

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.11.003

纤维增强复合材料护目镜增材制造成形研究

宋亚星,单忠德,战丽,陈意伟,邹爱玲,孙启利

(机械科学研究总院集团有限公司先进成形技术与装备国家重点实验室,北京 100083)

摘要: 基于人体工学原理,进行面部贴合轮廓的迭代优化,完成护目镜结构轻量化设计。分析喷头温度、成形速度、层间厚度、喷嘴直径、填充路径及纤维状态对短碳纤维增强聚乳酸复合材料力学性能的影响规律,优化护目镜打印工艺参数。选取喷头温度210℃,成形速度35 mm/s,层间厚度为0.25 mm,喷嘴直径0.6 mm,轮廓偏置填充路径,纤维质量分数约为10%和纤维方向为0°的成形工艺参数,完成护目镜样件制造,平均尺寸误差为0.218 mm,尺寸精度较高,且样件关键贴合部位成形缺陷较少。本研究可为护目镜的改进生产提供理论依据与实验指导。

关键词: 短纤维;复合材料;参数优化;增材制造;护目镜

中图分类号: TQ323.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)11-0014-06

Investigation on Additive Manufacturing Fabrication of Fiber-reinforced Composite Goggles

Song Yaxing, Shan Zhongde, Zhan Li, Chen Yiwei, Zou Ailing, Sun Qili

(State Key Laboratory of Advanced Forming Technology and Equipment of China Academy of Machinery Science and Technology Group Co., Ltd, Beijing 100083, China)

Abstract : Based on the principle of ergonomics, facial contour was iteratively optimized to achieve the lightweight design of the goggles. Different printing parameters including nozzle temperature, printing speed, layer thickness, nozzle diameter, infill pattern and fiber configuration of short carbon fiber reinforced polylactic acid composite were investigated to evaluate the influence on mechanical performance. The composite goggle specimens were subsequently fabricated by applying optimized processing parameters with nozzle temperature of 210℃, forming speed of 35 mm/s, layer thickness of 0.25 mm, nozzle diameter of 0.6 mm. The profile offset filling path was selected and the fiber mass fraction accounted for about 10% with the filling direction of 0°. Results show that the average size error reach 0.218 mm, indicating excellent dimensional accuracy. Besides, several key fitting position show limited forming defects. This study provide theoretical guidance and experimental experience for further optimization and manufacturing of composite goggles.

Keywords : short fiber ; composites ; parameters optimization ; additive manufacturing ; goggles

纤维增强树脂基复合材料凭借自身高的强度与模量、密度小、抗疲劳以及耐腐蚀等性能优势^[1],已在航空航天等高端领域中逐渐应用成熟,并向着汽车制造等民用领域渗透发展。热压罐成型、树脂传递模塑成型、自动铺放技术等传统成型技术在工艺过程复杂度和加工成本的控制上无法满足复杂结构的快速设计制造,这也极大限制了该材料的应用范围^[2]。以增材制造为核心的纤维增强树脂基复合材料3D打印技术无需模具和复合材料连接工艺,

即可实现复杂构件一体化成形,减少生产周期,降低制造成本,已成为一种新兴的复合材料制造工艺^[3],其中熔融沉积成形技术因设备结构较为简单、成本低廉等优势应用最为广泛^[4]。

增强体纤维可分为纳米纤维、短纤维、长纤维以及连续纤维,不同的纤维增强复合材料的成形特性不同,依据目标制件结构特征和成形要求,综合选择增强体纤维,研究成形相关工艺。部分学者研究了玻璃纤维增强丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料

基金项目: 先进成形技术与装备国家重点实验室开放基金项目 (SKL2019003), 中国博士后科学基金项目 (2019M650612)

通信作者: 单忠德,中国工程院院士,博士研究生导师,主要从事数字化成形制造技术与复合材料成形技术研究 E-mail : shanzd@cam.com.cn

收稿日期: 2020-09-02

引用格式: 宋亚星,单忠德,战丽,等. 纤维增强复合材料护目镜增材制造成形研究[J]. 工程塑料应用,2020,48(11):14-19.

Song Yaxing, Shan Zhongde, Zhan Li, et al. Investigation on additive manufacturing fabrication of fiber-reinforced composite goggles[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(11):14-19.

