

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.08.007

3D 打印 PC/ABS 合金的性能

尹远¹, 汪艳^{1,2}

(1. 武汉工程大学材料科学与工程学院, 武汉 430073; 2. 广东银禧科技股份有限公司, 广东东莞 523000)

摘要:以马来酸酐接枝 ABS 树脂 (ABS-g-MAH) 为增容剂, 制备聚碳酸酯 (PC)/ 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 合金, 对其力学性能、热性能及熔体流动性等进行了研究, 结果表明, 当该合金质量比 PC : ABS : ABS-g-MAH=70 : 30 : 6 时, PC/ABS 合金的缺口冲击强度为 33.92 kJ/m², 远高于纯 PC 与其它配方合金的缺口冲击强度, 且其它性能较好。采用 3D 打印耗材挤出机将纯 PC 及 PC/ABS 合金制成丝材, PC 丝材直径为 (1.75 ± 0.27) mm, PC/ABS 合金丝材直径为 (1.75 ± 0.05) mm, PC/ABS 合金的尺寸稳定性得到很好地改善。研究两种丝材的熔融沉积成型 (FDM) 性能以及打印方向对试样力学性能的影响。结果表明, 当采用 FDM 工艺水平向和侧向打印时, 试样的力学性能超过注塑工艺成型试样, 但是竖向打印试样力学性能较差。与纯 PC 打印试样相比, PC/ABS 合金试样的缺口冲击强度得到大幅提高, 侧向打印 PC/ABS 合金的缺口冲击强度为 40.13 kJ/m², 而侧向打印纯 PC 的缺口冲击强度仅 5.73 kJ/m²。

关键词:聚碳酸酯; 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料; 合金; 丝材; 熔融沉积成型

中图分类号: TQ327 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)08-0034-06

Properties of 3D Printed PC/ABS Alloys

Yin Yuan¹, Wang Yan^{1,2}

(1. School of Materials Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China;

2. Guangdong Silver Age Sci. & Tech. Co., Ltd., Dongguan 523000, China)

Abstract : Polycarbonate (PC) / acrylonitrile-butadiene-styrene plastic (ABS) alloys were prepared with ABS-g-MAH as compatilizer, and to discuss the mechanical properties, thermal properties and melt fluidity. When PC : ABS : ABS-g-MAH=70 : 30 : 6, the notch impact strength of PC/ABS alloy is 33.92 kJ/m², which is better than that of pure PC and alloys with other formula, and other properties of the alloy are better as well. The filaments of PC and PC/ABS alloy were prepared by using 3D printing consumable extruder, the diameter of pure PC is (1.75 ± 0.27) mm, and the diameter of PC/ABS alloy is (1.75 ± 0.05) mm. The dimensional stability of PC/ABS alloy is well improved. The influences of fused deposition modeling (FDM) formability of the filaments and different orientations on the mechanical properties of the samples were studied. The results indicate that when the sample is printed with horizontal or lateral orientation, the mechanical properties of the printing sample are better than that of injection molding, however, the mechanical properties of vertical orientation printed specimens are poor. Compared with the pure PC printed samples, the notch impact strength of PC/ABS alloy specimen is greatly increased, such as the notch impact strength of PC/ABS alloy is 40.13 kJ/m² with lateral orientation, but the notch impact strength of pure PC is only 5.73 kJ/m² with the same orientation.

Keywords : polycarbonate ; acrylonitrile-butadiene-styrene plastic ; alloy ; filament ; fused deposition modeling

聚碳酸酯 (PC) 作为一种性能优异的热塑性工程塑料, 广泛应用于汽车工业、电器工业等领域, 但是 PC 价格昂贵及缺口敏感性在一定程度上限制了其应用范围^[1-2]。PC/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑

料 (ABS) 合金^[3-5]很好地改善了 PC 的缺口敏感性, 提高了 PC 的加工流动性, 有效增加了 PC 的力学性能及应用范围。因此, 近年来, PC/ABS 合金的改性研究越来越受到研究人员的青睐, 其应用领域也

基金项目: 广东省引进创新创业团队计划项目 (2013C071)

通讯作者: 汪艳, 博士, 教授, 主要从事 3D 打印高分子材料研究 E-mail : wangyan.wict@163.com

收稿日期: 2018-06-11

引用格式: 尹远, 汪艳. 3D 打印 PC/ABS 合金的性能. [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(8) : 34-39.

