

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.03.012

PC/CCF 制备工艺对浸渍程度的影响及3D打印性能分析

张帆, 陈港, 贵树峰, 张俊
(武汉理工大学机电工程学院, 武汉 430070)

摘要: 针对传统基于螺杆挤出的热塑性材料浸渍程度低而导致丝材性能不高的问题, 基于“熔融-溶剂”法结合作用下的复合丝材制备工艺, 以聚碳酸酯(PC)为基体材料, 连续碳纤维(CCF)为增强体, 研究拉丝速度、浸渍辊个数、浸渍温度对浸渍程度影响关系, 并通过扫描电子显微镜进行对比分析, 得到PC/CCF复合材料的最佳工艺参数, 即拉丝速度为5 mm/min, 浸渍温度为280 °C, 浸渍辊个数为3, 此时复合丝材浸渍程度可达99.62%。通过对不同浸渍程度PC/CCF 3D打印样件力学性能对比, 表明较高的复合丝材浸渍程度能够较大地提升样件的力学性能。

关键词: 连续碳纤维; 3D打印; 浸渍程度; 最佳工艺参数

中图分类号: TQ37.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)03-0069-07

Influence of PC/CCF Preparation Process on Impregnation Degree and 3D Printing Performance Analysis

Zhang Fan, Chen Gang, Gui Shufeng, Zhang Jun

(School of Electrical and Mechanical Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract : Aiming at solving the problem of low impregnation degree of traditional thermoplastic materials based on screw extrusion, based on the composite preparation process of "melt-solvent" method, using polycarbonate (PC) as matrix material and continuous carbon fiber as reinforcement, the influences of wire drawing speed, the number of impregnation rolls and impregnation temperature on impregnation degree were studied. The optimum parameters of PC/CCF composites were obtained by comparing and analyzing the scanning electron microscope images. The impregnation degree of PC/CCF composites can reach 99.62% when the drawing speed is 5 mm/min, impregnation temperature is 280 °C and the number of impregnation rolls is 3. By comparing the mechanical properties of PC/CCF composites with different degrees of impregnation, the results show that higher degree of impregnation can bring greater mechanical properties improvement.

Keywords : continuous carbon fiber ; 3D printing ; degree of immersion ; optimum parameter

3D打印性能与材料直接相关^[1], 为了获得更高的比强度和比模量的打印耗材, 将增强纤维引入热塑性基体材料中, 使得打印零件能在复杂承重、承压环境中使用, 在航空航天、国防工业方面具有广泛需求^[2-3]。

目前较为主流的纤维增强打印技术主要是将短纤维增强体材料按照不同的制备工艺复合到3D打印耗材中, 形成纤维增强的复合丝材^[4]。王鹤^[5]通过将短纤维与聚丙烯光敏树脂乳液混合制备3D打印用光敏树脂。Blok等^[6]研究发现嵌入超细短碳纤维(1~100 μm)的复合丝材展现出更好的打印能力, 但

与纯热塑性材料相比, 力学性能仅略有提高。从材料增强效果来看, 相比于性能较高的工程塑料, 并未作出较大的改善。

近年来, 随着碳纤维原料越来越广泛、制造越来越简单, 科研人员以连续碳纤维(CCF)为增强体加入树脂基体材料中, 制备CCF复合丝材进行3D打印^[7]。对于3D打印用CCF增强复合丝材制备工艺, 当前国内外主流方式一般采用熔融法及溶剂法。

熔融法又被称为熔体浸渍技术^[8], 装置简单, 复合材料生产周期短, 并且几乎对任何树脂都能完成

通信作者: 张帆, 副教授, 研究方向为复合材料增材制造

收稿日期: 2023-02-09

引用格式: 张帆, 陈港, 贵树峰, 等. PC/CCF 制备工艺对浸渍程度的影响及3D打印性能分析[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(3): 69-75.

Zhang Fan, Chen Gang, Gui Shufeng, et al. Influence of PC/CCF preparation process on impregnation degree and 3D printing performance analysis[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(3): 69-75.