(ABS) 复合材料、碳纤维增强热塑性聚氨酯复合材料、碳纤维增强 ABS 复合材料等多种短纤维增强复合材料的打印工艺,研究表明添加纤维可提高抗拉强度和模量,但会降低韧性和延展性^[5-7]。Emmett Hull 等^[8]对复合材料的制备进一步研究,发现碳纤维含量、挤出温度和喷嘴尺寸对出丝直径、膨胀百分比和挤出速率有显著影响。纤维与基体之间的界面粘合性也是影响成形性能的关键因素,紫外光辐射、硫酸化学腐蚀、激光预热等方式可提升增强体与树脂基体的界面结合性,实现成形性能的提升^[9-11]。短纤维增强复合材料在熔融沉积增材制造中,纤维的取向一定程度上可控在打印方向上。美国橡树岭国家实验室对短碳纤维(0.2~0.4 mm)增强 ABS 复合材料研究,发现 3D 打印试样中的纤维在打印方向上的纤维取向高达 91.5%^[12]。另一方面也可通过改变短纤维增强体的长径比配合喷嘴尺寸结构以实现在打印方向上的纤维取向,从而沿打印方向增强刚度^[13]。此外,通过研究挤出成型过程流场发现,阻坝扩张式机头更有利于挤出成型过程中短纤维在基体中的径向取向^[14-15]。目前在短纤维增强复合材料熔融沉积增材制造设备研发上,美国 stratasys 的 FORTUS 380MC,意大利 Roboze 的 ONE+400 等设备均已支持短碳纤维增强 PA 等常见复合材料。其中 Roboze 在 2017 年的 Formnext 展会上推出了新设备 ARGO 500 支持短碳纤维增强聚醚醚酮(PEEK)复合材料^[16]。国内三的部落近几年推出的工业级 P300/P350 pro 同样支持了该高性能复合材料。

随着材料、工艺和设备的协同发展,短纤维增强复合材料的应用已逐步进入到日常生活中。2020 年初,新冠疫情暴发,护目镜等医疗物资一度紧缺。现有护目镜生产采用注塑成形,存在模具开发周期长,无法应对定制化、小批量快速迭代的生产需求。因此笔者针对护目镜结构进行轻量化设计,采用短碳纤维增强聚乳酸(PLA)复合材料熔融沉积增材制造技术生产制备护目镜,并进行相关工艺参数优化研究,最终进行应用测试,投入到企业生产防疫一线使用。

1 实验部分

1.1 主要原材料

短切碳纤维增强 PLA 丝材:直径 1.75 mm,碳纤维质量分数分别约为 0%,5%,10%,自制;

1.2 主要设备及仪器

护目镜制造设备(如图 1 所示):CAM-FAM500 型,北京机科国创轻量化科学研究院有限公司;

微机控制电子式万能材料试验机:WDW-100 型,济南东测公司;

三维扫描仪:Goscan3D 型,加拿大 creaform 公司;

场发射扫描电子显微镜(FESEM):GeminiSEM 500 型,德国卡尔蔡司公司。

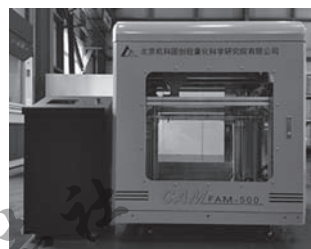


图1 CAM-FAM500 增材制造设备

1.3 实验方法

通过三维扫描仪对不同人群的面部特征进行提取分析,逆向生成面部贴合轮廓,以此为样本提取适合国人的面部轮廓参数,进行迭代优化,结合短纤维增强复合材料熔融沉积成形工艺及防疫使用需求,设计出护目镜框架结构。将结构模型导入切片软件 Repetier Host 进行切片及路径生成,而后通过 CAM-FAM500 设备进行成形制造。其中复合丝材通过送丝机构熔融挤出,按切片路径逐层扫描叠加成形,最终完成对样件及护目镜的制造。

采用万能材料试验机以 2 mm/min 的加载速率对试样进行拉伸性能测试,以其拉伸强度作为评价成形工艺参数优劣的指标,指导护目镜打印工艺参数选择。以优化出的工艺参数组合进行护目镜样件的成形制造,并采用三维扫描仪分析尺寸误差,评价成形精度。最后采用扫面电镜观察其纤维与树脂之间的界面结合缺陷。