Yin Yuan, Wang Yan. Properties of 3D printed PC/ABS alloys[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(8) : 34-39.

越来越广泛。

十三五规划以来,3D打印技术得到大力发展,其中熔融沉积成型(FDM)是目前应用最广的一种3D打印方式。FDM成型的原理简单,打印机体积较小,可在任何环境中使用,且不会影响工作,因此得到研究人员的关注与研究^[6-10]。FDM成型的主要材料为聚乳酸(PLA),ABS,PC及尼龙(PA)、聚醚醚酮(PEEK)等^[11-15]。其中,PLA由于其环境友好性,在FDM成型方面的研究最为透彻,应用也最多。

目前FDM成型材料品种较少,打印制品力学性能较差,成型材料的性能成为FDM技术发展应用的瓶颈。PC与ABS作为综合性能优良的热塑性工程塑料,可进行多次加热熔融再冷却成型,均是FDM成型的适宜材料。李振等^[16]研究了PC的FDM成型性,发现当在100份PC中加入20份聚己内酯时,PC的拉伸强度略微减小,但是流动性大大提升,打印制品翘曲性得到改善。A.Arivazhagan等^[17]用100%填充的方式对ABS进行FDM成型,当以90°的光栅角,0.679 mm层厚打印时,成型制品的储能模量为1172 MPa,动态力学性能达到最大。O.A.Mohamed等^[18]研究了不同打印参数对PC/ABS合金动态机械性能的影响,发现层厚越大,FDM成型制件的储能模量、损耗模量及机械阻尼都增大,同时,减小空气间隙,成型件动态力学性能增强,但是光栅角对制品性能影响较小。

马来酸酐接枝ABS树脂(ABS-g-MAH)作为一种接枝共聚物,既与ABS有相同组分,又可以与ABS相容,同时MAH中的酸酐基团也能与PC中的碳酸酯基作用,从而提高PC与ABS的相容性。笔者采用ABS-g-MAH作为增容剂,制备PC/ABS合金,对PC/ABS合金综合性能进行测试,选用质量比最佳的PC/ABS合金作为FDM成型材料。并采用XY轴取向(水平向)、XZ轴取向(侧向)及ZX轴取向(竖向)三种不同的取向方式对合金进行FDM打印,研究成型取向对打印制件性能的影响以及PC/ABS合金作为PC在FDM成型领域的替代材料的可行性。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PC:3D 1000,科思创聚合物(中国)有限公司;
ABS:8391,上海高桥石油化工公司;
ABS-g-MAH:9906B,东源县梓亨塑料厂。

1.2 主要仪器及设备

双螺杆挤出机:SHJ-20型,南京杰恩特机电有限公司;

微型注塑机:M1200型,武汉启恩科技发展有限公司;

万能试验机:5960系列,美国INSTRON公司;

自动缺口制样机:SPZQK-20型,承德市世鹏检测设备有限公司;

冲击试验机:XJU-22型,承德试验机有限责任公司;

熔体流动速率(MFR)仪:PZ1720型,上海品重检测设备有限公司;

维卡软化点温度测定仪:XWY-330B型,济南天辰试验机制造有限公司;

同步热分析仪:STA 409 PC Luxx®型,德国耐驰仪器制造有限公司;

单螺杆拉丝机:TP-07型,东莞松湖塑料机械股份有限公司;

