

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2025.02.005

高抗冲PC/ABS合金的制备及树脂优选

马晓坤¹, 李鑫宇¹, 王立伟², 许超¹, 陆书来^{1,2}

(1. 吉林化工学院, 吉林 132000; 2. 中国石油吉林石化公司研究院, 吉林 132021)

摘要: 为深入研究树脂基体性能和相容剂对聚碳酸酯(PC)/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)合金性能的影响,选取了两种不同熔体流动速率(MFR)的ABS树脂、3种不同厂家的PC树脂和3种不同种类相容剂进行对比实验。当选用MFR更高的PC和ABS树脂,因加工过程中受热流动性更好,并按照一定的比例进行共混时,可以提高PC树脂与ABS树脂两相的相互融合,制备的PC/ABS合金性能更为优异,通过实验对比,确定了ABS(HF681)和PC(2805)为合金性能最优的树脂。此外,相容剂在PC/ABS合金中起着至关重要的作用,它能够降低PC与ABS之间的界面张力,增加相互的黏结力,改善热稳定性,使两相能够更好地混合均匀,从而提高合金的综合性能。经过大量的实验和数据分析,结果表明乙烯-甲基丙烯酸共聚物(EMAC)对提高合金的增韧效果较为显著,在综合性能方面表现最佳。当EMAC添加质量分数为1.5%时,采用PC(2805)/ABS(HF681)(质量比为70/30)制备的合金的各项性能达到了较高值。PC/ABS合金冲击强度达到了74.2 kJ/m²,这使得合金在受到外力冲击时能够更好地吸收能量,不易发生破裂;拉伸强度达到58.42 MPa,保证了合金在承受拉伸载荷时具有足够的强度和稳定性;断裂伸长率达到87.5%,体现了合金良好的柔韧性和延展性;弯曲强度达到80.46 MPa,使得合金在弯曲受力时能保持较好的刚性和抗变形能力;MFR达到12.875 g/10 min,表明合金具有良好的加工流动性,易于成型加工。

关键词: 聚碳酸酯; 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料; 合金; 相容剂; 力学性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2025)02-0035-10

Preparation of high impact PC/ABS alloy and resin selection

MA Xiaokun¹, LI Xinyu¹, WANG Liwei², XU Chao¹, LU Shulai^{1,2}

(1. Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132000, China; 2. Research Institute of Jilin Petrochemical Co., Ltd., Petrochina, Jilin 132021, China)

Abstract : In order to investigate the effects of resin matrix properties and compatibilizers on the properties of polycarbonate (PC)/acrylonitrile-butadiene-styrene plastics (ABS) alloys, two different melt flow rate (MFR) ABS resins, three different manufacturers' PC resins, and three different types of compatibilizers were selected for comparative experiments. When PC and ABS resins with higher MFR are selected, their thermal flowability during processing are better, and when blended in a certain proportion, the mutual fusion between PC resin and ABS resin can be improved, resulting in better performance of PC/ABS alloy. Through experimental comparison, it is determined that ABS (HF681) and PC (2805) are the resins with the best alloy properties. Compatibilizers play a crucial role in PC/ABS alloys, as they can reduce the interfacial tension between PC and ABS, increase the bonding strength between phases, improve thermal stability, and enable better mixing of the two phases, thereby enhancing the overall performance of the alloy. After a large number of experiments and data analysis, the results show that ethylene-methacrylic acid copolymer (EMAC) has a significant effect on improving the toughness of the alloy and performs the best in comprehensive performance. When the addition amount of EMAC is 1.5wt%, the various properties of PC(2805)/ABS(HF681) (mass ratio is 70/30) alloy reach high value. The prepared PC/ABS alloy has an impact strength of 74.2 kJ/m², which enables the alloy to better absorb energy when subjected to external impact and is less prone to fracture. The tensile strength reaches to 58.42 MPa, ensuring that PC/ABS alloy has sufficient strength and stability when subjected to tensile loads. The elongation at break of PC/ABS alloy reaches to 87.5%, reflecting the excellent flexibility and ductility of the alloy. The bending strength reaches to 80.46 MPa, which enables the alloy to maintain good rigidity and deformation resistance under bending stress. MFR of PC/ABS alloy reach 12.875 g/10 min, indicating that the alloy has good processing flowability and is easy to shape and process.

Keywords : polycarbonate ; acrylonitrile-butadiene-styrene plastics ; alloy ; compatibilizer ; mechanical property

通信作者: 陆书来, 教授, 中国石油吉林石化公司首席专家, 博士, 主要研究方向为ABS树脂及复合材料制备

收稿日期: 2024-12-10

引用格式: 马晓坤, 李鑫宇, 王立伟, 等. 高抗冲PC/ABS合金的制备及树脂优选[J]. 工程塑料应用, 2025, 53(2): 35-44.

MA Xiaokun, LI Xinyu, WANG Liwei, et al. Preparation of high impact PC/ABS alloy and resin selection[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(2): 35-44.