2 结果与讨论

2.1 护目镜优化设计

考虑到不同受众对护目镜的使用需求,同时基于短碳纤维增强复合材料熔融沉积增材制造技术的工艺特点及产品个性化快速定制的实际需求,针对护目镜主体结构进行优化设计,设计优化流程如图 2 所示。

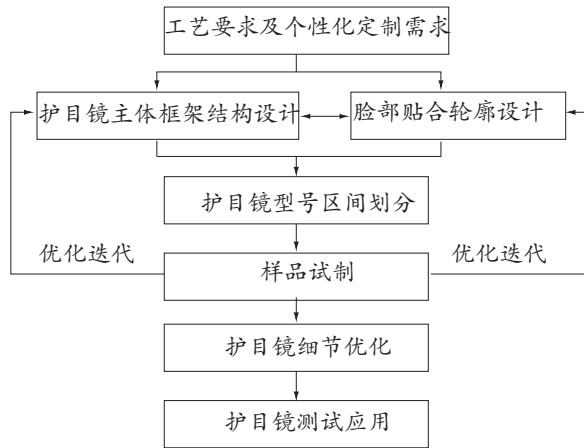


图2 护目镜设计优化流程

在对主体结构进行轻量化设计的同时,基于人体工学原理,对不同人群的面部特征进行提取,逆向反求护目镜面部贴合轮廓。并依据 GB/T 2428-1998《成年人头面部尺寸》,以瞳孔间距和面宽作为主要目标参数对护目镜尺寸缩放,进行标准型号划分(S,M,L,XL),以满足不同面部尺寸用户的需求,划分结果见表1。

表1 标准型号主要参数划分/mm

划分参数	S	M	L	XL
瞳孔间距	56.89	59.32	60.68	64.42
面宽	134.07	140.97	145.03	154.70

为保证护目镜内部空气的流通性,满足长期佩戴的使用需求,在护目镜的上下两侧设计了通气孔。针对此次疫情对护目镜防护等级要求较高的特点,设置熔喷布过滤层,同时考虑到使用过程中过滤层的更换需求,设置上下通气盖板,既便于更换,又能保证较好的过滤效果。护目镜的设计版本更迭结果如图3所示。

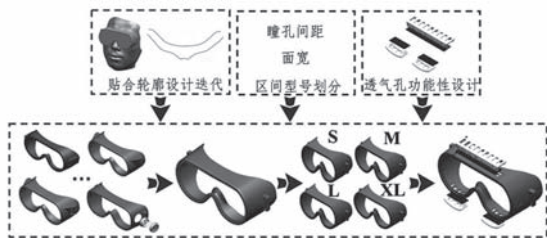


图3 护目镜的设计版本更迭结果

2.2 工艺参数对制件力学性能研究

(1) 喷头温度、成形速度和层间厚度对拉伸力学性能的影响规律。

探究喷头温度(A)、成形速度(B)和层间厚度(C)不同取值水平对打印样件拉伸力学性能的影响规律,采用正交试验,每个参数均设置三个水平,并

且设计一个空列作为试验误差用来衡量试验的可靠性,选择 $L_9(3^4)$ 正交试验表进行测试,参数与水平的选择见表2。

表2 实验因素和水平表

水平	$A/^\circ\text{C}$	$B/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	C/mm
1	200	25	0.15
2	210	30	0.20
3	220	35	0.25

打印制备标准拉伸试样,采用万能材料试验机以 2 mm/min 的加载速率对试样进行拉伸性能测试,以拉伸强度作为评价成形工艺参数优劣的指标。正交实验参数设置与拉伸强度统计结果见表3。

表3 正交实验结果

实验组号	$A/^\circ\text{C}$	$B/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	C/mm	拉伸强度/MPa
1 [#]	1(200)	1(25)	1(0.15)	37.96 ± 0.50
2 [#]	1(200)	2(30)	2(0.20)	40.98 ± 0.32
3 [#]	1(200)	3(35)	3(0.25)	40.55 ± 0.75
4 [#]	2(210)	1(25)	2(0.20)	41.20 ± 0.60
5 [#]	2(210)	2(30)	3(0.25)	42.38 ± 0.40
6 [#]	2(210)	3(35)	1(0.15)	41.41 ± 0.82
7 [#]	3(220)	1(25)	3(0.25)	42.70 ± 0.57
8 [#]	3(220)	2(30)	1(0.15)	40.18 ± 0.64
9 [#]	3(220)	3(35)	2(0.20)	41.08 ± 1.24

