

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.09.004

3D 打印用 ABS 的改性与制备

李蕾, 张清怡, 衣惠君

(北京燕山石化高科技技术有限责任公司, 北京 102500)

摘要:以丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)为基体,分别以空心玻璃微珠(HGB)、聚碳酸酯(PC)及相容剂马来酸酐接枝ABS(ABS-g-MAH)为改性剂,考察不同改性剂含量对ABS力学性能、耐热性能、收缩率的影响,并通过挤出成型制备改性ABS线材,采用3D打印技术中的熔融沉积成型(FDM)技术打印相关制品,对比改性前后打印制品的性能。结果表明,硅烷偶联剂改性的HGB可以降低ABS的密度和收缩率,提高材料的热变形温度,当HGB质量分数为8%时,ABS的拉伸强度和弯曲弹性模量最高;通过添加PC,可以显著提高材料的力学性能及耐热性能,但是对收缩率有较大的不利影响;通过添加适量的相容剂ABS-g-MAH可进一步提高材料性能,其中收缩率的下降更为明显;当HGB、PC和ABS-g-MAH质量分数分别为8%,5%,5%时,改性后的ABS具有较好的综合性能,其FDM打印试样的拉伸强度、弯曲弹性模量及热变形温度较未改性打印试样分别提高了20.9%,18%,4.8%,收缩率由1%下降至0.6%,能够打印大尺寸制品而不发生翘曲及开裂。

关键词:丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料;改性;熔融沉积成型;3D打印;力学性能;耐热性能;收缩率

中图分类号:TQ325.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2018)09-0019-05

Modification and Preparation of ABS for 3D Printing

Li Lei, Zhang Qingyi, Yi Huijun

(Beijing Yanshan Petrochemical High-Tech Company Limited, Beijing 102500, China)

Abstract : Acrylonitrile-butadiene-styrene plastic (ABS) was used as matrix and hollow glass beads (HGB), polycarbonate (PC) and compatibilizer ABS grafted maleic anhydride (ABS-g-MAH) were used as modifiers, the effects of different type modifiers contents on the mechanical properties, heat resistance, shrinkage of ABS were investigated. The modified ABS filament was prepared by extrusion molding, and the part was printed by the fused deposition molding (FDM) technology of 3D printing. The difference between the printed parts before and after modification was also compared. The results show that the addition of silane modified HGB can reduce the density and shrinkage rate of ABS, improve the bending property and heat deflection temperature (HDT), when the mass fraction of HGB is 8%, the tensile strength and flexural modulus are highest. The addition of PC can improve the mechanical properties and heat resistance obviously, but has a large adverse effect on the shrinkage rate. The properties can be further improved by adding compatibilizer ABS-g-MAH with proper content and the decrease of the shrinkage rate is more significant. When the mass fraction of HGB, PC and ABS-g-MAH are 8%, 5%, 5% respectively, the modified ABS has better comprehensive performances, compared with the unmodified ABS FDM printing sample, the tensile strength, flexural modulus and HDT of the modified printing sample improve by 20.9%, 18%, 4.8% respectively and the shrinkage rate decreases 1% to 0.6%. The modified ABS filament can be used for printing large-size parts without warping and cracking.

Keywords : acrylonitrile-butadiene-styrene plastic ; modify ; fused deposition molding ; 3D printing ; mechanical property ; heat resistance ; shrinkage rate

3D 打印, 又称增材制造, 是快速成型技术^[1]的一种, 其原理是先通过计算机建模或扫描原型, 得

到数字化模型, 然后将三维模型分解成多层的二维截面数据, 再通过软件与数控系统将材料进行逐层

通讯作者: 李蕾, 高级工程师, 主要从事合成树脂加工及应用研究工作 E-mail: lilei.yssh@sinopec.com

收稿日期: 2018-07-10

引用格式: 李蕾, 张清怡, 衣惠君. 3D 打印用 ABS 的改性与制备 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(9):19-23, 59.

Li Lei, Zhang Qingyi, Yi Huijun. Modification and preparation of ABS for 3D printing[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(9):19-23, 59.