聚碳酸酯(PC)/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)材料在汽车领域的应用前景非常广泛。由于其独特的性能特点,PC/ABS在现代汽车中被广泛用于多个领域,包括外部和内部零部件的制造。在轻量化需求方面,PC/ABS材料具有较好的力学性能、较轻的质量和较低的密度,相比传统的金属材料,如钢铁和铝,它能有效降低车辆质量,提升燃油效率,并减少二氧化碳排放^[1-3]。

PC/ABS材料可以替代金属,用于汽车的外部结构件,比如车身面板等。这些部件需要材料具有较高的抗冲击性和良好的耐候性,而PC/ABS的优良综合性能使其成为理想的选择,尤其是在低温环境下也能保持较好的韧性。此外,它对多种化学物质的耐受性较好,因此,PC/ABS材料在汽车的液体管道、燃油系统等部件中也具有应用潜力。PC/ABS材料的表面光滑且易于涂装,可以实现高质量的外观设计和装饰效果。这使得它在车内外装饰件中非常受欢迎,能够满足汽车制造商对美观、现代感的要求。总体来看,PC/ABS材料在汽车行业的应用前景非常广阔。随着汽车行业对轻量化、智能化、环保性等方面的需求不断增加,尤其是在未来的电动汽车和智能汽车领域,PC/ABS材料将会发挥越来越重要的作用^[4-8]。

而市售通用型的PC/ABS难以满足如汽车保险杠、仪表盘以及座椅框架等高抗冲、耐弯曲以及良好加工性的需求^[9-11],故需要制备具有更高冲击强度且较高断裂伸长率的高性能PC/ABS合金。笔者剖析采用不同性能的PC树脂制备PC/ABS合金后的性能,以确定PC树脂在PC/ABS合金制备过程中的关键因素;并对比两种不同熔体流动速率(MFR)的ABS树脂在制备合金后的性能,优选出在制备高冲击强度PC/ABS合金的最佳的PC树脂和ABS树脂。通过研究不同增容原理的相容剂对PC/ABS合金性能的影响,确定适合的相容剂品类和用量。

1 实验部分

1.1 主要原料

PC:2805科思创,上海一伦塑化有限公司;
PC:1609T-11,山东省鲁西化工有限公司;
PC:WY-111BR利华益,东营市利华益维远化学股份有限公司;
ABS:0215A,HF681,吉林石化公司;
甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物(MBS):

M-724,日本钟渊化学工业公司;

MBS:EXL2620,美国罗门哈斯公司;

乙烯-甲基丙烯酸共聚物(EMAC):1125AC,美国杜邦公司。

1.2 主要设备及仪器

双螺杆挤出机:TSB-36,江苏诚盟装备股份有限公司;

注塑机:Victory110,常州恩格尔注塑机械有限公司;

电子万能试验机:34TM-10,英斯特朗(上海)试验设备贸易有限公司;

摆锤冲击仪:CEAST9050,英斯特朗(上海)试验设备贸易有限公司;

热变形/维卡软化点温度测定仪:CEASTHV3S,英斯特朗(上海)试验设备贸易有限公司;

MFR仪:MI2,德国GOTTERT公司;

扫描电子显微镜(SEM):JSM-7610FPlus,日本电子公司;

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪:Nicolet6700,美国热电仪器公司;

热失重(TG)分析仪:TGA4000,美国PE公司。

1.3 样品制备

PC树脂在鼓风干燥箱中于120℃干燥4h,ABS树脂在鼓风干燥箱中于80℃干燥4h。将PC树脂、ABS树脂和助剂按照一定比例在高速混合机中混合均匀,并通过双螺杆挤出机挤出。挤出各段温度为220,230,240,245,250℃(机头),得到PC/ABS合金材料。所得粒料在鼓风干燥箱中于100℃干燥4h,通过注塑机注塑成型,注塑温度180,245,250,255℃,模具温度50℃,得到性能测试样条。

1.4 性能测试和结构表征

MFR测试:按照GB/T 3682.1-2018进行,温度为260℃,载荷为2.16 kg。

维卡软化温度测试:按照GB/T 1633-2000进行,升温速率为50℃/h,载荷为50 N。

拉伸性能测试:按照GB/T 1040.2-2022进行,拉伸速率为50 mm/min;弯曲强度按照GB/T 9341-2008进行测试,弯曲速率为2 mm/min;缺口冲击强度按照GB/T 1843-2008进行测试,摆锤能量为2.75 J。

TG测试:TG分析均在氮气氛围下,称取质量为

(0.5 ± 0.01) g样品,从室温 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率加热到 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

FTIR 测试:利用 FTIR 仪测试 PC、ABS 及 PC/ABS 合金的 FTIR 谱图,剖析合金树脂的分子结构组成,扫描范围 $500\sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$ 。