对纤维束的浸渍。但是纤维表面呈化学惰性难以与其它材料发生结合,并且纤维表面光滑以及表面能较低,而热塑性树脂一般黏度较大,熔体不易流动,难以浸入纤维束内部与纤维产生有效的界面结合作用^[9]。美国的 Azdel、芬兰的 Ahlstrom、德国的 EKT 等公司都已经实现了熔融浸渍玻璃纤维热塑性预浸料汽车零部件的工业化生产^[10]。范聪泽等^[11]利用螺杆进料给熔融腔室内恒定的压力,利用熔融浸渍工艺实现复合丝材制备。Yao 等^[12]利用熔融浸渍工艺制备了尼龙 6(PA6)/CCF 复合材料。宋崇鑫^[13]针对碳纳米管在增强高分子材料中容易团聚的现象,提出了新型熔融浸渍工艺进行高碳含量的聚醚醚酮和 PA6 的复合薄膜制备。Yu 等^[14]自行设计了熔融浸渍模具,研究了用于 3D 打印的连续玻纤增强聚乳酸长丝的浸渍建模机理。

溶液法依赖于毛细压力推动低黏度树脂穿过纤维束内部孔隙,实现对纤维单丝的浸润^[14]。待纤维束完成浸渍后,再通过加热将有机化学溶剂去除,即可得到浸润性优异的预浸料。此方式的工艺以及配套装置都相对简单、成本较低,但是浸渍过程都需要找到合适的溶剂,而对于一般的高分子链的树脂材料,难以找到合适的有机溶剂。另外,当纤维束完成浸渍后,当通过加热除去溶剂时,若溶剂去除不彻底,会使得预浸料内部留下一定的孔隙,从而降低丝束的力学性能。因此,该工艺目前也只是适用高黏度、能溶解的树脂基体材料对纤维束的浸渍^[15]。

熔融法和溶剂法制得的复合丝材质量都需要通过纤维和树脂浸渍程度的高低来表达,通过实际打印效果来表现。当制备的复合丝材浸渍较低时,纤维与树脂将出现明显的分离现象,在进行 3D 打印时会造成打印零件内部出现气泡,从而影响打印零件性能。目前主流的熔融法中大多选用螺杆挤料方式,为浸渍过程提供压力,使得高黏度树脂在螺杆压力的推动下浸入纤维束内部,但是由于螺杆内部温度不便于控制会导致内部熔融树脂碳化,并且熔融热塑性树脂黏度大,树脂难以充分浸入纤维束内部,造成内部无树脂全纤维,外部纤维树脂部分混合,浸渍不完全。目前主流的溶剂法是先是将树脂溶于有机溶剂中,然后将短纤维混入树脂溶液或者将长纤维穿过树脂溶液以达到浸渍目的,但溶剂法丝材制备时溶剂难以挥发彻底,并且溶剂挥发过

程中会导致丝材表面产生气泡,降低纤维与树脂的浸渍程度,影响复合丝材的质量。针对树脂与纤维浸渍程度不足的问题,通过结合熔融法和溶剂法两种制丝工艺的的优点以及优化,以聚碳酸酯(PC)和 CCF 为主体研究制备工艺参数对成型丝材浸渍程度的影响规律,得到了制备 PC/CCF 复合丝材的最优工艺参数,并进行 3D 打印测试分析。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PC:PC-1100,韩国乐天集团;

CCF:T300-1K,日本东丽公司。

1.2 主要仪器及设备

预浸丝成型设备:自制;

连续纤维 3D 打印机:自制;

万能试验机:SmartTest 型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):JSM-5610 型,日本株式会社。

1.3 试样制备

采用“熔融-溶剂”法结合的制备工艺制备 PC/CCF 复合丝材,其工艺流程图如图 1 所示。碳纤维原丝缠绕在原丝滚筒上,依次通过高温展丝退浆装置、对中导向装置,通过入口进入溶液浸渍装置,经内置的数个辊轮将 PC 乳液挤进 CCF 束的缝隙中,然后通过出口离开溶液浸渍装置,进入到高温干燥装置,经高温去除初步成型复合线材中存在的气泡,然后进入熔融浸渍装置,在特定的温度下,通过挤出机挤入线材 PC 树脂,保证熔融浸渍腔内充满树脂,在外界合适的牵引速度下,经数个辊轮,经成型出口制成复合线材。

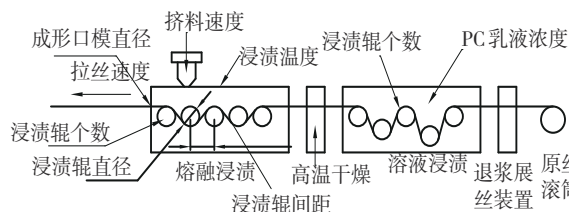


图1 浸渍过程中的制备工艺流程图

制备浸渍参数对 PC/CCF 复合丝材成型性能有着极其重要的影响,基于熔融、溶剂结合方式 PC/CCF 复合丝材制备过程中的浸渍参数众多。其中对复合丝材性能影响较大的参数主要包括拉丝速度、熔融浸渍辊个数、浸渍温度、浸渍辊直径、溶剂