FDM打印机:HUEWAY 3D-160型,深圳优锐科技有限公司。

1.3 PC及PC/ABS合金丝材的制备

(1) PC/ABS合金的制备。

将PC放入真空干燥箱中在100℃下干燥8 h,ABS和ABS-g-MAH在80℃下放入真空干燥箱中干燥8 h,然后按一定的比例在高速混合机中混合10 min。将混合好的物料加入到双螺杆挤出机中熔融共混(共混温度为210~240℃),挤出造粒得到PC/ABS合金。所得共混粒料放入85℃烘箱中烘8 h,备用。

(2) PC及PC/ABS合金丝材的制备。

将烘好的粒料加入单螺杆拉丝机中,在一定的温度下挤出拉丝、收卷,得到直径1.75 mm的丝材,用于FDM打印。挤出条件列于表1。

表1 PC与PC/ABS合金的丝材成型条件

参数	PC	PC/ABS合金
挤出温度(一区)/℃	230	215
挤出温度(二区)/℃	240	230
挤出温度(三区)/℃	235	225
冷却水温/℃	70	55
主机转速/(r·s ⁻¹)	800	800
牵引机转速/(r·s ⁻¹)	530	580

(3) FDM工艺制备试样。

FDM成型原理是丝材的熔融与沉积,合金丝材在喷嘴中熔融后,通过喷嘴挤出,按照电脑设置好的路径沉积在打印机平台上,层层叠加,从而成型。笔

者按照相应的国家标准打印试样,打印速度和打印温度列于表2,打印方式分为水平向、侧向和竖向,如图1所示。研究不同取向打印试样的力学性能。

表2 PC与PC/ABS合金的FDM打印条件

项目	PC	PC/ABS
打印速度/(mm·s ⁻¹)	30	30
喷嘴温度/℃	235~240	220~230
热温床温度/℃	110	90
打印层厚/mm	2	2

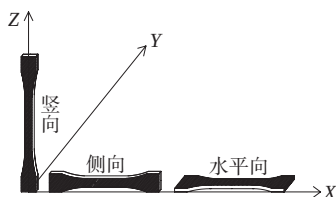


图1 试样打印取向示意图

(4) 注塑工艺制备试样。

利用微型注塑机对PC, ABS和PC/ABS合金粒料进行注塑成型,其中PC和PC/ABS合金注塑温度为230~240℃,ABS注塑温度为220℃,按照国家标准制备测试试样。

1.4 性能测试

拉伸强度按照GB/T 1040.1-2006测试,拉伸速率为20 mm/min;

弯曲强度按照GB/T 9341-2008测试,弯曲速率为2 mm/min;

缺口冲击强度按照GB/T 1843-2008测试;

MFR按照GB/T 3682-2000测试,测试条件为:压力1.2 kg,温度300℃;

维卡软化点按照GB/T 1633-2000测试,测试初始温度为40℃,升温速率为120℃/h;

热失重(TG)分析:将8~10 g试样装入氧化铝小坩埚中,再将小坩埚放入同步热分析仪中。测试起始温度为40℃,最高温度为700℃,升温速率为20℃/min。

2 结果与讨论

2.1 增容剂含量对PC/ABS合金力学性能的影响

根据前期对PC/ABS合金原料配比的研究,选择合金基材质量比为PC/ABS=70/30。不同ABS-g-MAH含量下注塑工艺成型PC/ABS合金试样的力学性能列于表3。

从表3可以看出,随着增容剂用量的增加,注塑工艺成型PC/ABS合金试样的拉伸强度基本保持在52~55 MPa之间,弯曲强度在81~85 MPa之间,说明合金的拉伸强度和弯曲强度比较稳定,

表3 不同ABS-g-MAH含量下注塑工艺成型PC/ABS合金试样的力学性能

项目	ABS-g-MAH用量/份			
	5	6	7	8
拉伸强度/MPa	53.60	54.84	54.00	51.71
弯曲强度/MPa	84.19	82.56	81.08	82.72
缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	27.63	33.92	15.61	21.35