SEM 分析:选取合适的断裂样条,沿断面截取 10 mm 厚的样片,断面喷金处理,在 SEM 上观察并拍照。测定 PC/ABS 合金相容性时,需刻蚀掉共混物中的 ABS,断面处理如下:恒温 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,用夹子持样片在铬酸洗液里轻轻转动 8 min ,然后再用超声波清洗 15 min ,取出烘干^[12-15]。

2 结果与讨论

2.1 ABS 树脂优选

选取了吉林石化公司 0215A 和 HF681 两种牌号进行对比,两者的性能指标见表 1。HF681 的 MFR 和冲击强度分别为 $39.4\text{ g}/10\text{ min}$ 和 $25.1\text{ kJ}/\text{m}^2$,明显要高于 0215A 牌号,这源于两个牌号选用的苯

乙烯/丙烯腈共聚物(SAN)树脂不同,HF681 选用的 SAN 树脂的流动性更高,因此赋予了 HF681 更高的 MFR,这一优势有利于在合金制备过程中促进 PC 与 SAN 树脂的融合。在拉伸和弯曲强度指标对比中 0215A 的表现更好,因此调整改变 ABS 和 PC 树脂的比例进行性能测试分析来确定优选的 ABS 树脂种类。

表 1 不同牌号 ABS 性能指标

ABS	Impact strength/ ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	Tensile strength/ MPa	Flexural strength/ MPa	MFR/ [$\text{g}\cdot(10\text{ min})^{-1}$]	Vicat softening temperature/ $^{\circ}\text{C}$
HF681	25.1	39.6	62.6	39.4	92.9
0215A	19.6	47.6	80.2	23	98

以 PC(2805)和 ABS(0215A 和 HF681)为基材,分别将 PC 和 ABS 按 55/45、60/40、65/35、70/30 和 75/25 的质量比制备了 PC/ABS 合金,测得的力学性能如图 1 所示。

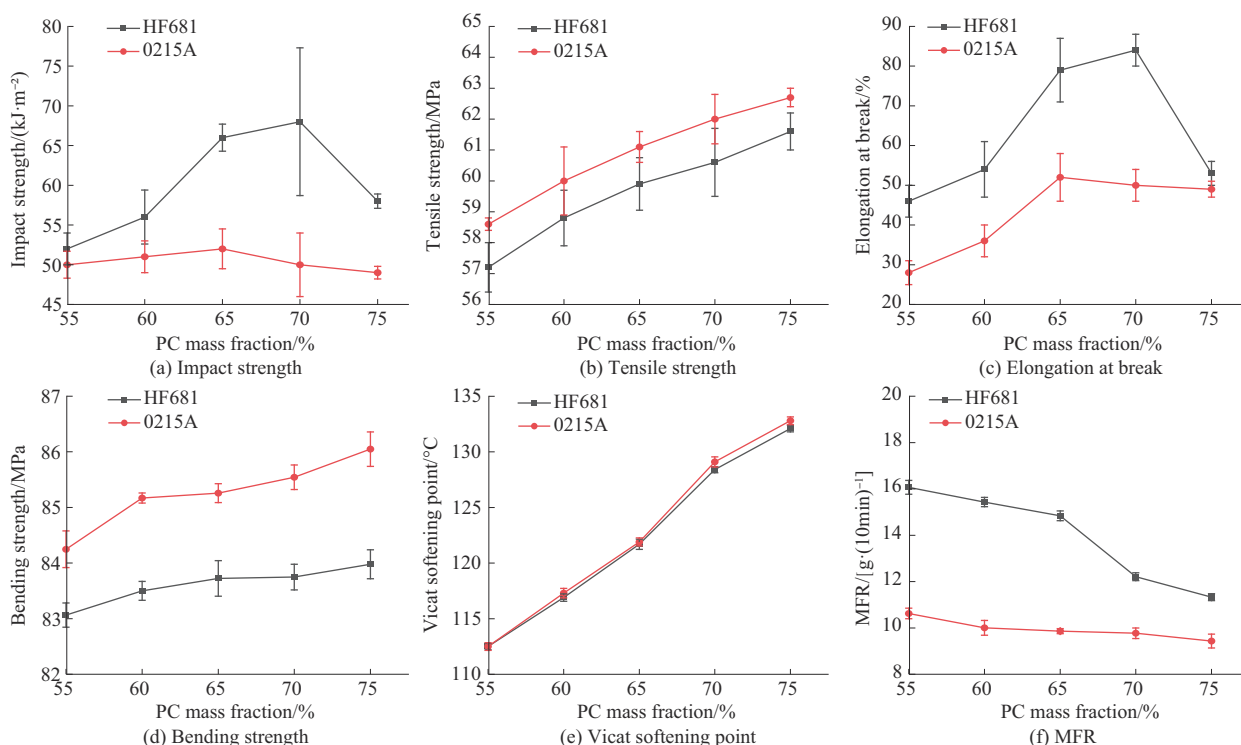


图 1 不同 ABS 种类及其质量分数对 PC/ABS 合金性能的影响

Fig. 1 Effects of different ABS types and its mass fraction on properties of PC/ABS alloys

