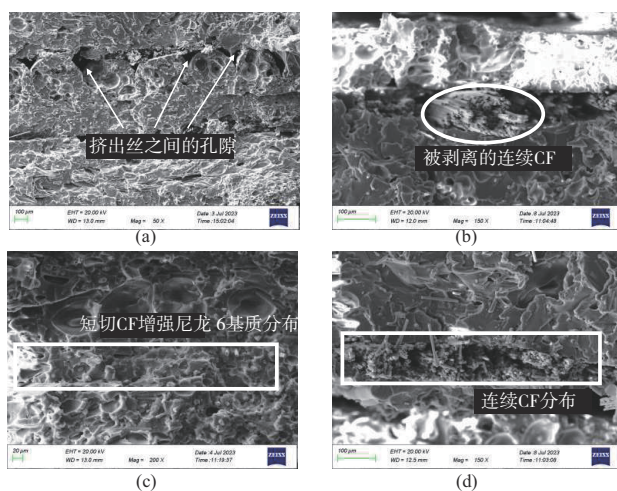


图9 不同打印温度下短切CF增强尼龙6复合材料和CCF的分布情况

打印速度是指在打印过程中喷嘴的移动速度,打印速度决定材料在喷嘴内的停留时间与整体成型效率。由图7可知,随着打印速度的增加,打印制件的拉伸强度和弯曲强度都呈现先增加后减小的趋势。打印速度过低时,单位时间内丝材挤出量过

少,打印层与沉积层结合界面较差;打印速度过高,会导致丝材在喷嘴中的停留时间过少,导致熔融不充分,影响打印制件成型性能。适当的打印速度会形成良好的层间结合界面,层内丝材均匀分布,使打印制件的力学性能达到最佳。因此随着打印速度的增加,打印制件的力学性能呈现先增加后减小的趋势。

3 结论

基于FDM 3D打印工艺,研究了不同工艺参数对CCF与短切CF增强尼龙6复合材料的拉伸强度和弯曲强度的影响,通过实验室自主搭建的双喷头3D打印机制备了拉伸制件和弯曲制件,通过正交试验分析了工艺参数对打印制件拉伸强度和弯曲强度的影响规律,确定了最佳工艺参数组合。主要结论如下:

(1)由正交试验结果分析可知,CCF与短切CF尼龙6复合材料3D打印制件拉伸强度和弯曲强度的最佳工艺参数组合均为 $A_1B_2C_2D_2$,即CCF打印间距为0.5 mm、CCF隔层数为1、打印温度为250℃、打印速度为900 mm/min。在最佳工艺参数组合下,打印制件的拉伸强度为109.73 MPa,弯曲强度为119.14 MPa与短切CF增强尼龙6复合材料相比,拉伸强度提升了249%,弯曲强度提升了286%。

(2)对正交试验结果进行极差分析,结果表明,4个因素中对拉伸强度的影响由强到弱依次为CCF打印间距、CCF隔层数、打印温度和打印速度,对弯曲强度的影响由强到弱依次为CCF打印间距、CCF隔层数、打印速度和打印温度。

(3)采用单因素法对试验结果进行分析,随着CCF打印间距的增加,打印制件的拉伸强度和弯曲强度呈现减小的趋势;随着CCF隔层数的增加,打印制件的拉伸强度和弯曲强度呈现减小的趋势;随着打印速度的增加,打印制件的拉伸强度和弯曲强度呈现先增大后减小的趋势;随着打印温度的增加,打印制件的拉伸强度和弯曲强度呈现先增大后减小的趋势。

(4)利用SEM观察打印制件的微观形貌,进一步探究了打印制件的层间断裂形貌特性和层内丝材分布规律。为提升CCF和短切CF增强尼龙6复合材料3D打印制件的力学性能和优化3D打印基础工艺参数提供了理论依据与数据基础。

参考文献

[1] Cheng P, Peng Y, Li S, et al. 3D printed continuous fiber rein-

forced composite lightweight structures: A review and outlook[J]. *Composites Part B: Engineering*, 2023, 250. DOI: 10.1016/j.compositesb.2022.110450.

[2] 龙昱,李岩,付昆昆. 3D打印纤维增强复合材料工艺和力学性能研究进展[J]. *复合材料学报*, 2022, 39(9): 4 196-4 212.

Long Yu, Li Yan, Fu Kunkun. Recent advances in 3D printed fiber reinforced composites: Processing technique and mechanical performance[J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2022, 39(9): 4 196-4 212.