浸渍辊个数、溶液浓度等,还有一些参数比如浸渍口模直径、浸渍辊间距、基体丝材挤料速度等都会对PC/CCF复合丝材成型性能造成一定程度的影响。

笔者选取拉丝速度、浸渍温度、熔融浸渍辊个数作为研究变量,固定其它参数不发生改变,探究丝材制备的浸渍工艺参数对复合丝材浸渍程度以及复合丝材成型界面及力学性能的影响分析。

1.4 实验设计

采用Design-Expert设计软件中的响应面Box-Behnken实验设计方法,利用模型模拟拉丝速度(A)、浸渍温度(B)、浸渍辊个数(C)这三个工艺参数对浸渍程度的影响,并优化工艺参数得到最优解。首先设计三因素三水平一响应实验,如表1所示。

表1 浸渍程度影响模拟实验设计参数

水平	因素		
	A/(mm·min ⁻¹)	B/°C	C/个
-1	5	240	1
0	25	260	3
1	45	280	5

1.5 测试与表征

通过测量连续纤维复合丝材的孔隙率进行间接的浸渍程度表征,浸渍程度低的复合丝材孔隙率一般较大,反之浸渍程度较高的复合丝材孔隙率一般较小。对于复合丝材孔隙率的计算,通常按照GB/T 2577-2005进行,具体计算过程如下:

$$\phi = \frac{(T_p - D_p)}{T_p} \times 100\% \quad (1)$$

式中: ϕ ——复合丝材的孔隙率;

T_p ——材料理论总密度,g/cm³;

D_p ——材料实际总密度,g/cm³。

$$T_p = \frac{M}{\frac{M_{cf}}{\rho_{cf}} + \frac{M - M_{cf}}{\rho_{pc}}} \quad (2)$$

式中: ρ_{cf} ——纤维束密度,g/cm³;

ρ_{pc} ——PC密度,g/cm³;

M_{cf} ——纤维束实际质量,g;

M ——复合丝材质量,g。

$$D_p = \frac{M}{V} \quad (3)$$

式中: V ——体积,cm³。

对于实验制得的PC/CCF复合丝材,测出其孔隙率后,通过孔隙率与浸渍程度间的关系,即可得到复合丝材的浸渍程度实验值 D_{EXP} ,表示为:

$$D_{EXP} = 100\% - \phi \quad (4)$$

为评估不同工艺参数下制备的复合丝材浸渍程度的表现,通过SEM对线材进行图像分析。

为评估不同浸渍程度对打印样件的性能影响,基于万能试验机对样件进行拉伸测试,拉伸速度为1 mm/min。此外通过SEM对样件进行图像分析。

1.6 实验分析

将所测的响应数据输入Design-Expert软件中进行数据拟合,具体响应结果列于表2。

表2 试验响应结果

水平	因素			浸渍程度/%
	A/(mm·min ⁻¹)	B/°C	C/个	
1	5	240	3	95.51
2	5	260	1	97.13
3	5	260	5	98.89
4	5	280	3	99.62
5	25	240	1	93.75
6	25	240	5	95.87
7	25	260	3	99.46
8	25	260	3	98.96
9	25	260	3	97.95
10	25	260	3	98.86
11	25	260	3	98.76
12	25	280	1	97.16
13	25	280	5	98.12
14	45	240	1	91.15
15	45	260	1	95.11
16	45	260	5	95.84
17	45	280	3	96.87

根据表2的实验数据,利用DOE软件对响应结果进行拟合分析,并通过数字量化反映每个工艺参数对响应结果的影响关系列于表3,建议采用二次方模型对工艺参数和响应进行拟合。

表3 浸渍程度的不同拟合模型的综合分析

来源	对应P值	校正值R ²	预测值R ²
线性模型	0.003 5	0.553 0	0.443 0
2FI模型	0.930 3	0.443 3	0.057 0
二次方模型	<u>0.002 1</u>	<u>0.891 0</u>	<u>0.445 3</u>
三次方模型	0.153 4	0.942 2	

浸渍程度的二次方模型的方差分析列于表4。

由表4可得,在实验参数设定范围内,拉丝速度、浸渍温度对纤维浸渍有极显著的影响,浸渍辊个数对浸渍程度有显著影响,加工温度的平方和牵引速度的平方对纤维浸渍程度影响显著,其它各项对浸渍程度影响不显著。失拟项不显著说明未知因素对实验的干扰性较小。模型检验非常显著地说明拟合模型实验的实际情况拟合得很好,能够较好地反映纤维束浸渍程度和浸渍温度、拉丝速度、