由图 1a 可知,随着 PC 含量的增加,PC/ABS 合金冲击强度呈先上升后下降的趋势,这是由于当 PC 树脂为主体时,橡胶粒子聚丁二烯(PB)在 PC 连续相中会形成典型的“海-岛”结构,其增韧机制符合韧性基体的银纹-剪切带理论。当 ABS 中的橡胶粒子在 PC/ABS 合金相中可以达到均匀分散,当达到一定

含量时会导致银纹支化和多重银纹的形成。银纹或剪切带的形成会传递和消耗外界施加的能量,从而显著提高材料的冲击性能。然而,当橡胶含量过多时,银纹数量的增加会阻碍剪切带的形成,使得银纹带很快演变为裂纹,因此 PC/ABS 合金的冲击强度呈现先升后降的趋势。HF681 制备的合金在

PC质量分数为70%时达到最高,为68.52 kJ/m²,0215A制备的合金在PC质量分数为65%达到最高,为52.36 kJ/m²,且在不同PC含量的合金制备中,HF681制备的合金冲击强度均高于0215A制备的PC/ABS合金。因此,由HF681制备的合金冲击强度更好,这源于高MFR的HF618树脂在相同加工温度下,流动性更佳,有利于SAN树脂和PC树脂之间的相融合。

由图1b和图1d可知,因为PC和ABS部分的相容性,使它们能够形成均匀体系,随着PC质量分数的增加,两种PC/ABS合金的拉伸强度和弯曲强度稳步上升。与ABS树脂相比,PC树脂的强度和模量都更高,因此加入随着PC组分的提高,PC/ABS合金的拉伸强度和弯曲强度都呈现上升趋势。其中0215A制备的合金性能略高于HF618制备的合金;但HF681制造的合金断裂伸长率却更高,如图1c所示,当PC质量分数为70%时最高值可达到84.5%。

图1e给出了合金维卡热变形温度与ABS含量的关系。由图1e可以看出,PC/ABS合金的热变形温度随PC含量的增加而平稳递增,表明合金材料的耐热性能的提高还是决定于更高热分解温度的PC树脂的含量。对比两种不同ABS树脂制备的合金的维卡软化点,其数值差异不大,在PC质量分数为70%时HF681制备的合金维卡热变形温度达到132.1℃,0215A制备的合金达到132.8℃。说明在耐热性能上PC含量的提高比ABS树脂MFR的不同影响更大^[16]。

由图1f可知,两种PC/ABS合金的MFR随ABS质量分数的增加而上升,由于PC分子长链柔顺性低,熔体黏度大,其流动性能并不理想。当与ABS共混后,ABS中的SAN流动单元能够增加PC刚性长链的流动性,从而使得整体体系的黏度降低。HF681制备的合金MFR明显高于后者,合金流动性更好。因此,HF681制造的合金综合性能更好,且SAN流动性更好的ABS更适合制备合金。

图2是在相同升温速率下PC和ABS以及不同比例的PC/ABS的TG分析图。从图2中曲线a看到PC树脂的初始分解温度在482℃,而ABS树脂初始分解温度从图2b中看出为376℃。从图2中曲线c,d,e可以看到,随着PC含量的提高,PC/ABS合金材料的分解温度上升,其分解温度依次分别为416,

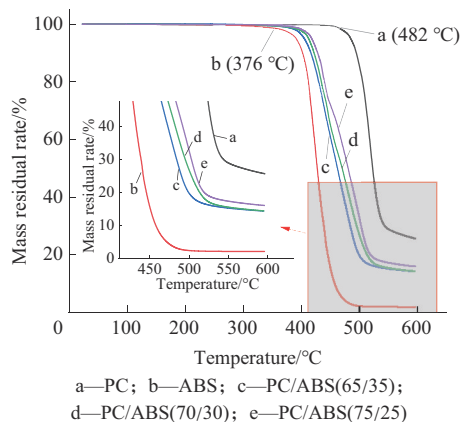


图2 PC和ABS以及不同质量比的PC/ABS合金的TG曲线
Fig. 2 TG curves of PC, ABS and PC/ABS alloys of different mass proportions

421, 427℃,且存在着单一的热降解失重。这一现象说明ABS树脂和PC树脂已充分结合为单一合金物质。将TG曲线的部分放大后,也可以看到在相同温度下,合金的质量也随着PC树脂含量的增加而增加,PC/ABS复合材料的热稳定性呈现递增的趋势。这一实验数据与热性能维卡软化点的变化趋势一致,说明在PC/ABS合金中,PC含量的提高有利于提高合金的热稳定性^[17-18]。