打印,最终形成三维实体。3D打印技术包括熔融沉积成型(FDM)技术、选择性激光烧结(SLS/SLM)技术、光固化成型(SLA/DLP)技术、电子束熔化(EBM)技术等^[2-3]。

其中FDM是将丝状的热塑性材料加热熔融,在计算机的控制下,根据三维模型信息,将材料选择性地涂敷在工作台上,快速冷却后形成一层截面;一层成型完成后,机器工作台下降低一个高度再涂覆下一层,直至形成整个三维造型^[4]。FDM工艺能兼容多种类型的材料且更换方便,维护成本低,可以快速成型厚度较小的实体。

FDM使用的热塑性高分子材料^[5-6]主要有丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)、聚乳酸(PLA)、聚碳酸酯(PC)、尼龙(PA)、聚醚醚酮(PEEK)等。其中ABS是FDM第二大应用量的耗材,它具有较高的强韧结合性,在模型设计领域得到广泛的应用。陈涛等^[7]对常见3D打印用的ABS进行成分和拉伸性能分析,发现随着ABS中的聚丁二烯含量增加,有利于降低打印成品热收缩率的各向异性,同时使产品的内应力通过自身变形获得缓解,从而降低产品翘曲度,提高尺寸精度。乔雯钰等^[8]对3D打印用ABS线材性能进行了研究,发现短切玻璃纤维(GF)可略微提高试样的拉伸强度,但随着GF含量的增加拉伸强度下降。李军伟等^[9]通过研究空心玻璃微珠(HGB)对ABS复合材料的影响发现,HGB的加入使ABS的力学性能有所提高,并且使得ABS的流动性有所改善。

ABS由于具有较高的收缩率及内应力,会在打印过程中导致打印制品发生翘曲变形甚至开裂,并且ABS的耐热性不高,又限制了其在较高温度环境下使用。笔者以HGB为主要填料,辅助以PC和相容剂马来酸酐接枝ABS(ABS-g-MAH),对ABS进行改性,获得了较好的效果,ABS的刚性得到提高、收缩率明显降低,解决了其翘曲变形及应力开裂的问题,同时提高了其耐热温度,不仅实现了大尺寸制品的打印,而且实现了其可在较高温度下消毒杀菌的目的,对下游用户起到了指导作用。

1 实验部分

1.1 主要原料

ABS: 8391,上海高桥石油化工有限公司;

HGB: 密度为 0.46 g/cm^3 ,硅烷偶联剂改性,美国3M公司;

PC: 7022IR,中石化三菱化学聚碳酸酯(北京)

有限公司;

ABS-g-MAH: 6002,接枝率为0.8%,苏州亚赛塑化有限公司。

1.2 主要仪器与设备

高速混合机: GRH-200型,阜新市红旗塑料机械厂;

双螺杆挤出机: TSE-35D型,南京瑞亚高聚物装备有限公司;

注塑机: EM120-V型,长径比为40:1,振德塑料机械有限公司;

3D制线机: SJ35-28型,张家港市乐余惠平机械厂;

桌面打印机: WiiBoox one型,江苏威宝仕有限公司;

自动密度仪: AR-160型,日本长岛公司;

熔体流动速率(MFR)测试仪: TP-402-2型,日本TESTER公司;

万能试验机: instron 5566型,美国英斯特朗公司;

全自动热变形维卡仪: 148-HAD型,意大利CEAST公司。

1.3 试样制备

(1) 将ABS, HGB, PC及ABS-g-MAH按一定配方放入高速混合机中混合10 min;

(2) 将步骤(1)中得到的混合物加入双螺杆挤出机中,经挤出、切粒,得到改性ABS塑料颗粒,双螺杆挤出机的工艺条件为挤出温度 $200\sim 230^\circ\text{C}$,转速 300 r/min ;

(3) 将步骤(2)中得到的ABS塑料颗粒加入注塑机,制备各种性能测试要求的标准注塑试样,其中注塑温度为 $210\sim 230^\circ\text{C}$,注射压力为 0.7 MPa ,模具温度为 80°C ;

(4) 将步骤(2)中得到的ABS塑料颗粒加入3D制线机,其中牵丝温度为 $200\sim 220^\circ\text{C}$,螺杆转速 80 r/min ,电流恒定在 3.15 A ,制备得到直径约为 1.75 mm 的ABS线材;

(5) 采用FDM将ABS线材打印成型,其中打印温度为 $240\sim 250^\circ\text{C}$,打印机底板温度为 $80\sim 100^\circ\text{C}$,打印层厚为 0.15 mm ,填充率为100%。