表4 浸渍程度二次方模型方差分析

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	78.38	9	8.71	15.53	0.000 8	极显著
<i>A</i>	18.54	1	18.54	33.06	0.000 7	极显著
<i>B</i>	29.99	1	29.99	53.47	0.000 2	极显著
<i>C</i>	3.88	1	3.88	6.91	0.033 9	显著
<i>AB</i>	0.65	1	0.65	1.16	0.318 1	
<i>AC</i>	0.27	1	0.27	0.47	0.513 8	
<i>BC</i>	0.34	1	0.34	0.60	0.464 0	
<i>A</i> ²	6.54	1	6.54	11.66	0.011 2	显著
<i>B</i> ²	13.10	1	13.10	23.36	0.001 9	非常显著
<i>C</i> ²	2.76	1	2.76	4.91	0.062 2	
残差	3.93	7	0.56			
失拟性	2.74	3	0.91	3.07	0.153 4	不显著
纯误差	1.19	4	0.30			
总差	82.30	16				

注: $P<0.001$ 时为极显著, $0.001<P<0.01$ 时为非常显著, $0.01<P<0.05$ 为显著。

浸渍辊个数等工艺参数之间的关系。因此所得的二次方模型能够较好地预测纤维浸渍程度随着工艺参数的变化规律。

响应结果二次方拟合模型的传递函数如下式:

$$\text{浸渍程度} = 98.80 - 1.52 \times A + 1.94 \times B + 0.7 \times C + 0.4 \times AB - 0.26 \times AC - 0.29 \times BC - 1.25 \times A^2 - 1.76 \times B^2 - 0.81 \times C^2$$

传递函数中, A, B, C 从 $-1, 0, 1$ 中取值,得到的浸渍程度值为理想情况,各项因素的系数绝对值越大表示该因素对响应的的影响程度越大。各因素的系数之前的正负号,代表该因素对响应影响的正负相关性,若系数前为正号,表示该因素对响应的的影响呈正相关性,反之亦然。

通过分析复合丝材浸渍程度的传递函数可知,浸渍温度对复合丝材浸渍程度影响最大,在一定范围内随着浸渍温度提高,制备的复合丝材浸渍程度越好;拉丝速度与制备的复合丝材浸渍程度成负相关性,即拉丝速度越大,复合丝材浸渍程度越差;浸渍辊个数对复合丝材浸渍程度影响最小,在一定范围内成正相关性,即当浸渍辊个数增多时,复合丝材浸渍程度提高。

2 结果与讨论

2.1 线材浸渍程度分析

(1) 拉丝速度对浸渍程度的影响分析。

在一定浸渍辊个数和浸渍温度的情况下,随着拉丝速度的增大PC/CCF复合丝材浸渍程度呈现单调递减的趋势,拉丝速度对浸渍程度的影响如图2所示。拉丝速度决定纤维丝束在溶液浸渍腔和熔融浸渍腔中停留的时间,即熔融树脂或树脂乳液与

纤维束的浸渍时间。树脂完全浸渍纤维束需要一定的时间,通过设定较低的拉丝速度,可以使得纤维束与树脂有足够的接触时间,并使得树脂浸入纤维束内部,进而使得制备的PC/CCF复合丝材的浸渍程度提高。

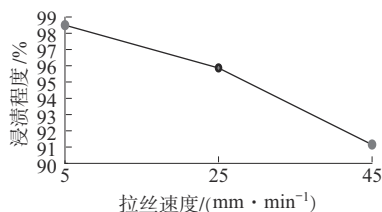
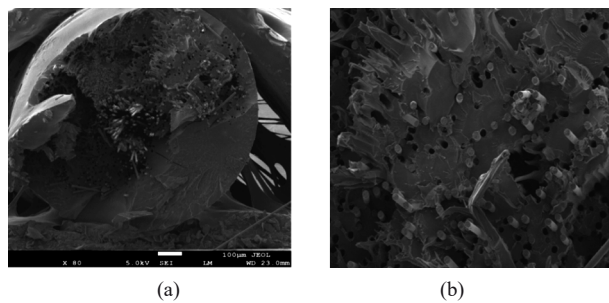