在选定的工艺参数和设置的实验组中,喷头温度为 220°C 、成形速度为 25 mm/s 、层间厚度为 0.25 mm 时,样件拉伸强度最优,达到了 42.70 MPa ;在喷头温度为 200°C 、成形速度为 25 mm/s 、层间厚度为 0.15 mm 时,样件拉伸强度最差,仅为 37.96 MPa 。对实验结果进行极差分析,从而确定最优工艺参数组合,结果见表4。三个不同影响因素极差数值大小排序为:层间厚度(C)>喷头温度(A)>成形速度(B),即层间厚度的变化对样件拉伸强度影响最大,其次是喷头温度,而成形速度对拉伸强度的影响最小。最佳工艺参数组合是 $A_2B_3C_3$,即喷头温度为 210°C 、成形速度 35 mm/s 、层间厚度为 0.25 mm 。

表4 极差分析结果

项目	$A/^\circ\text{C}$	$B/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	C/mm
K_1	119.49	121.86	119.55
K_2	124.99	123.54	123.26
K_3	123.86	123.04	125.63
极差 R	1.83	0.56	2.03
主次顺序	$C > A > B$		
最优组合	$A_2B_3C_3$		

(2) 喷嘴直径和填充路径对拉伸力学性能的影响规律。

探究喷嘴直径和填充路径对打印样件拉伸力学性能的影响规律,分别设置不同喷嘴直径(0.4 ,

0.5, 0.6 mm) 和不同的填充路径方式^[17](栅格填充、轮廓偏置填充以及混合填充) 进行单因素影响规律研究, 如图 4 和图 5 所示。由图 4 可知, 在选定参数范围内, 拉伸强度随喷嘴直径的增加而增加, 当喷嘴直径 0.6 mm 时, 样件拉伸强度最高为 45.63 MPa。喷嘴直径越小, 成形精度越高, 但也越易产生堵头问题, 从而影响成形性能。如图 5 所示, 三种填充路径的对样件的拉伸性能影响并不显著, 其中轮廓偏置填充最优, 其相较于栅格填充拉伸强度提升 3.98%, 相较于混合填充拉伸强度提升 1.30%。

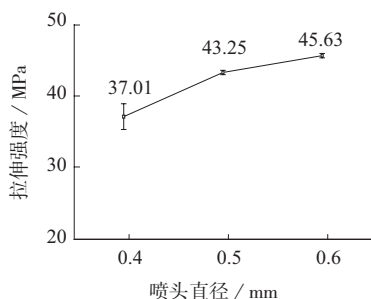


图4 不同喷嘴直径时材料拉伸强度

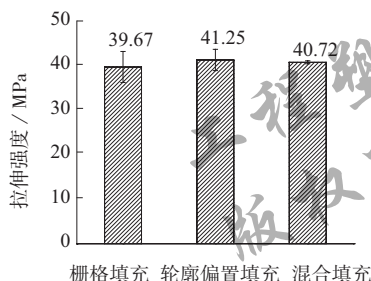


图5 不同填充路径时材料拉伸强度

2.3 纤维状态对制件力学性能研究

短纤维增强复合材料主要由短纤维、树脂以及纤维 / 树脂结合界面组成, 其中短纤维是复合材料中的增强体, 是受载情况下主要的承载对象, 因此不同的纤维状态影响着成形制件的力学性能。为探究纤维含量对复合材料力学性能的影响规律, 选取不同含量的短纤维复合材料, 打印制备拉伸样件并进行力学性能测试。图 6 是不同纤维含量对材料拉伸强度的影响。

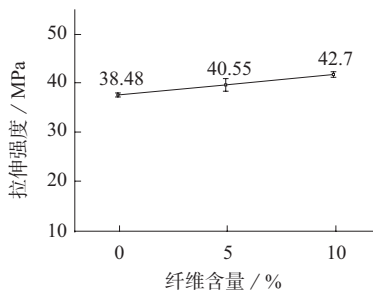


图6 不同纤维含量时材料拉伸强度

由图 6 可以看出, 材料拉伸强度随纤维含量的增加呈增强趋势。当纤维含量达到 10% 时, 样件的拉伸强度最优为 42.70 MPa, 拉伸强度相较于纤维含量为 0% 的纯树脂提升了 10.9%。