1.4 测试与表征

密度按GB/T 1033.1-2008测试;

MFR按GB/T 3682-2000测试,温度 200°C 、负荷 5 kg ;

拉伸强度按 GB/T 1040.2-2006 测试,拉伸速度为 50 mm/min;

弯曲弹性模量按 GB/T 9341-2008 测试,测试速率 2 mm/min;

热变形温度按 GB/T 1634.2-2004 测试;

模塑收缩率按 GB/T 17037.4-2003 测试。

2 结果与讨论

2.1 HGB 对 ABS 性能的影响

HGB 具有中空、质轻、耐高温等优点,它可作为无机填料用于塑料改性,能够显著降低塑料成本,还可改善塑料的加工流动性能,提高强度和刚性,降低收缩率。因此,笔者以硅烷偶联剂改性的 HGB 为主要填料,用其降低 ABS 的密度并提高流动性能,同时改善 ABS 的其它性能。

分别添加质量分数为 0%,0.5%,1%,3%,5%,8%,10%,15% 的硅烷偶联剂改性 HGB 至 ABS 中,首先研究了其对 ABS 密度和 MFR 的影响,结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,随着 HGB 含量的增加,复合材料密度总体呈下降趋势,表明利用 HGB 中空、质轻的特点,可为材料的研制节省成本。加入 HGB 后,ABS 的 MFR 有所提高,且随着 HGB 含量的增加 MFR 持续升高,说明 HGB 的加入改善了 ABS 的流动性。这是因为 HGB 表面光滑,其圆球形状容易在基体树脂中形成滚珠轴承效应,从而改善材料流动性。而流动性的适当提高可以改善 ABS 在 FDM 方面的工艺性,可提高打印速度,节省打印时间。

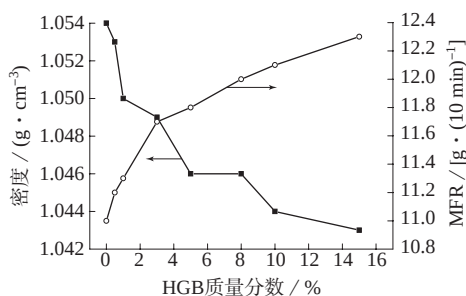


图1 不同HGB含量的ABS密度和MFR

图2为ABS力学性能随HGB含量的变化情况。由图2可以看出,随着HGB含量的增加,弯曲弹性模量及拉伸强度均呈现先增加后降低的趋势,当HGB质量分数为8%时,拉伸强度及弯曲弹性模量均达到最高。这是因为一方面硅烷偶联剂改性的HGB能够与ABS基体结合,形成三维网络结构,减少材料内部缺陷及ABS结构之间内应力,增加拉伸强度;另一方面HGB表面光滑,圆球形状能够承受

一定形变下的弯曲应力,使材料弯曲弹性模量增加。而HGB含量达到一定程度后,可能会产生团聚,不仅不能增加材料强度,反而会导致材料的缺陷,从而影响力学性能。较高的拉伸强度及弯曲弹性模量,能够保证ABS线材在FDM的进丝过程及悬空模型打印时不会发生断丝、掉丝现象,省去支撑打印,提高打印效率。同时弯曲弹性模量的提高也提高了ABS的刚性,可在一定程度上降低ABS制品的翘曲现象。

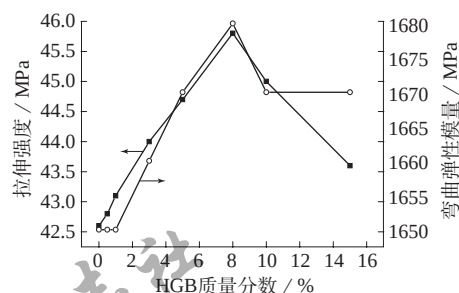


图2 不同HGB含量的ABS力学性能

图3为ABS模塑收缩率及热变形温度随HGB含量的变化情况。由图3可以看出,随着HGB含量的增加,ABS的模塑收缩率有所下降,当HGB质量分数达到8%后,模塑收缩率基本达到稳定。较低的模塑收缩率能够保证ABS在打印中产生较小的内应力,使制品发生变形、层间剥离及翘曲的现象降低^[9-10]。另外,HGB使ABS耐热性有一定的提高,因为HGB属于无机材料,具有较高的比热容及较低的导热系数,使得它在ABS升温过程中吸收了大量的热量,从而提高了ABS的热稳定性。当HGB质量分数超过10%时,热变形温度也趋于稳定。耐热性的提高可使ABS打印制品在较高的温度下使用,例如可用于医疗模型领域中的紫外高温杀菌消毒。