受增容剂用量影响较小。当ABS-g-MAH用量为6份时,PC/ABS合金试样的缺口冲击强度最大,达33.92 kJ/m²,再继续增加ABS-g-MAH用量,合金的缺口冲击强度降低。这是因为加入一定量增容剂会增加PC与ABS的相容性,提升其缺口冲击强度,但再继续增加ABS-g-MAH用量,由于其分子量较低,强度较弱,导致PC/ABS合金的缺口冲击强度反而下降。因此,采用PC/ABS/ABS-g-MAH配比为70/30/6的PC/ABS合金作为3D打印材料。

2.2 PC与PC/ABS合金的综合性能比较

表4列出了注塑工艺成型PC, ABS和PC/ABS合金试样的综合性能。

表4 注塑工艺成型PC, ABS和PC/ABS合金试样的综合性能

项目	纯PC	纯ABS	PC/ABS合金
拉伸强度/MPa	51.82	47.71	54.84
弯曲强度/MPa	89.97	58.49	82.56
缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	7.77	20.30	33.92
MFR/[g·(10 min) ⁻¹]	32.76	16.08	26.00
熔体密度/(g·cm ⁻³)	2.52	2.10	2.32
维卡软化点温度/℃	114.2	94.4	107.97

由表4可以看出,注塑工艺成型PC/ABS合金试样的缺口冲击强度为33.92 kJ/m²,远大于PC缺口冲击强度(7.77 kJ/m²)。这是因为ABS有效地改善了PC的缺口冲击敏感性,使PC/ABS合金的缺口冲击强度大大增加。同时,PC/ABS合金的拉伸强度为54.84 MPa,略大于PC的拉伸强度(51.82 MPa),弯曲强度为82.56 MPa,与PC的弯曲强度(89.97 MPa)接近,可见,由于合金中ABS组分较少,且ABS力学性能较好,PC/ABS合金的拉伸强度和弯曲强度受到影响较小。因此,从力学性能而言,PC/ABS合金不逊于PC,甚至更优,可以作为PC在FDM成型的替代材料。

由表4还可看出,ABS的MFR为16.08 g/(10 min),熔体密度为2.10 g/cm³,均小于PC的MFR[32.76 g/(10 min)]和熔体密度(2.52 g/cm³),说明与PC相比ABS的流动性较差。因此,PC/ABS合金的MFR和熔体密度也稍低于PC。但是根据MFR和熔体密度计算熔体体积流动速率(MVR),PC的MVR为13 cm³/(10 min),PC/

ABS合金的MVR为 $11.21\text{ cm}^3/(10\text{ min})$,可见,由于合金中ABS含量较小,PC/ABS合金的流动性受到的影响并不大。同理,由于ABS的耐热性不如纯PC,PC/ABS合金的维卡软化点温度为 107.97°C ,略低于纯PC的维卡软化点(114.20°C)。从PC/ABS合金的维卡软化点温度和MVR都处于纯PC和纯ABS之间,从侧面说明了PC与ABS在ABS-g-MAH的作用下发生了较好的相容,PC/ABS合金的热性能较好。

纯PC、纯ABS及PC/ABS合金的TG曲线如图2所示。

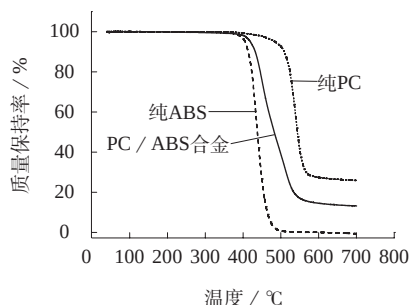


图2 纯PC、纯ABS及PC/ABS合金的TG曲线

由图2可见,纯PC的初始分解温度在 $470\sim 500^\circ\text{C}$ 之间,而纯ABS的初始分解温度不到 400°C ,说明ABS与PC的耐热性相差较大。PC/ABS合金的初始分解温度为 420°C 左右。这是因为当温度达到 400°C 时,PC/ABS合金中的ABS组分开始分解。但是,PC/ABS合金和纯PC的最终分解温度接近,在 550°C 左右,且当温度升到 500°C 左右时,ABS的质量保持率几乎为0%,而PC/ABS合金质量保持率为40%左右,说明PC与ABS在增容剂ABS-g-MAH的作用下,ABS对合金的耐热性影响较小,PC/ABS合金保持了较好的耐热性。