为了更好地分析PC树脂与ABS树脂的相容性,测试不同PC/ABS合金的冲击断面,通过SEM照片更直观地观察合金树脂的相容界面。图3是两种不同ABS制备的PC/ABS合金的冲击断面SEM图(放大1500倍),其中PC:ABS(质量比)=70:30。对比图3a和图3b可以发现,由0215A制备的合金树脂其断面存在明显的片状褶皱,由图3b看到ABS(HF681)制备的合金断面处较为平整,连续性良好。这一测试结果可以进一步解释合金冲击强度变化趋势,由ABS(HF681)制备的PC/ABS合金具有更好的界面结合性,与图3a典型的易于产生脆性断裂褶皱界面相比,可以提供更好高的抗冲击能力^[19]。

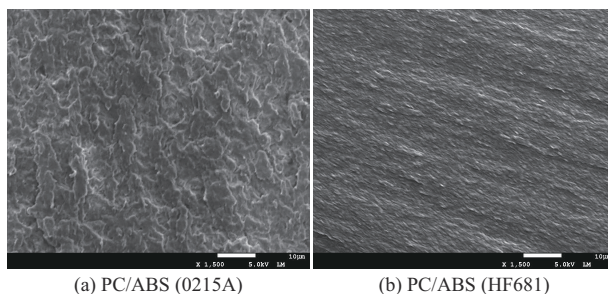


图3 不同牌号ABS的PC/ABS合金冲击断面SEM照片
Fig. 3 SEM photos of impact sections of PC/ABS alloys of different brands of ABS

不同比例的PC/ABS(HF681)所制备的PC/ABS合金的冲击断面SEM照片如图4所示。当PC/ABS质量比为55:45时,断面的粗糙度较高。如图4a所示,随着PC含量的提高,断面的相容性有逐步变致密的趋势,当PC/ABS质量比为70:30时,可以看到图片中呈现完整致密的断面结果,如图4d所示。这是因为在PC/ABS合金相中存在着PC/PB和PC/SAN两个相容相。这两个相容相之间体系完全不同,前者是不相容体系,后者是部分相容体系。但是ABS的结构中含有SAN接枝PB相,会使得ABS中PB橡胶粒子作用于合金相容性。橡胶含量是影响PC/ABS合金相容性的关键因素。当ABS中的橡胶相较少时,核壳结构对SAN相和PB相的作用有助于进一步提高PC与ABS相之间的相容性。PB相与PC体系不相容,过多的PB相会导致相分离,就容易在断面上观察到明显的褶皱和分层现象。这一测试结果也可以佐证当PC/ABS质量比为70:30时合金的力学性能最好^[20]。

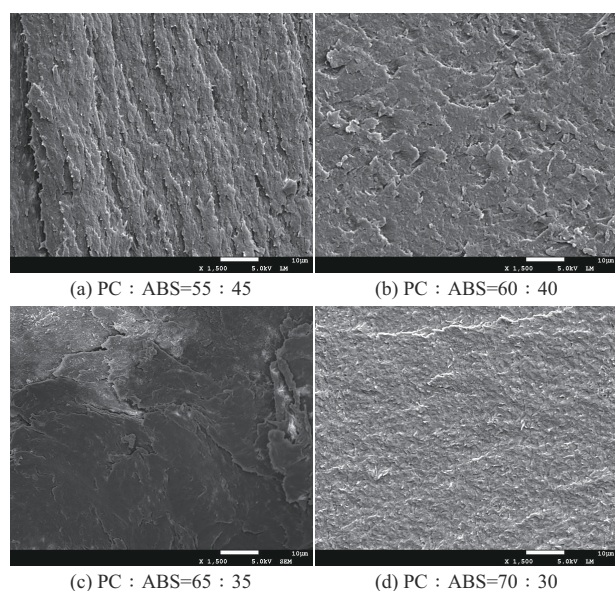


图4 不同质量比的PC/ABS合金冲击断面的SEM照片

Fig. 4 SEM photos of impact sections of PC/ABS alloys with different mass ratio

2.2 PC树脂优选

通过上述实验讨论,确定了在制备PC/ABS合金时,选择MFR高一些的ABS(HF681)树脂更有利于获得界面良好、性能优良的合金,故选择2805, 1609T-11和WY-111BR 3种不同牌号的PC树脂来进行优选。

表2列出了3种不同牌号PC树脂的性能指标,从表2可以看出,冲击强度上PC(2805)和PC(1609T-

11)冲击强度均为75 kJ/m²,优于PC(WY-111BR)的71 kJ/m²。在拉伸强度上,PC(1609T-11)则略优于前者;在弯曲强度上,按照PC(2805, 1609T-11和WY-111BR)的列表顺序依次有2 MPa的增加,PC(WY-111BR)的弯曲强度最高,为92 MPa。MFR的指标体现了PC树脂的加工流动性,其中PC(WY-111BR和2805)的MFR分别为10 g/10 min和11 g/10 min,明显优于PC(1609T-11)的3 g/10 min;PC(2805)的维卡软化温度为146 °C,略高于PC(WY-111BR)的141 °C和PC(1609T-11)的135 °C。