为探究不同纤维取向对成形制件力学性能的影响规律, 分别测试了三种不同打印方向即 0°(拉伸方向)、45° 和 90°(垂直拉伸方向) 打印样件的拉伸力学性能, 如图 7 所示, 沿 0° 方向打印样件拉伸强度最优, 达到 47.87 MPa; 沿 45° 方向打印样件拉伸强度次之, 为 41.76 MPa; 而沿 90° 方向打印样件由于道间结合性能的限制, 拉伸力学性能最差, 仅达到 15.73 MPa。实验结果表明, 纤维取向对力学性能影响显著, 当纤维取向与样件承载方向一致时, 可充分发挥纤维增强作用, 提升制件力学性能。

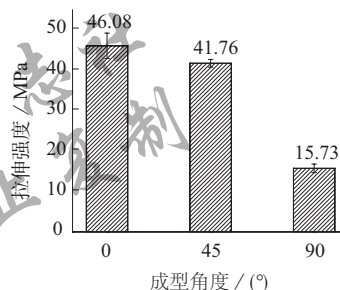


图7 不同成形角度时材料拉伸强度

2.4 成形精度分析

基于上述工艺参数及纤维状态对制件成形性能的研究, 优化护目镜打印参数见表 5, 成形制造四种标准型号的短碳纤维增强复合材料护目镜, 如图 8 所示。

表5 护目镜打印参数

喷头温度 / °C	成形速度 / (mm · s ⁻¹)	层间厚度 / mm	喷嘴直径 / mm	填充路径	质量分数 / %	取向 / (°)
210	30	0.25	0.6	轮廓偏置	10	0



图8 四种标准型号护目镜主体结构

为掌握护目镜的成形精度, 对护目镜结构进行长、宽、高尺寸的测量, 并与理论尺寸进行比较, 统计尺寸误差, 评估成形精度, 见表 6。

从表 6 可以看出, 各型号护目镜在长、宽、高方向上尺寸误差均小于 0.80%, 尺寸误差较小。为进一步评估护目镜结构尺寸误差产生位置, 以优化成形工艺改善成形质量, 采用三维扫描技术, 观察 S 型号护目镜整体成形尺寸误差, 结果如图 9 所示。

表6 标准型号护目镜尺寸误差统计

型号评价 指标	S			M			L			XL		
	长/mm	宽/mm	高/mm	长/mm	宽/mm	高/mm	长/mm	宽/mm	高/mm	长/mm	宽/mm	高/mm
1	142.63	84.07	55.77	149.66	83.71	56.09	153.63	83.81	56.56	164.21	84.09	56.29
2	142.62	83.55	56.52	149.45	83.37	56.36	154.02	83.62	55.96	164.77	83.92	56.32
3	142.42	84.00	56.30	149.41	84.01	56.14	153.85	84.11	55.34	164.86	84.52	55.83
均值	142.557	83.873	56.197	149.507	83.697	56.197	153.833	83.847	55.953	164.613	84.177	56.147
理论值	143.094	84.305	56.192	150.178	84.305	56.192	154.726	84.305	56.192	165.509	84.305	56.192
误差/%	0.38%	0.51%	0.01%	0.45%	0.72%	0.01%	0.58%	0.54%	0.42%	0.54%	0.15%	0.08%

通过采集 26 003 个数据点,护目镜平均尺寸误差为 0.218 mm,在关键贴合部位,即面部、鼻部贴合处成形精度较高。误差主要集中在左右拉扣处,主要由于该处属于悬臂结构,增材制造成形时需要支撑结构,在去除支撑时,易损坏接触表面。