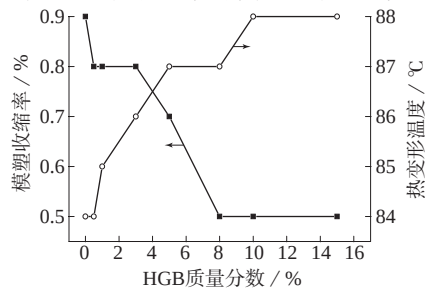


图3 不同HGB含量的ABS热变形温度及模塑收缩率

2.2 PC对ABS/HGB复合材料性能的影响

由上述分析可知,当HGB质量分数为8%时,力学性能最高,同时具有较低的密度和收缩率,较高的MFR和热变形温度,因此在添加质量分数8%的硅烷偶联剂改性HGB的基础上,添加质量分数为

0%,5%,10%,15%,20%的PC对ABS进行进一步改性,主要考察PC含量对ABS/HGB复合材料力学性能、热变形温度及模塑收缩率的影响。结果如图4、图5所示。

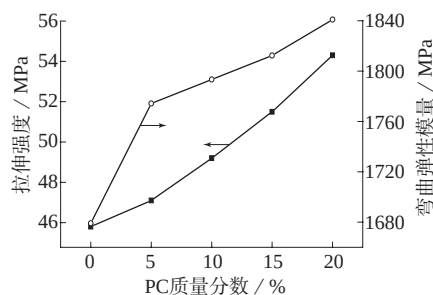


图4 不同PC含量的ABS/HGB复合材料拉伸强度及弯曲弹性模量

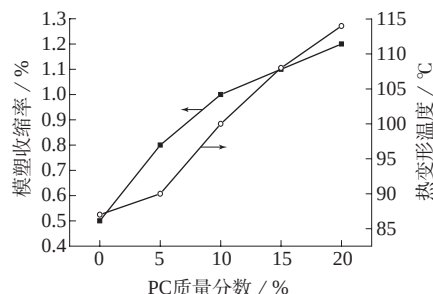


图5 不同PC含量的ABS/HGB复合材料热变形温度及模塑收缩率

由图4和图5可以看出,随着PC质量分数由0%增加到20%,复合材料的弯曲弹性模量从1680 MPa增加到1840 MPa,提升幅度较为显著;拉伸强度从45.8 MPa增加到54 MPa。随着PC含量的增加,复合材料的热变形温度也有很大提升,能够达到114℃,这是因为PC含有刚性分子链,具有更高的热变形温度,可以保证打印制品在更高的温度下使用。但是随着PC含量的增加,复合材料的收缩率也有较大增加,这是因为PC本身的收缩率较大,并且其刚性结构更容易在制品内部产生内应力,大的收缩率会导致打印制品尺寸稳定性下降、制品尺寸精度下降,因此在保证制品性能的基础上,不能大幅度增加PC的含量,可将PC质量分数定为5%,此时复合材料的弯曲弹性模量和拉伸强度分别达到1780,47.1 MPa,热变形温度达到90℃,模塑收缩率处在可接受的水平,为0.8%。

2.3 相容剂ABS-g-MAH对ABS/PC/HGB复合材料性能的影响

在添加质量分数8%硅烷偶联剂改性HGB及5%PC的基础上,向ABS中添加质量分数为0%,1%,3%,5%,8%,10%的相容剂ABS-g-MAH,考察其对ABS/PC/HGB复合材料力学性能、热变形温度和模塑收缩率的影响,结果如图6、图7所示。