表2 不同牌号PC的性能

Tab. 2 Performance of different PC brands

PC	Impact strength/ (kJ·m ⁻²)	Tensile strength/ MPa	Flexural strength/ MPa	MFR/ [g·(10 min) ⁻¹]	Vicat softening temperature/°C
2805	75	70	88	10	146
1609T-11	75	72	90	3	135
WY-111BR	71	70	92	11	141

为进一步确认更适合制备PC/ABS合金的PC树脂,以PC(1609T-11, WY-111BR, 2805)和ABS(HF681)为基材,分别将PC和ABS按55/45, 60/40, 65/35, 70/30和75/25的质量比制备了PC/ABS合金,合金的力学性能如图5所示。

以上分析可知,PC树脂含量的增加可以提高PC/ABS合金的热稳定性,从图5a的维卡软化点变化上也得到相同的结论,3种PC树脂制备的PC/ABS合金在维卡软化温度上均随着PC含量的增加而上升。且因PC(2805)树脂的维卡软化点要略高于其他两种PC树脂,在合金热稳定性上,PC(2805)性能更加优异,故此,在相同PC含量比例中,PC(2805)树脂制备的合金维卡软化点都是三者中最高。如图5b和图5c所示,在拉伸强度和弯曲强度的变化趋势图中,3种牌号PC所得的合金性能数值相当,与3种PC自身拉伸和弯曲强度表现相一致。冲击性能是在冲击破坏过程中样品吸收的能量与其原始横截面积之比,能更加直观地判断在PC/ABS合金中PC与ABS树脂之间融合性的差异。在图5d中冲击强度曲线显示3种品牌PC树脂制备的PC/ABS合金冲击强度均呈现出先上升后下降的趋势,以PC(1609T-11)制备的合金在PC/ABS质量比为65/35时达到最高值为80.9 kJ/m²,以PC(WY-111BR)制备的合金在PC/ABS质量比为70/30时达到最高值为82.6 kJ/m²,以PC(2805)制备的合金在PC/ABS质量比为70/30时达到最高值为85.4 kJ/

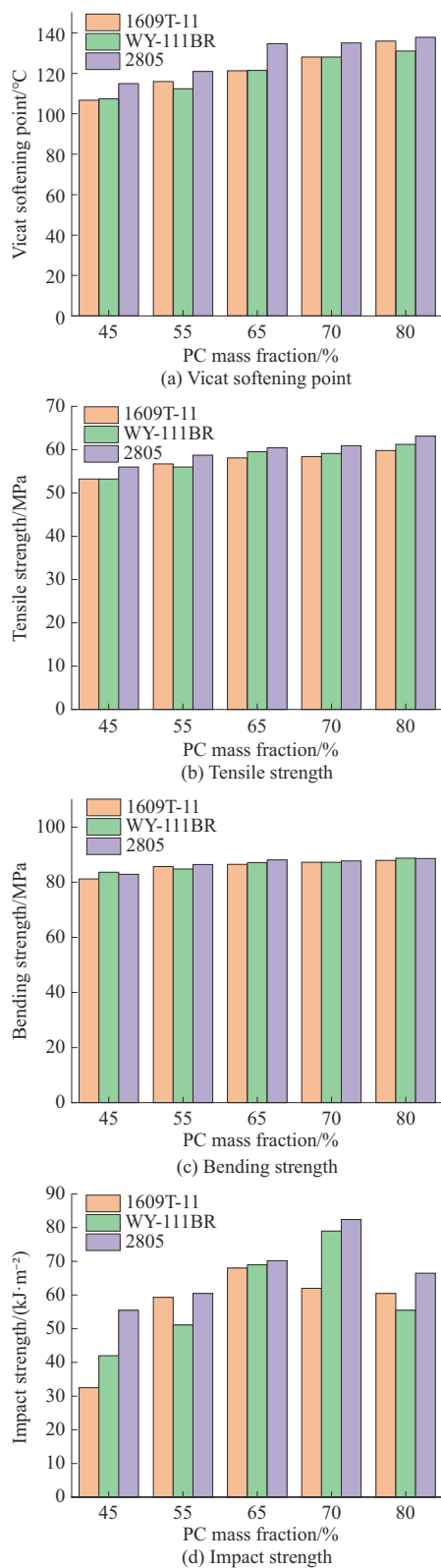


图5 不同牌号PC对合金力学性能的影响

Fig. 5 Effect of different PC brands on mechanical properties of alloys

m²。对比不同PC比例时合金的冲击强度也都是表现出PC(2805)树脂所得的合金的冲击强度是三者

中最高的。此结果说明,由PC(2805)树脂和ABS(HF681)树脂所得的合金能有更好的相容性,这与树脂的MFR更大、加工流动性更好有直接的关系。故选用具有更高MFR和冲击强度的PC(2805)树脂来制备PC/ABS合金。