图2 拉丝速度对浸渍程度的影响

为了探究拉丝速度对于复合丝材界面的影响,分别取拉丝速度为25,45 mm/min制取的复合丝材,其SEM照片如图3所示。可以看出,图3a较图3b的纤维与树脂表面结合性更好,并且纤维成单丝状态分散在树脂内部,能更利于复合丝材的力学性能传递。从图3b可以看出,当拉丝速度较快时,复合丝材内部中某些地方纤维束与树脂是分开的,并且复合丝材内部有一定的孔隙,所以速度过快会导致复合丝材力学性能下降。



a—25 mm/min; b—45 mm/min

图3 不同拉丝速度下的SEM图(放大100倍)

(2) 浸渍辊个数对浸渍程度的影响分析。

在拉丝速度与浸渍温度一定的情况下,当浸渍辊个数小于3时,浸渍程度与浸渍辊个数呈正相关,即浸渍辊个数越多,复合丝材浸渍程度越高,孔隙率越低,浸渍辊个数对浸渍程度的影响如图4所示。其主要原因在于随着浸渍辊个数的增加,一方面使得纤维在浸渍箱内停留的长度变长,与PC树脂接

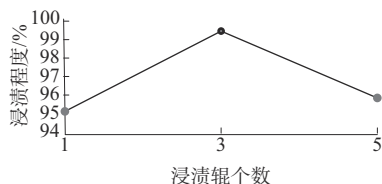
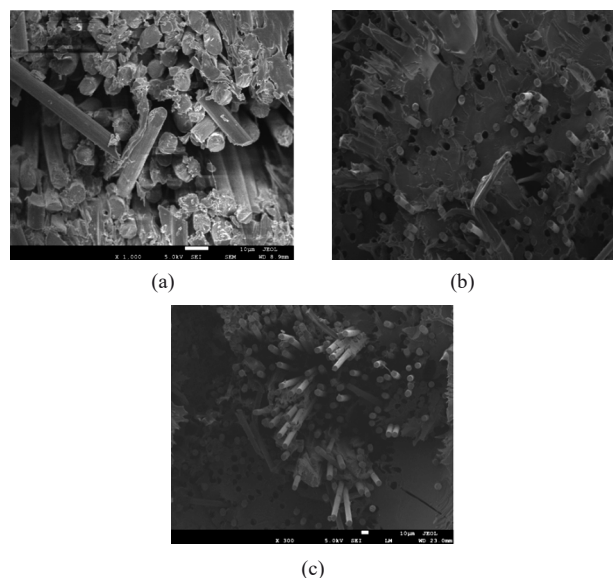


图4 浸渍辊个数对浸渍程度的影响

触的面积增多,浸渍时间延长;另一方面连续纤维束与浸渍辊间形成的楔形空间数增多,使得PC树脂浸渍更加充分,但是当浸渍辊个数增加到3以上时,浸渍程度变差。这是由于总体建压增大,使得浸渍在纤维束内部的树脂有部分被压力挤出。

为了探究浸渍辊个数变化对复合丝材界面的影响,取浸渍个数为1,3,5个的复合丝材,其SEM照片如图5所示。



a—浸渍辊个数为1;b—浸渍辊个数为3;c—浸渍辊个数为5

图5 不同浸渍辊个数的SEM图(放大300倍)

分析图5a可知,当浸渍辊个数较少时,PC树脂浸渍不充分,复合丝材内部存在空隙;图5b显示当浸渍辊个数适当时,复合丝材内部孔隙明显减少,CCF单丝间充满树脂材料,复合材料界面结合性好;图5c显示,当浸渍辊个数较多,所形成的局部压力过大,会将原本挤入纤维束内部的PC树脂挤出纤维束,使得纤维束内部形成孔隙。

(3)浸渍温度对浸渍程度的影响分析。

在设定其它参数不变的前提下,浸渍温度与浸渍程度在一定的温度范围内呈正相关,浸渍温度越高,所制备的连续纤维复合丝材的浸渍程度越高,浸渍温度对浸渍程度的影响如图6所示。温度上升到一定值以后,浸渍程度变化随着温度的变化较为平缓,对于PC材料,当由低温变为较高温度时,树脂的黏度降低,树脂更容易浸入纤维束内部,制备的复合丝材浸渍程度变大。但是温度升高到一定程度后,PC的黏度变化较小,导致复合丝材浸渍程度变化也较小。取浸渍温度为240,260,280℃的复合丝材,其SEM照片如图7所示。