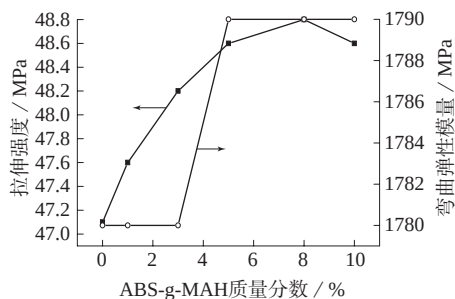


图6 不同ABS-g-MAH含量的ABS/PC/HGB复合材料

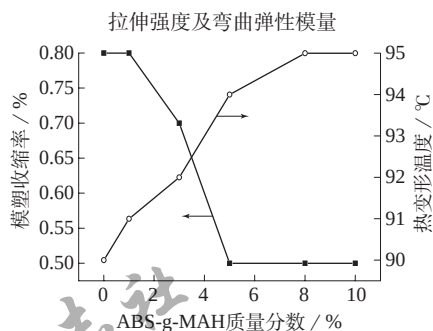


图7 不同ABS-g-MAH含量的ABS/PC/HGB复合材料

由图6和图7可以看出,随着相容剂ABS-g-MAH含量的增加,复合材料的拉伸强度和弯曲弹性模量总体上有所提升,热变形温度有较大提高,而收缩率下降程度较显著。这是因为ABS-g-MAH中含有活性较强的酸酐基团,能在高温及剪切作用下与PC发生接枝共聚反应,所以加入ABS-g-MAH能明显降低ABS与PC两相间的界面张力,从而提高材料的各项性能^[11-12];并且ABS-g-MAH能够与HGB中的羟基形成键合作用,一方面有利于HGB的分散,另一方面增强了材料中HGB与有机树脂基体的界面粘结性,使得各组分能更好地相容,也使得复合材料内部网络结构更加完善,从而在一定程度上提高了材料的力学性能及热变形温度,并能够降低内部应力,抵消单纯PC组分带来的高收缩率影响。当相容剂ABS-g-MAH质量分数达到5%后,复合材料的综合性能变化不再明显,因而确定ABS-g-MAH适宜的质量分数为5%。

2.4 改性ABS的FDM试样性能

采用FDM技术将改性前后的ABS线材分别打印成用于测试力学性能、收缩率、热变形温度的标准试样(其中改性ABS线材中的硅烷偶联剂改性HGB的质量分数为8%,PC质量分数为5%,ABS-g-MAH质量分数为5%),测试各试样性能并与相同配方条件下的注塑试样性能进行对比,结果如表1所示。

表1 改性前后ABS注塑试样与打印试样性能对比

项 目	注塑试样		打印试样	
	纯 ABS	改性 ABS	纯 ABS	改性 ABS
拉伸强度 / MPa	42.6	48.6	22.5	27.2
弯曲弹性模量 / MPa	1650	1790	720	850
热变形温度 / °C	84	94	84	88
收缩率 / %	0.9	0.5	1.0	0.6

由表1可以看出,改性后ABS打印试样的拉伸强度、弯曲弹性模量及热变形温度均有较大提高,较未改性打印试样分别提高了20.9%,18%,4.8%,收缩率由1%下降至0.6%,更利于FDM打印工艺。而相较于注塑试样,打印试样的力学性能有所损失,说明打印过程仍有缺陷存在,可能是层与层之间粘结力不足的原因。

采用FDM将改性前后的ABS线材分别进行打印成型。图8为改性前后ABS线材打印制品对比图。图8中左边较大的佛像为改性ABS线材打印的佛像,其长度为205 mm,宽度为190 mm,高度为267 mm,尺寸误差为 ± 0.15 mm,符合精度要求,表面无开裂;图8中右边较小的佛像为未改性ABS线材打印的佛像,其长度为97 mm,宽度为90 mm,高度为121 mm,尺寸误差也为 ± 0.15 mm,虽符合精度要求,但表面有开裂现象,并且如果放大尺寸,则在打印过程中底部严重翘曲,无法成型。



图8 改性前后的ABS线材打印制品对比图

3 结论

(1) 硅烷偶联剂改性的HGB可以降低ABS的密度和收缩率并使MFR和热变形温度提高,当HGB质量分数为8%时,ABS的材拉伸强度及弯曲弹性模量均达到最大。

(2) 通过添加PC,可显著提高ABS/HGB复合材料的力学性能及热变形温度,但也会使材料的收缩率明显增大。

(3) 适量相容剂ABS-g-MAH的加入能够进一

步提高ABS/PC/HGB复合材料的性能,其中材料收缩率的下降程度较为显著。

(4) 添加质量分数分别为8%,5%,5%的硅烷偶联剂改性HGB,PC和ABS-g-MAH时,改性ABS综合力学性能较好,其FDM打印试样的拉伸强度、弯曲弹性模量及热变形温度较未改性打印试样分别提高了20.9%,18%,4.8%,收缩率由1%下降至0.6%,且能在成型大尺寸打印制品时不发生翘曲及开裂。