为进一步确认不同种类PC对合金相容性的影响,3种PC制备的合金冲击断面的SEM照片如图6所示,按照PC:ABS(HF681)=70:30的质量比制备合金。由图6a可以观察到明显的片状褶皱,存在脆性断裂,合金相容性较差,而由图6b和图6c可见,合金断面整体表现较为致密,合金相容性较好,这与PC的MFR存在明显关联。加工流动性较好的PC制备的合金相容性更好,性能更为优越。综上,选取PC(2805)作为合金的制备原料。

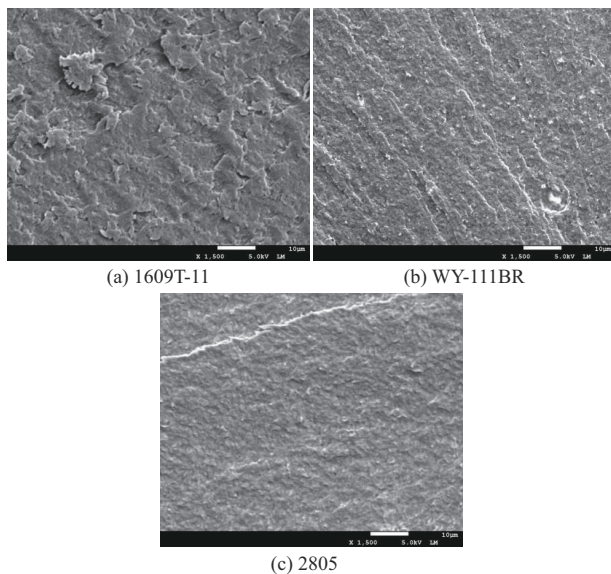


图6 不同牌号PC的PC/ABS合金冲击断面的SEM照片

Fig. 6 SEM photos of impact sections of PC/ABS alloys of different brands of PC

图7是PC,ABS以及PC/ABS的FTIR谱图。如图7a所示,纯PC的特征峰主要位于2 967, 1 769, 1 502, 1 450, 370 cm⁻¹, 1 300~1 200 cm⁻¹, 1 218~1 014 cm⁻¹和850~705 cm⁻¹几处。其中特征峰位于2 967 cm⁻¹对应着—CH₃的反对称伸缩运动;特征峰位于1 769 cm⁻¹的位置,对应C=O的伸缩振动;1 502 cm⁻¹处主要由苯环上的C=C振动引起;在1 450~1 370 cm⁻¹的位置对应着—CH₃的伸缩振动;在1 300~1 200 cm⁻¹的位置对应着PC主链的振动;特征峰位于1 218~1 014 cm⁻¹对应着芳烃的碳氧面内变形;特征峰位于885~705 cm⁻¹对应着烯烃的面外变形。图7b测试的样品为纯ABS,其特征峰主要

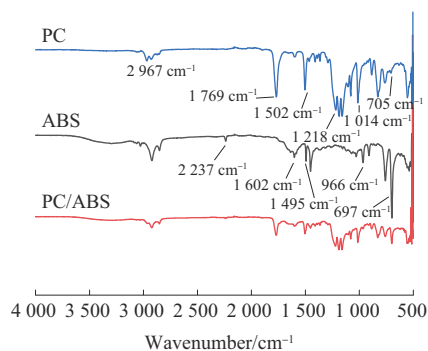


图7 PC,ABS以及PC/ABS合金的FTIR谱图

Fig. 7 FTIR spectra of PC, ABS and PC/ABS alloy

有 $2\,237$, $1\,602$, $1\,495\text{ cm}^{-1}$ 和 966 cm^{-1} 几处。ABS中丙烯腈的特征峰位于 $2\,237\text{ cm}^{-1}$ 处,主要由 $\text{C}\equiv\text{N}$ 的伸缩振动引起;苯乙烯特征吸收峰有 $1\,602$, $1\,495\text{ cm}^{-1}$;丁二烯在 966 cm^{-1} 处有吸收峰; 697 cm^{-1} 对应着芳烃的间位二取代。图7c为PC/ABS合金(PC:ABS=70:30)的FTIR谱图,典型的PC树脂和ABS树脂的FTIR谱图均有所体现,并未见明显的红外峰位置的宽化和位移现象,因此可以判断PC/ABS合金为物理共混,未形成更加牢固的化学键合^[21]。

2.3 相容剂优选

通过上述实验,确定以ABS(HF681)树脂和PC(2805)为基材制备的合金性能更好,但受不同组分相容性的限制,合金性能仍有提升空间。因此,对比了MBS(M-724, EXL2620)和EMAC(1125AC)3种相容剂在不同用量下对PC/ABS合金性能的影响,其中合金制备选用优选的PC(2805)和ABS(HF681)树脂,PC:ABS质量比为70:30,合金的力学性能测试结果如图8所示。