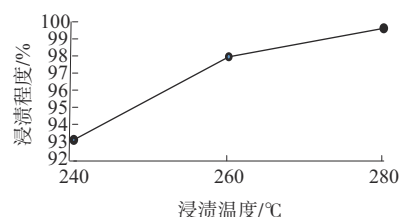
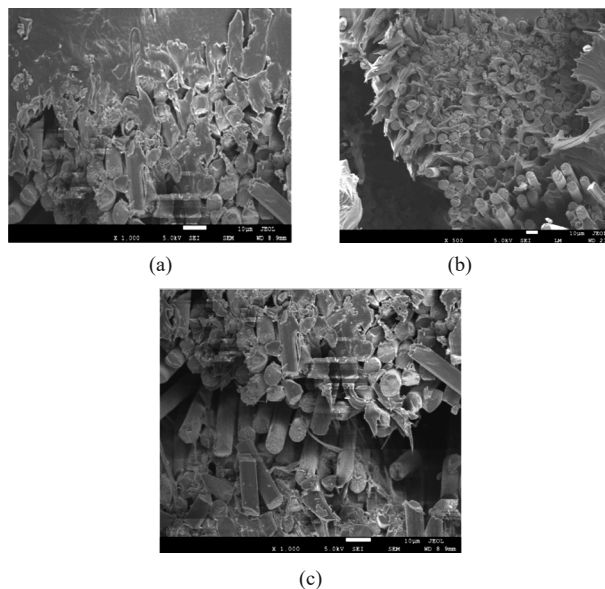


图6 浸渍温度对浸渍程度的影响



浸渍温度:a—240℃;b—260℃;c—280℃

图7 不同浸渍温度的SEM图(放大300倍)

从图7a可以看出,当浸渍温度较低时,纤维与PC树脂分隔明显,纤维束内部并未浸入大量树脂,主要原因是浸渍温度过低,树脂黏度较大,流动性差,导致树脂难以浸入纤维束内部;图7b可以明显观察到纤维单丝周围均匀分布着PC树脂。通过观察图7a与图7b可以得出,随着温度的升高,纤维与树脂间界面结合性提高,主要是温度升高,树脂黏度降低,纤维束内更容易浸入树脂材料;由图7c可以观察到,纤维单丝间树脂含量较少。通过结合图7b与图7c可知,当温度升高到一定程度后,树脂流动性太大,导致复合丝材成型时PC树脂难以停留在纤维束内部,因此也会导致纤维与树脂间结合性较差。综合以上分析过程可知,浸渍温度会影响基体树脂的黏度,进而影响纤维与树脂间界面结合性,因此在复合丝材制备过程中,控制好合适的浸渍温度也至关重要。

综上可知,当拉丝速度为5 mm/min,浸渍温度280℃,浸渍辊个数为3时,可得到浸渍程度为99.62%性能最佳的复合丝材。

2.2 丝材浸渍程度对3D打印样件力学性能影响

研究PC/CCF复合丝材不同浸渍程度对其3D打印复合材料性能的影响,通过调整各工艺参数得到不同浸渍程度的复合丝材。设定3D打印参数为打印温度260℃,底床温度80℃,打印速度300 mm/min,打印层高0.2 mm,打印线宽0.8 mm。

PC/CCF复合丝材拉伸性能见表5。以纯干(即不做任何处理的碳纤维原丝)纤维浸润方式制备的丝材作为对照组,即表5中第一组,通过改变纤维与PC树脂的浸渍程度,研究3D打印用PC/CCF复合丝材浸渍程度对力学性能的影响。

由表5可见,随着浸渍工艺改进,PC/CCF复合丝材浸渍程度达到98.35%时,打印件拉伸强度提高到327.55 MPa,与不做任何工艺改进的PC/CCF复合丝材(浸渍程度为10.08%,其打印件的拉伸强度为205.16 MPa)相比提高了59.6%。同时浸渍程度为10.08%的拉伸弹性模量为57.6 GPa,而浸渍程度提升到98.35%时,打印件的拉伸弹性模量提高到85.47 GPa,增加了48.4%。

表5 PC/CCF复合材料的拉伸性能

CF复合丝材浸渍程度/%	拉伸强度/MPa	拉伸弹性模量/GPa
10.08	205.16	57.60
30.02	270.1	64.54
72.15	272.63	77.40
98.35	327.55	85.47