2.3 纯PC及PC/ABS合金的FDM成型性

实验发现,纯PC在拉丝成型过程中尺寸稳定性较差,丝材直径误差较大,为 $(1.75\pm 0.27)\text{ mm}$,难以将丝材直径控制在 $(1.75\pm 0.25)\text{ mm}$ 标准范围内。而ABS尺寸稳定性极佳,拉丝成型时丝材直径基本控制在 $(1.75\pm 0.02)\text{ mm}$ 。PC/ABS合金丝材成型时直径范围为 $(1.75\pm 0.05)\text{ mm}$,符合FDM成型丝材标准,且比PC丝材尺寸稳定性好。说明PC/ABS合金中的ABS组分有效改善了PC的尺寸稳定性。

采用FDM工艺按照国家标准打印试样时,发现PC黏度较大,极易粘附在喷嘴,且成型温度较高,达 240°C ,导致其难以准确沉积并粘附在打印机

温床上,成型率不高。但是由于高温熔融成型效果较好,打印成功的PC成型件内应力小,尺寸翘曲性小,力学性能较佳。而PC/ABS合金在进行FDM打印时,成型温度为 $225\sim 230^\circ\text{C}$,低于纯PC,对FDM打印机喷嘴温度要求较低,易于成型,且喷嘴打印出丝更为流畅,打印制件的成型率也较高。比较纯PC与PC/ABS合金丝材直径的尺寸稳定性与打印成功率,PC/ABS合金比纯PC更适合FDM成型工艺。这是因为PC/ABS合金中的ABS组分对其尺寸稳定性和黏度具有一定的改善作用,且合金的成型温度比纯PC低,市场上普通的FDM打印机均能满足其打印要求,比PC更加适应市场需求。

2.4 纯PC及PC/ABS合金FDM成型试样的力学性能

采用FDM工艺打印试样时,采取水平向、侧向和竖向三种成型方式。但是在打印哑铃试样进行拉伸强度测试时,仅使用水平向和竖向打印。这是因为FDM成型方式为层层打印,哑铃型试样若采用侧向打印,需要添加支撑,测试试样力学性能时需剥离支撑,会导致试样侧面产生缺陷,影响成型件尺寸精确度和力学性能,参考意义不大。因此,拉伸强度测试放弃侧向打印成型方式。

不同成型方式下纯PC及PC/ABS合金试样的拉伸强度如图3所示。

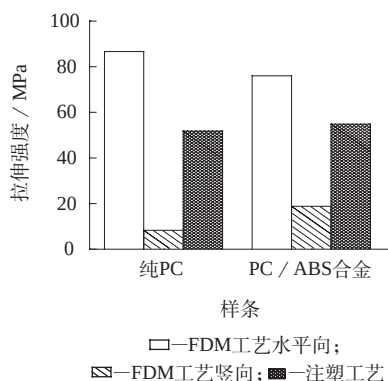


图3 不同成型方式下纯PC及PC/ABS合金试样的拉伸强度

由图3可见,纯PC与PC/ABS合金采用FDM工艺水平向打印的试样的拉伸强度分别为 86.63 MPa 和 76.02 MPa ,注塑工艺成型试样的拉伸强度则分别为 51.82 MPa 和 54.84 MPa ,显然纯PC与PC/ABS合金注塑试样的拉伸强度相差不大。而两种材料采用FDM工艺水平向成型试样的拉伸强度均高于注塑成型。应该这是由于FDM层层打印的成型方式大大减小了试样的内应力,而且层与层之间喷嘴出丝走向呈 $\pm 45^\circ$ 夹角,使得试样整