[3] Tian X, Todoroki A, Liu T, et al. 3D printing of continuous fiber reinforced polymer composites: Development, Application, and prospective[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers*, 2022, 1(1). DOI: 10.1016/J.CJMEAM.2022.100016.

[4] 邢悦,何鹏飞,李竞龙,等. 连续纤维增强聚合物复合材料增材制造工艺研究进展[J]. *复合材料学报*, 2023, 40(7): 3 703-3 721.

Xing Yue, He Pengfei, Li Jinglong, et al. Additive manufacturing for continuous fiber-reinforced polymer composites: A review on processing technique[J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2023, 40(7): 3 703-3 721.

[5] Zhang H, Huang T, Jiang Q, et al. Recent progress of 3D printed continuous fiber reinforced polymer composites based on fused deposition modeling: A review[J]. *Journal of Materials Science*, 2021, 56(23): 12 999-13 022.

[6] Carneiro O S, Silva A F, GOMES R. Fused deposition modeling with polypropylene[J]. *Materials & Design*, 2015, 83: 768-776.

[7] Ning F, Cong W, Qiu J, et al. Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling[J]. *Composites Part B: Engineering*, 2015, 80: 369-378.

[8] Love L J, Kunc V, Rios O, et al. The importance of carbon fiber to polymer additive manufacturing[J]. *Journal of Materials Research*, 2014, 29(17): 1 893-1 898.

[9] Tekinalp H L, Kunc V, Velez-garcia G M, et al. Highly oriented carbon fiber-polymer composites via additive manufacturing[J]. *Composites Science and Technology*, 2014, 105(10): 144-150.

[10] Ishii K, Todoroki A, Mizutani Y, et al. Bending fracture rule for 3D-printed curved continuous-fiber composite[J]. *Advanced Composite Materials*, 2018, 28: 1-13.

[11] Dickson A N, Barry J N, McDonnell K A, et al. Fabrication of continuous carbon, glass and Kevlar fibre reinforced polymer composites using additive manufacturing[J]. *Additive Manufacturing*, 2017, 16: 146-152.

[12] Mei H, Ali Z, Ali I, et al. Tailoring strength and modulus by 3D printing different continuous fibers and filled structures into composites[J]. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 2019, 2(2): 312-319.

[13] Yu T, Zhang Z, Song S, et al. Tensile and flexural behaviors of additively manufactured continuous carbon fiber-reinforced polymer composites[J]. *Composite structures*, 2019, 225. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111147.

[14] Yavas D, Zhang Z, Liu Q, et al. Interlaminar shear behavior of

- continuous and short carbon fiber reinforced polymer composites fabricated by additive manufacturing[J]. Composites Part B: Engineering, 2021, 204. DOI:10.1016/j.compositesb.2020.108460.
- [15] Touchard F, Chocinski-arnault L, Fournier T, et al. Interfacial adhesion quality in 3D printed continuous CF/PA6 composites at filament/matrix and interlaminar scales[J]. Composites Part B: Engineering, 2021, 218. DOI:10.1016/j.compositesb.2021.108891.
- [16] Mosleh N, Rezadoust A M, Dariushi S. Determining process-window for manufacturing of continuous carbon fiber-reinforced composite Using 3D-printing[J]. Materials and Manufacturing Processes, 2020, 36:409–418.
- [17] Tian X, Liu T, Yang C, et al. Interface and performance of 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2016, 88: 198–205.

告别6年重磅回归上海

业界对CHINAPLAS的期待值已拉满

我国经济回升向好,亚洲继续担当世界经济增长的“火车头”。随着经济持续恢复,被誉为经济“晴雨表”的会展业强势复苏。继在2023年交出亮眼成绩单后,“CHINAPLAS 2024 国际橡塑展”定档2024年4月23~26日,将启用上海国家会展中心的15个展厅,以逾38万m²的展示面积吸纳全球超过4 000家展商。

“去碳化”和“高值化”工业制造浪潮,为橡塑业高质量发展带来新一轮的黄金机遇。作为亚洲领先的塑料橡胶展,“CHINAPLAS 国际橡塑展”将全力推动橡塑业高端化、智能化、绿色化发展。展会时隔6年强势回归上海,对于这次华东展的阔别重逢,橡塑业界期待值已拉满。