参考文献

- [1] 卢秉恒,李涤尘.增材制造(3D打印)技术发展[J].机械制造与自动化,2013,42(4):1-4.
Lu Bingheng, Li Dichen. Development of the additive manufacturing (3D printing) technology[J]. Machine Building & Automation, 2013, 42(4):1-4.
- [2] 李智临,李磊,王春,等.3D打印技术及其在石油化工行业的应用研究[J].广东化工,2014(23):100-101.
Li Zhilin, Li Lei, Wang Chun, et al. The 3D printing technology and the application research in petrochemical industry[J]. Guangdong Chemical Industry, 2014(23):100-101.
- [3] 王修春,魏军,伊希斌,等.3D打印技术类型与打印材料适应性[J].信息技术与信息化,2014(4):84-90.
Wang Xiuchun, Wei Jun, Yi Xibin, et al. 3D printing technology and printing material adaptability[J]. Information Technology and Informatization, 2014(4):84-90.
- [4] 唐通鸣,张政,邓佳文,等.基于FDM的3D打印技术研究现状与发展趋势[J].化工新型材料,2015,43(6):228-234.
Tang Tongming, Zhang Zheng, Deng Jiawen, et al. Research status and trend of 3D printing technology based on FDM[J]. New Chemical Materials, 2015, 43(6):228-234.
- [5] 张胜,徐艳松,孙姗姗,等.3D打印材料的研究及发展现状[J].中国塑料,2016,30(1):7-14.
Zhang Sheng, Xu Yansong, Sun Shanshan, et al. A review on the progress of 3D printing materials[J]. China Plastics, 2016, 30(1):7-14.
- [6] 杜宇雷,孙菲菲,原光,等.3D打印材料的发展现状[J].徐州工程学院学报:自然科学版,2014,29(1):20-24.
Du Yulei, Sun Feifei, Yuan Guang, et al. Current status of materials for three-dimensional printing[J]. Journal of Xuzhou Institute of Technology: Natural Sciences Edition, 2014, 29(1):20-24.
- [7] 陈涛,于晓东,贾茹.常见3D打印用ABS树脂的成分和拉伸性能分析[J].塑料科技,2015,43(7):89-93.
Chen Tao, Yu Xiaodong, Jia Ru. Analysis on component and tensile properties of common ABS resin for 3D printing[J]. Plastics Science and Technology, 2015, 43(7):89-93.
- [8] 乔雯钰,徐欢,马超,等.3D打印用ABS线材性能研究[J].工程塑料应用,2016,44(3):18-23.

(下转第59页)