体取向与拉伸应力方向不同,也增大了试样的拉伸强度。但是采用 FDM 工艺竖向方式打印的纯 PC 与 PC/ABS 合金哑铃试样,两者的拉伸强度均较小,分别为 8.28 MPa 和 18.84 MPa,远低于注塑工艺成型试样。这是由于试样层间粘结力较小的缘故。3D 打印成型件最薄弱处即为层间粘结处,其作用力为分子间作用力,而竖向试样受到拉伸应力的方向正是层间粘结力,导致试样的拉伸强度较弱。

不同成型方式下纯 PC 及 PC/ABS 合金试样的弯曲强度如图 4 所示。

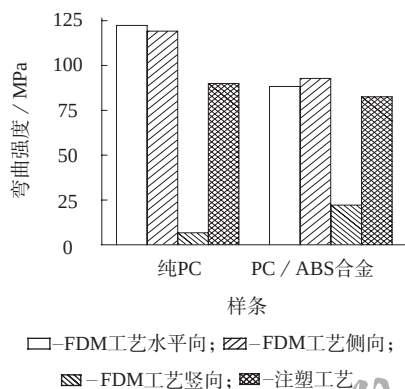


图4 不同成型方式下纯 PC 及 PC/ABS 合金试样的弯曲强度

由图 4 可见,纯 PC 采用 FDM 工艺水平向打印试样的弯曲强度为 122.31 MPa,侧向打印试样的弯曲强度为 119.15 MPa,且均大于注塑工艺成型试样的弯曲强度 (89.97 MPa), PC/ABS 合金采用 FDM 工艺水平向打印试样的弯曲强度为 88.31 MPa,侧向打印试样的弯曲强度为 92.81 MPa,也高于注塑工艺成型试样的弯曲强度 (82.56 MPa)。这是因为 FDM 工艺细丝挤出方向与试样弯曲平面方向垂直,受到的弯曲作用力得到很好地分散,提升了试样的抗弯性。而纯 PC 与 PC/ABS 合金采用 FDM 工艺竖向打印试样的弯曲强度分别仅为 6.69 MPa 与 22.09 MPa,远远小于注塑工艺成型,其原因是由于采用 FDM 工艺竖向打印的试样受到弯曲应力为分子间作用力,抗弯力较小,且打印过程中层数较多,每层的截面积较小,试样打印精度较差,对力学性能也产生了一定的影响。

不同成型方式下纯 PC 及 PC/ABS 合金试样的缺口冲击强度如图 5 所示。

由图 5 可以看出,纯 PC 采用 FDM 工艺水平向、侧向与竖向打印试样的缺口冲击强度分别为 5.78, 5.73, 3.72 kJ/m^2 ,而采用注塑工艺成型试样的缺口冲击强度为 7.77 kJ/m^2 ,说明纯 PC 由于其缺口敏

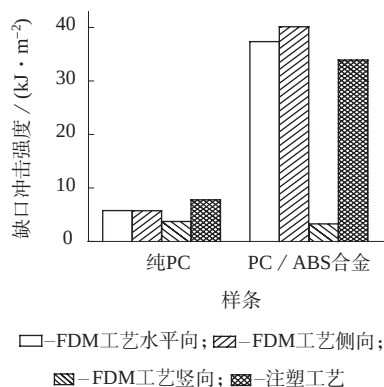


图 5 不同成型方式下纯 PC 及 PC/ABS 合金试样的缺口冲击强度感性,各种成型方式下试样的缺口冲击强度都较小,这也是纯 PC 在工程应用中的重要缺陷。对于 PC/ABS 合金,除了采用 FDM 工艺竖向打印试样的缺口冲击强度较小外,其它成型方式下试样的缺口冲击强度大大提高。如采用 FDM 工艺水平向打印 PC/ABS 合金试样的缺口冲击强度为 37.35 kJ/m^2 ,是纯 PC 的 6.46 倍;侧向打印 PC/ABS 合金试样的缺口冲击强度为 40.13 kJ/m^2 ,是纯 PC 的 7 倍。这是因为合金中的 ABS 组分大大改善了 PC 的缺口敏感性。同理,由于采用 FDM 工艺竖向成型方式的缺陷性,PC/ABS 合金试样的缺口冲击强度仅 3.29 kJ/m^2 。因为竖向打印试样的抵抗冲击力为分子间作用力,导致缺口冲击强度较低。