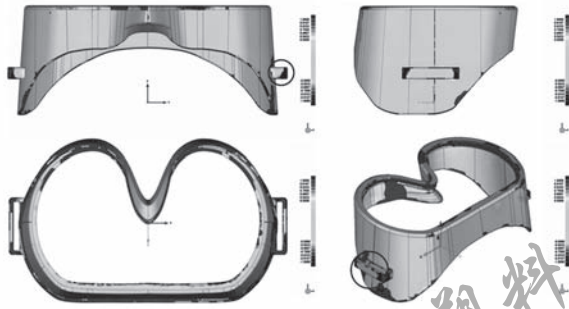


图9 S型号护目镜三维扫描尺寸误差图

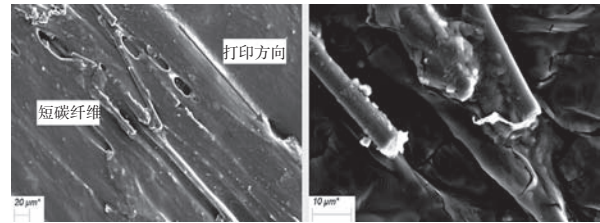
2.5 成形缺陷分析

短碳纤维增强复合材料成形的护目镜如图 10 所示。通过局部放大上下透气孔、拉扣、鼻梁等关键位置,可以发现没有明显的分层、孔隙、毛刺等缺陷出现,成形质量较好,符合应用要求。



图10 功能款短碳纤维增强复合材料护目镜

为进一步评估护目镜内部成形缺陷,利用 FESEM 进行微观表征,见图 11。如图 11a 所示,短纤维主要沿打印方向分布,局部存在孔隙缺陷。这样的分布方式能够有效发挥纤维的承载能力,提高复合材料的力学性能。孔隙缺陷主要是丝材挤出时产生的气泡未及时排除造成的。纤维与树脂之间良好的结合界面是承载过程中载荷高效传递重要基础,如图 11b 所示,纤维被树脂包裹,表明纤维与树脂之间的界面结合性较好。

图11 护目镜样品 SEM 照片
a— $\times 200$; b— $\times 1000$

3 结论

(1) 基于人体工学原理,对不同人群的面部特征进行提取,在对护目镜主体结构轻量化设计的同时进行面部贴合轮廓的迭代优化。通过加入透气孔与熔喷布过滤层结构,保证护目镜结构具有较好的透气性。

(2) 正交实验分析喷头温度、成形速度和层间厚度,获得了拉伸强度最优组合;在选定喷嘴直径范围内(0.4~0.6 mm),成形件拉伸强度随直径的增大而增大;栅格填充、轮廓偏置以及混合填充三种路径的对样件的拉伸性能影响不显著,其中轮廓偏置填充最优;拉伸强度随纤维含量的增加呈增强趋势,当纤维含量达到 10%,拉伸强度较纯树脂提升 10.9%;纤维取向对力学性能影响显著,当纤维取向与样件承载方向一致时,可充分发挥纤维的增强作用。

(3) 通过工艺参数优化,选取喷头温度 210℃,成形速度 35 mm/s,层间厚度为 0.25 mm,喷嘴直径 0.6 mm,轮廓偏置填充路径,纤维质量分数为 10%,纤维方向为 0°进行护目镜打印,样件平均尺寸误差为 0.218 mm,在关键贴合部位即面部、鼻部贴合处成形缺陷较少,尺寸精度较高,且内部纤维被树脂包裹,界面结合较好。

参考文献

- [1] 陈祥宝,张宝艳,邢丽英. 先进树脂基复合材料技术发展及应用现状[J]. 中国材料进展,2009,28(6):2-12.
Chen Xiangbao, Zhang Baoyan, Xing Liying. Application and development of advanced polymer matrix composite[J]. Materials