为了探究复合丝材浸渍程度不同对于3D打印复合材料界面的影响,分别对浸渍程度为10.02%,98.35%的打印样件进行SEM观察,其SEM照片如图8所示。

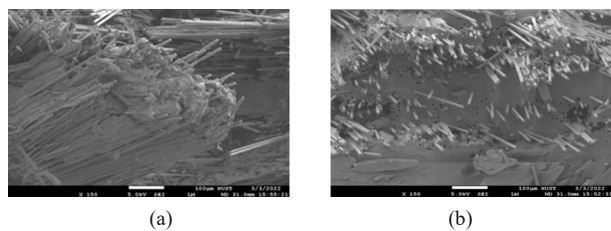


图8 不同浸渍程度的SEM图(放大300倍)
浸渍程度:a—10.08%;b—98.35%

从图8可以看出,浸渍程度为10.08%的复合丝材打印样件中纤维呈蓬松状态,纤维与树脂结合性较差,采用低浸渍程度的复合丝材进行3D打印时,打印件内部缺陷较明显,打印件内部存在纤维与树脂未结合的情况,会导致样件内部存在大量孔隙,影响打印件内部纤维与树脂间载荷传递。复合丝材浸渍程度为98.35%时,打印件内部单丝间充满树

脂,纤维与树脂结合性很好。

3 结论

(1)探讨了PC/CCF复合丝材制备工艺参数对成型的复合丝材浸渍程度的影响规律。针对拉丝速度、浸渍温度、浸渍辊个数三个主要工艺参数对复合丝材的性能影响规律进行了探究:拉丝速度与复合丝材浸渍程度呈单调递减趋势;浸渍温度升高,浸渍程度先增大后维持基本不变;浸渍辊个数增多,浸渍程度先增大后降低。经实验对比可得,当拉丝速度设置为5 mm/min,浸渍温度设置280℃,浸渍辊个数设置为3时,可得到浸渍程度为99.62%性能优异的丝材。

(2)研究了PC/CCF复合丝材浸渍程度对3D打印样件性能的影响。一定范围内,复合丝材浸渍程度越大,打印样件的力学性能越好。浸渍程度低的复合丝材打印样件内部纤维呈蓬松状态,纤维与树脂结合性较差。

参考文献

- [1] Le-Bail A, Maniglia B C, Le-Bail P. Recent advances and future perspective in additive manufacturing of foods based on 3D printing[J]. Current Opinion in Food Science, 2020, 35:54-64.
- [2] Palanikumar K, Mudhukrishnan M. Technologies in additive manufacturing for fiber reinforced composite materials: A review[J]. Current Opinion in Chemical Engineering, 2020, 28:51-59.
- [3] Joshi S C, Sheikh A A. 3D printing in aerospace and its long-term sustainability[J]. Virtual and Physical Prototyping, 2015, 10(11): 175-185.
- [4] Wellekötter J, Resch J, Baz S, et al. Insights into the processing of recycled carbon fibers via injection molding compounding[J]. Journal of Composites Science, 2020, 4(4). DOI: 10.3390/JCS4040161.
- [5] 王鹤. 短纤维增强3D打印用光敏树脂及力学性能分析[J]. 中国胶粘剂, 2018, 27(8):24-27.
Wang He. Mechanical properties analysis and synthesis of short carbon fiber reinforced 3D printing photosensitive resin[J]. China Adhesive, 2018, 27(8):24-27.
- [6] Blok L G, Longana M L, Yu H, et al. An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic composites[J]. Additive Manufacturing, 2018. DOI:10.1016/j.addma.2018.04.039.
- [7] 秦若森, 孙守政, 韩振宇, 等. 3D打印连续纤维增强热塑性复合材料成型质量的研究进展[J]. 材料导报, 2022, 36(17):196-204.
Qin Ruosen, Sun Shouzheng, Han Zhenyu, et al. Research progress on 3D printing of continuous fiber reinforced thermoplastic composites[J]. Materials Reports, 2022(17):196-204.
- [8] Arraiyeh P A, May D, Eckrich M, et al. An overview on current manufacturing technologies: Processing continuous rovings impregnated with thermoset resin[J]. Polymer Composites, 2021, 42