3 结论

(1) 当 PC/ABS=70/30, ABS-g-MAH 为 6 份时,注塑工艺成型 PC/ABS 合金试样的缺口冲击强度为 33.92 kJ/m^2 ,优于其它配方合金的抗冲击性能,此时拉伸强度为 54.84 MPa,弯曲强度为 82.56 MPa,与纯 PC 的拉伸强度 (51.82 MPa) 和弯曲强度 (89.97 MPa) 接近,具有较好的力学性能。PC/ABS 合金的耐热性能受到 ABS 影响不大,熔体体积流动速率、初始分解温度等均接近纯 PC,是 PC 在 FDM 工艺中较好的替代材料。

(2) FDM 工艺具有多种成型方式,选择不同的取向,成型件的力学性能不同。水平向和侧向成型件,由于其成型方式的特性,产生多层累加效果,成型试样的力学性能优异,甚至高于传统的注塑工艺成型,是较好的成型方式。但是竖向成型件由于层数较多,层间作用力较弱,力学性能较差。

参考文献

- [1] Dong Xianming, Xiong Ying, Chen Guangshun, et al. Effect of the morphology on the anisotropic light scattering of polycarbonate (PC)/

- poly(styrene-co-acrylonitrile) (SAN) (70 / 30) blend[J]. Applied Optics, 2015, 54(4):608–614.
- [2] 赵元旭, 李安, 冯跃战, 等. 短多壁碳纳米管 / 聚碳酸酯复合材料的制备与性能 [J]. 现代塑料加工应用, 2015(5):8–11.
Zhao Yuanxu, Li An, Feng Yuezhao, et al. Preparation and property of short multi-walled carbon nanotube / polycarbonate composites[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2015(5):8–11.
- [3] Chinnadurai T, Vendan S A. Thermal and structural analysis of ultrasonic-welded PC / ABS blend for automobile applications[J]. Journal of Thermal Analysis & Calorimetry, 2017, 127(3):1995–2003.
- [4] 张宁, 郭强. MAH-SBS 和纳米 CaCO_3 复合改性 PC-ABS 共混材料 [J]. 复合材料学报, 2014, 31(3):591–596.
Zhang Ning, Guo Qiang. PC-ABS blending materials with MAH-SBS and CaCO_3 compound modification[J]. Acta Material Composita Sinica, 2014, 31(3):591–596.
- [5] 张清怡, 孙颜文. PC / ABS 共混物的流变性能 [J]. 合成树脂及塑料, 2015(3):64–67.
Zhang Qingyi, Sun Yanwen. Rheological behaviors of PC / ABS blends[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2015(3):64–67.
- [6] Ertan R, Durgun I. Experimental investigation of FDM process for improvement of mechanical properties and production cost[J]. Rapid Prototyping Journal, 2014, 20(3):228–235.
- [7] Garg H K, Singh R. Comparison of wear behavior of ABS and Nylon6-Fe powder composite parts prepared with fused deposition modelling[J]. Journal of Central South University, 2015, 22(10):3705–3711.
- [8] Masood S H, Mau K, Song W Q. Tensile properties of processed FDM polycarbonate material[J]. Materials Science Forum, 2010, 654–656:2556–2559.
- [9] Magalhães L C, Volpato N, Luersen M A. Evaluation of stiffness and strength in fused deposition sandwich specimens[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences & Engineering, 2014, 36(3):449–459.
- [10] Bellini A, Güçeri S. Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling[J]. Rapid Prototyping Journal, 2014, 9(4):252–264.
- [11] Haq R H A, Rahman M N A, Ariffin A M T, et al. Characterization and mechanical analysis of PCL / PLA composites for FDM feedstock filament[J]. Materials Science and Engineering, 2017, 226(1):doi:10.1088/1757-899x/226/1/012038.
- [12] Seidl M, Safka J, Bobek J, et al. Mechanical properties of products made of ABS with respect to individuality of FDM production processes[J]. MM Science Journal, 2017, 9(2):1748–1751.
- [13] 习武, 张效迅, 金鸣, 等. 石墨烯增强尼龙复合材料 3D 打印工艺研究 [J]. 塑料工业, 2016, 44(12):38–41.
Xi Wu, Zhang Xiaoxun, Jin Ming, et al. 3-D printing technology research on graphene reinforced nylon composites[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(12):38–41.
- [14] Māgi P, Krumme A, Pohlak M. Recycling of PA-12 in additive manufacturing and the improvement of its mechanical properties[J]. Key Engineering Materials, 2016, 674(142):9–14.
- [15] Wu Wenzheng, Geng Peng, Li Guiwei, et al. Influence of layer thickness and raster angle on the mechanical properties of 3D-printed PEEK and a comparative mechanical study between PEEK and ABS[J]. Materials, 2015, 8(9):5834–5846.
- [16] 李振. 适用于 FDM 的聚碳酸酯材料研究 [D]. 上海: 上海材料研究所, 2017.
Li Zhen. Research on polycarbonate materials for FDM[D]. Shanghai: Shanghai Research Institute of Material, 2017.
- [17] Arivazhagan A, Masood S H. Dynamic mechanical properties of ABS material processed by fused deposition modelling[J]. International Journal of Engineering Research and Applications, 2012, 2(3):2009–2014.
- [18] Mohamed O A, Masood S H, Bhowmik J L, et al. Effect of process parameters on dynamic mechanical performance of FDM PC / ABS printed parts through design of experiment[J]. Journal of Materials Engineering & Performance, 2016, 25(7):2922–2935.