- [6] 肖艳. 走近车用工程塑料[J]. 上海塑料, 2010(2):48-52.
Xiao Yan. Approaching the vehicle engineering plastics[J]. Shanghai Plastics, 2010(2):48-52.
- [7] 张昕. 汽车轻量化在整车开发中的应用[J]. 科技创新导报, 2016, 13(33):52-53.
Zhang Xin. Application of automobile lightweight in vehicle development[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2016, 13(33):52-53.
- [8] 高阳. 汽车轻量化技术方案及应用实例[J]. 汽车工程学报, 2018, 8(1):1-9.
Gao Yang. Technical schemes and implementation examples of automobile lightweight[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2018, 8(1):1-9.
- [9] 刘俊聪, 王丹勇, 夏敏, 等. 汽车用改性尼龙研究进展[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(10):100-104.
Liu Juncong, Wang Danyong, Xia Min, et al. Progress in research on modified nylon used in automobile[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(10):100-104.
- [10] 宋吉威, 张纯, 刘卫, 等. 微发泡聚合物材料研究进展[J]. 塑料科技, 2013(11):102-105.
Song Jiwei, Zhang Chun, Liu Wei, et al. Research progress in microcellular polymer material[J]. Plastics Science and Technology, 2013(11):102-105.
- [11] 何亚东. 聚合物微发泡材料制备技术应用研究进展[J]. 塑料, 2004(5):9-15.
He Yadong. Progress of preparation of microcellular polymer foams(MPF)[J]. Plastics, 2004(5):9-15.
- [12] 房研. 应用微发泡注塑工艺的门槛板轻量化研究[J]. 汽车工艺与材料, 2018(1):60-63.
Li Yan. Study on lightweight of door guard panel with micro foaming injection molding process[J]. Automobile Technology & Material, 2018(1):60-63.
- [13] 唐锦荣. MuCell 微发泡注塑成型技术应用[J]. 国外塑料, 2011, 29(4):60-61.
Tang Jinrong. Application of MuCell micro foam injection molding[J]. World Plastics, 2011, 29(4):60-61.
- [14] 赵正创, 欧阳春发, 相旭. 微发泡聚合物材料的研究进展[J]. 化工进展, 2016, 35(S1):209-215.
Zhao Zhengchuang, Ouyang Chunfa, Xiang Xu. Research progress in microcellular polymer material[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2016, 35(S1):209-215.
- [15] 刘臻青. 化学微发泡注塑在汽车门内饰板的应用[J]. 汽车工程师, 2017(4):47-50.
Liu Zhenqing. Application of chemical micro foaming injection molding in automobile door trim panel[J]. Automotive Engineer, 2017(4):47-50.
- [16] 张建耀, 张庆录. 汽车内饰用聚丙烯微发泡专用料的研制[J]. 现代塑料加工应用, 2017, 29(6):24-27.
Zhang Jianyao, Zhang Qinglu. Research of the special microfoamed polypropylene compounds for auto interior ornaments[J]. Modern Plastics Progress and Applications, 2017, 29(6):24-27.
- [17] Peng J, Walsh P J, Sabo R C, et al. Water-assisted compounding of cellulose nanocrystals into polyamide 6 for use as a nucleating agent for microcellular foaming[J]. Polymer, 2016, 84:158-166.
- [18] 何孟文, 周岚, 冯新星, 等. 连续挤出法化学发泡尼龙 6 的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(11):11-16.
He Mengwen, Zhou Lan, Feng Xinxing, et al. Preparation and properties of chemical foaming nylon 6 materials manufactured with continuous extrusion[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(11):11-16.
- [19] Zheng Wenge, Lee Y H, Park C B. The effects of exfoliated nano-clay on the extrusion microcellular foaming of amorphous and crystalline nylon[J]. Journal of Cellular Plastics, 2006, 42(4):271-288.
- [20] Hwang S, Liu S, Hsu P P, et al. Effect of organoclay and preparation methods on the mechanical / thermal properties of microcellular injection molded polyamide 6-clay nanocomposites[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2011, 38(9):1 219-1 225.
-
- (上接第 23 页)
- Qiao Wenyu, Xu Huan, Ma Chao, et al. Research on properties of ABS filament used in 3D printing[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(3):18-23.
- [9] 李军伟, 朱森, 吴湘锋. 空心玻璃微珠填充改性 ABS 复合材料的结构及性能[J]. 塑料工业, 2010, 38(11):24-27.
Li Junwei, Zhu Sen, Wu Xiangfeng. Structure and property of ABS composites filled with hollow glass beads[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(11):24-27.
- [10] 唐银花, 李炜, 潘淑婷, 等. 汽车用 PA6 / ABS 共混体系耐刮擦性能研究[J]. 塑料制造, 2014(11):56-60.
Tang Yinhua, Li Wei, Pan Shuting, et al. Effect of formulae of PA6 / ABS blends used for automotive on the anti-scrape property[J]. Plastic Manufacture, 2014(11):56-60.
- [11] 丁志超, 董成磊, 张宁, 等. ABS-g-MAH 对 PC / ASA 合金性能的影响[J]. 现代塑料加工应用, 2013, 25(6):12-14.
Ding Zhichao, Dong Chenglei, Zhang Ning, et al. Influence of ABS-g-MAH on preformance of PC / ASA alloy[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2013, 25(6):12-14.
- [12] 周健, 徐泽平, 杨菁菁, 等. 改性 PC / ABS 合金的研究[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(9):25-29.
Zhou Jian, Xu Zeping, Yang Jingjing, et al. Study of modifying PC / ABS alloy[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(9):25-29.