- (11):5 630–5 655.
- [9] 于冬雪,于化杰,黎红兵,等. FRP 建筑材料的结构性能及应用综述[J]. 材料导报, 2021, 35(Z2):660–668.
- Yu Dongxue, Yu Huajie, Li Hongbing, et al. Structure, property and application as building materials of FRP: A review[J]. Material Reports, 2021, 35(Z2):660–668.
- [10] 段召华,陈弦. 长玻纤增强复合材料的浸渍技术的发展研究[J]. 塑料工业, 2008, 36(Z1):221–224.
- Duan Zhaohua, Chen Xian. Study of development of impregnation of long glass fiber reinforced thermoplastic composites[J]. China Plastics Industry, 2008, 36(Z1):221–224.
- [11] 范聪泽,单忠德,邹贵生,等. 3D打印连续纤维复合材料丝材的成形规律[J]. 中国机械工程, 2020, 31(9):1 089–1 097.
- Fan Chongze, Shan Zhongde, Zou Guisheng, et al. Forming laws of continuous fiber composite filaments in 3D printing[J]. China Mechanical Engineering, 2020, 31(9):1 089–1 097.
- [12] Yao S S, Jin F L, Rhee K Y, et al. Recent advances in carbon-fiber-reinforced thermoplastic composites: A review[J]. Composites Part B: Engineering, 2018, 142:241–250.
- [13] 宋崇鑫. 超声辅助巴基纸/热塑性高分子复合材料的制备工艺及其性能研究[D]. 大连:大连理工大学, 2018.
- Song Chongxin. Preparation and properties of ultrasound-assisted reinforced thermoplastics/buckypaper composites[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2018.
- [14] Yu L, Chen K, Xue P, et al. Impregnation modeling and preparation optimization of continuous glass fiber reinforced polylactic acid filament for 3D printing[J]. Polymer Composites, 2021, 42(11):5 731–5 742.
- [15] 明越科,段玉岗,王奔,等. 高性能纤维增强树脂基复合材料 3D 打印[J]. 航空制造技术, 2019, 62(4):34–38.
- Ming Yueke, Duan Yugang, Wang Ben, et al. 3D printing for high performance fiber reinforced polymer composites[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2019, 62(4):34–38.
- [16] 滕凌虹,曹伟伟,朱波,等. 纤维增强热塑性树脂预浸料的制备工艺及研究进展[J]. 材料工程, 2021, 49(12):42–53.
- Teng Linghong, Cao Weiwei, Zhu Bo, et al. Research progress in the preparation of fiber reinforced thermoplastic resin prepreg[J]. Journal of Materials Engineering, 2021, 49(12):42–53.

CHINAPLAS 让你体验“可持续共鸣体”

1 可持续共鸣体由谁发起?

本项目是由 CHINAPLAS 国际橡塑展主办方及青年艺术家袁隆共同发起,联合原料 Ingeo™ 聚乳酸(PLA)赞助商 Nature Works、生物基热塑性聚氨酯(TPU)赞助商万华化学、原料回收聚对苯二甲酸乙二醇酯(rPET)赞助商巴斯夫、塑可丽® 赞助商锦湖日丽以及 3D 线材和打印服务赞助商 eSUN, Polymaker, Raise3D, KEXCELLED 和创想三维一起,邀请全球塑料产业链上下游企业、组织机构和院校共同参与的共创型公益项目。

2 为什么叫可持续共鸣体?

(1)我们使用的 3D 打印材料都是可持续材料,有 Nature-Works 赞助的 Ingeo™ PLA 材料、万华化学赞助的生物基 TPU 材料,以及锦湖日丽赞助的免喷涂材料塑可丽®。

(2)所有参与者所表达的声音内容,均是围绕“可持续发展”观点和愿景的。

3 如何体现共鸣?

整件装置的创作由上千名发声者,以自己独特的“声音”参与其中,每一片“声音单元”均独一无二。

当众多参观者进入装置,通过手机聆听声音时,就完成了“共鸣”的激发。

4 为什么要以声音作为载体?

众所周知,声波(声音)是思想的基本载体之一,大部分的交流、知识、情感、观念都是从声音传递开始的。

因此,以“可持续”为引,我们将无形之声波聚合,如同将大量情感、观念与态度聚集,通过参数化设计,视觉化地呈现出一个建筑感雕塑。我们称之为“共鸣体”。

当观众进入“共鸣体”的腔体中,激发每一件“声音单元”的声音,声音回荡,思想和观念亦在腔体内共鸣。

作品集可持续材料、3D 打印工艺、科技和艺术为一体,向 CHINAPLAS 的所有与会人士传递可持续发展理念,共创塑料循环经济的美好未来!

5 丰富的现场活动

在展会现场除了艺术装置本身,还有更多精彩纷呈的体验活动。

(1)回收再生亲身体验。

作为可持续材料的一个重要组成部分,再生塑料在循环经济绿色发展中扮演非常重要的角色。在可持续共鸣体艺术装置现场将设有回收再生体验区,观众可以通过四台小型设备破碎机、撕碎机、注塑机、挤出机亲身体验塑料循环再利用的过程,再生制成品作为纪念品赠送予现场观众,极具纪念意义,期待现场观众的互动参与。

(2) 3D 打印演示区。

3D 打印是增加制造的过程,现场将设有三台 3D 打印设备,演示不同材料的 3D 打印过程。更有精美的 3D 打印纪念品赠送给观众,数量有限,先到先得!

(雅式展览服务有限公司)