美军研发减重塑料头盔可防 9 mm 子弹

据美国《大众机械》月刊网站报道, 美国陆军正在研发中的一款新型头盔, 可望降低士兵头部保护装备的质量, 使之降至二战时期的水平。与以往任何时候的头盔相比, 这种新型的“二代先进战斗头盔”将减少对士兵颈部肌肉的压力, 同时保护佩戴者免受头部伤害。

“二代先进战斗头盔”有望使头盔质量比此前的头盔, 包括现行版本的“先进战斗头盔”(ACH)最多减重 24%。与此同时, 根据评定二代 ACH 头盔可挡住 9 mm 口径子弹、弹片以及简易爆炸装置的破坏。该头盔由美国陆军的内蒂克士兵装备研发中心研制。

在二战爆发后不久, 美国陆军曾为全军配发了著名的 M-1“钢锅”头盔。用钢制成并配有内部挽具和固定皮带的 M-1 头盔经过了二战及后来的朝鲜战争, 一直被使用到越南

战争结束。这种头盔重 1.36 kg (3 磅), 可以抵挡住泥土、碎石、跳弹及轻型弹片。20 世纪 80 年代, 美国陆军开始改用“地面部队个人装甲系统”(PAGST) 头盔, 它在制造过程中采用了凯夫拉弹性纤维, 从而可获得针对手枪子弹和较重弹片的有限保护。但其代价是质量过大。特大号的该型头盔的质量达到 1.9 kg (4.2 磅)。2003 年美国陆军启用了 ACH 头盔, 它把特大号头盔的质量降低到了 1.76 kg (3.88 磅)。

而新的二代 ACH 头盔将使头盔质量进一步降低, 其中特大号头盔的质量仅为 1.33 kg (2.94 磅)。为此, 陆军的科学家和工程师们改变了使用的材料, 把原先的凯夫拉弹性纤维改成了塑料。其材料为“超高分子量聚乙烯”(PE-UHMW)。PE-UHMW 是一种被用于从钓鱼线到髌关节移植体各类制品的半结晶聚合物, 具有牢固、耐磨和质量轻的特点。

(工程塑料网)