- China, 2009, 28(6):2-12.
- [2] Mahieux C A. Cost effective manufacturing process of thermoplastic matrix composites for the traditional industry: the example of a carbon-fiber reinforced thermoplastic flywheel[J]. Composite Structures, 2001, 52(3-4):517-521.
- [3] 田小永, 刘腾飞, 杨春成, 等. 高性能纤维增强树脂基复合材料 3D 打印及其应用探索 [J]. 航空制造技术, 2016, 59(15):26-31.
Tian Xiaoyong, Liu Tengfei, Yang Chuncheng, et al. 3D Printing for high performance fiber reinforced polymer composites and exploration on its applications[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(15):26-31.
- [4] 洪腾蛟. 纤维增强复合材料熔融沉积成型增材制造装备研发 [D]. 滁州: 安徽科技学院, 2017.
Hong Tengjiao. The research on additive manufacturing equipment of fiber reinforced composites based on FDM[D]. Chuzhou: Anhui Science and Technology University, 2017.
- [5] Zhong Weihong, Li Fan, Zhang Zuoguang, et al. Short fiber reinforced composites for fused deposition modeling[J]. Materials Science and Engineering A, 2001, 301(2):125-130.
- [6] 赵雨花, 李其峰, 王军威, 等. 短纤维增强热塑性聚氨酯弹性体复合材料的性能研究 [J]. 纤维复合材料, 2014, 31(4):15-19.
Zhao Yuhua, Li Qifeng, Wang Junwei, et al. Study of short carbon fibers / thermoplastic polyurethane composites[J]. Fiber Composites, 2014, 31(4):15-19.
- [7] Ning Fuda, Cong Weilong, Qiu Jingjing, et al. Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling[J]. Composites Part B: Engineering, 2015, 80:369-378.
- [8] Hull E, Grove W, Zhang M, et al. Effects of process variables on extrusion of carbon fiber reinforced ABS filament for additive manufacturing[C]//International Manufacturing Science and Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers, 2015. doi.org/10.1115/MSEC2015-9396.
- [9] 郝智, 宋位华, 盛翔, 等. PA66 短纤维 / 天然橡胶复合材料的制备及性能研究 [J]. 化工新型材料, 2020, 47(12):147-151.
Hao Zhi, Song Weihua, Sheng Xiang, et al. Study on the preparation and property of PA66 short fiber / NR composite [J]. New Chemical Materials, 2020, 47(12):147-151.
- [10] 段宇星, 赵苗苗, 苏渤. 芳纶短纤维增强硅橡胶阻尼尼材料的制备及性能研究 [J]. 有机硅材料, 2020, 34(2):22-27.
Duan Yuxing, Zhao Miaomiao, Su Bo. Preparation and properties of aramid short fiber reinforced silicone rubber damping materials [J]. Silicone Material, 2020, 34(2):22-27.
- [11] 林英华, 雷永平. 激光原位制备高体积分数与长径比的 TiB 短纤维与 TiB₂P 增强钛基复合涂层 [J]. 中国激光, 2014(7):105-111.
Lin Yinghua, Lei Yongping. High volume fraction and length-diameter ratio of TiB short fiber and TiB₂P reinforce Ti-based alloy composite coatings by laser synthesis in situ[J]. Chinese Journal of Lasers, 2014(7):105-111.
- [12] 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, 105:144-150.
- [13] Compton B G, Lewis J A. 3D-printing of lightweight cellular composites[J]. Advanced materials, 2014, 26(34):5 930-5 935.
- [14] 张德伟, 沈波, 李绍明, 等. 短纤维橡胶复合材料挤出流场的有限元分析 [J]. 青岛科技大学学报: 自然科学版, 2019, 40(2):76-81.
Zhang Dewei, Shen Bo, Li Shaoming, et al. FEA of flow field of short fiber and rubber composite material during extrusion process[J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2019, 40(2):76-81.
- [15] 汪传生, 于本会, 杨洪于, 等. 胎面胶短纤维径向取向挤出机头流场分析 [EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线 [2016-04-25]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201604-305>.
Wang Chuansheng, Yu Benhui, Yang Hongyu, et al. Flow field analysis of short fiber tread rubber radially oriented extrusion head [EB/OL]. Beijing: Sciencepaper Online [2016-04-25]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201604-305>.
- [16] Roboze. Materials. [EB/OL]. <https://www.roboze.com/en/resources/argo-500.html>, 2020-7-9.
- [17] 闫东东, 单忠德, 战丽, 等. 3D 打印复合材料开孔板力学性能影响规律 [J]. 中国机械工程, 2020, 31(10):1 240-1 245.
Yan Dongdong, Shan Zhongde, Zhan Li, et al. Influences law of mechanics properties of 3D printing composite open-hole plates[J]. China Mechanical Engineering, 2020, 31(10):1 240-1 245.

本刊声明

近期有不法网站和个人假借本刊名义向广大读者征稿, 同时收取高额注册费、审稿费。本刊特此声明:《工程塑料应用》为中国兵器工业集团第五三研究所(山东非金属材料研究所)主办, 杂志社所在地为山东省济南市, 本刊唯一合法投稿网址为 www.epa1973.net, 本刊未委托任何机构和个人从事征稿和组稿业务。请广大作者牢记本刊投稿网址, 辨别来电属地, 不要给个人账户汇款, 防止受骗。本刊保留对相关网站和个人追究法律责任的权利。

(工程塑料应用杂志社)