1. 看好我国市场,抢占新赛道

工业是宏观经济的“压舱石”,是稳增长的主战场。工业和信息化部联合相关部门近期发布化工、建材、汽车、轻工业、电子信息制造业等十个重点行业稳增长工作方案。通过组织新能源汽车、智能家居、绿色建材下乡,加快高端医疗装备、机器人等创新产品推广应用等一系列举措,着眼于充分激发内需潜力。

全球一半以上的新能源汽车行驶在我国。随着电池技术和充电技术的不断突破,乘联会预测2023年全年我国新能源乘用车销量将达850万辆,渗透率有望达到36%。2023年前8个月,光伏发电的装机达到113 GW,同比增长超过150%。从智能扫地机器人到智能音箱、智能厨具、智能冰箱等,越来越多的智能家电“飞入寻常百姓家”;预计到2023年底,我国智能小家电的市场规模有望达到1 924亿元。艾媒咨询预计2023年我国预制菜市场规模将达到5 100亿元,为包装市场带来新需求、新机遇。我国医疗器械市场规模已跃居全球第二位;高端医疗设备相关技术发展迅速,预计到2030年我国有源医疗器械的市场规模有望达到496亿元。

雅式展览服务有限公司总经理梁雅琪女士谈到,今年他们在与橡塑供应商的沟通中明显地感受到,无论是外资还是本土企业,都非常看好我国市场,对于挖掘我国市场的商机抱有坚定的信心。

2. RCEP全面生效,外贸注入新动力

内需步入复苏轨道,外贸表现也可圈可点。2023年6月,《区域全面经济伙伴关系协定》(RCEP)对15个签署国全面生效,为全球贸易投资增长注入强劲动力。大部分RCEP

成员国,其最大的贸易伙伴是我国,2023年上半年,我国与RCEP其他成员国进出口总额为6.1万亿元,对我国外贸增长的贡献率超过20%。

以汽车制造业为例,我国车企加速布局海外市场,2023年前8个月汽车出口294.1万辆,同比增长61.9%。2023年上半年,电动载人汽车、锂离子蓄电池、太阳能电池外贸“新三样”合计出口增长61.6%,拉动整体出口增长1.8%。我国向全球提供50%的风电设备、80%的光伏组件设备,大大降低全球可再生能源的利用成本。数字背后是外贸加速提质增效,产业升级厚积薄发,“中国智造”势头强劲,并拉动对橡塑解决方案的需求旺盛。与此同时,外资企业继续加大在华落户和投资。2023年1~8月全国吸收外资8 471.7亿元,全国新设立外商投资企业33 154家,同比增长33%。

展会主办方全球买家团队在走访海外市场时频频收到积极反馈,对于“CHINAPLAS 2024 国际橡塑展”,多个国家及地区的商协会及企业纷纷表示期待及支持,并启动组团到我国参观展会的工作。

3. 新天地广作为,实力展商“秀肌肉”

随着经济复苏的还有橡塑业界的信心。从橡塑企业预留“CHINAPLAS 2024 国际橡塑展”展位的火爆情况可见一斑。“拿展位、秀实力、挖商机、树品牌”,成了参展商在疫后复苏的广阔天地里大展身手的强烈需求。回应业界的参展诉求,今届展会面积将比2018年上海展增长超过11%。

在展会规模进一步壮大的同时,展商展品亦更加多元化。国际展商踊跃回归,欧洲展团预计恢复到疫情前的规模;扎根我国本土的国企、民企纷至沓来,“专精特新”、“小巨人”企业闪耀登场。这些行业领域内的佼佼者同台竞技,既带来领先的突破性技术,又将呈现潜力无限的自主创新。橡塑技术日新月异,应用不断向纵深发展,4 000+家展商将为各应用领域的专业人士秀出探索创新、提升技能、提高效率及迅速应对市场的创新环保解决方案及智能生产技术,以科技创新这把“金钥匙”激活橡塑业高质量发展的新动能。

梁雅琪女士表示,2023年CHINAPLAS展会面积和观众人数再创新高,给了他们极大的信心与决心。回到上海这片土地,对于他们来说是一个新的起点、新的征程,展会将承接积累多时的市场需求与期待。再次迎来关键一年,他们将奋力拼搏,只争朝夕,为业界献上一场精彩纷呈的年度盛会。期盼着与大家在上海见面,共同推动橡塑业高质量发展。

(雅式展览服务有限公司)