图8a是3种不同相容剂加入后PC/ABS合金的冲击强度变化曲线,由图8a可以看到相容剂加入后,PC/ABS合金的冲击强度呈现出先增加后降低的趋势,但是因相容剂种类不同,相容剂加入量对冲击强度的影响各有差异。MBS(M-724)加入质量分数为0.5%时,PC/ABS合金的冲击强度达到最大,为 70.1 kJ/m^2 ,而MBS(EXL2620)和EMAC(1125AC)相容剂都是在添加质量分数为1.5%时,达到了冲击强度峰值,分别为 69.1 kJ/m^2 和 74.2 kJ/m^2 。冲击强度达到峰值后就随着相容剂含量的增加而逐步降低,这主要是因为韧性组分PB粒子产生的塑性变形,吸收了大量能量。相容剂中含有能分别与PC和ABS相容的链段,它们在PC和ABS两相界面处起

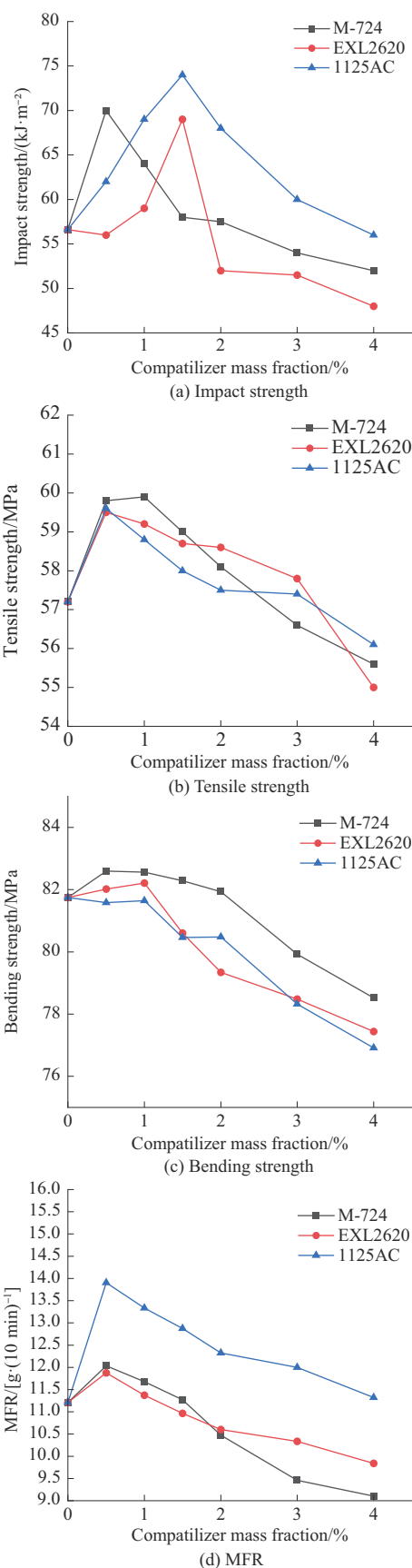


图8 添加不同相容剂的PC/ABS合金性能

Fig. 8 Properties of PC/ABS alloys with different compatibilizers

到了偶联作用。这种作用抑制了ABS分散相的团聚,显著减小了粒径尺寸并改善了分散性。在受到冲击时,这种改善使得材料不易产生应力集中,从而有效提升了材料的韧性。但是随着相容剂含量的增加,这种增容效果会因相容剂与PC和ABS之间的界面性凸显出来,而使得冲击强度反而呈下降趋势。

相似的曲线趋势在PC/ABS合金的拉伸强度、弯曲强度和MFR上也均有所体现。PC/ABS合金拉伸强度曲线如图8b所示,MBS(M-724)加入质量分数为1.0%时,合金的拉伸强度达到最大59.9 MPa,而MBS(EXL2620)和EMAC(1125AC)相容剂都是在添加质量分数为0.5%时,达到了拉伸强度峰值,分别为59.5 MPa和59.6 MPa。PC/ABS合金弯曲强度曲线如图8c所示,最佳的相容剂添加质量分数都不超过1.0%。值得一提的是,图8d展示的PC/ABS合金的MFR曲线,其中当EMAC(1125AC)加入质量分数为0.5%时,合金的MFR从11.212 g/10 min提高到13.903 g/10 min,且加入EMAC(1125AC)相容剂后合金的MFR明显高于添加其他两种相容剂合金的MFR曲线,说明EMAC(1125AC)相容剂在改善PC/ABS合金复合过程中的流动性方面有最佳的增容效果。从相容剂种类分析,MBS中橡胶等韧性组分的刚性和耐热性较低,含有分别与PC和ABS相容的链段,可在PC和ABS两相界面处起到偶联作用,抑制了ABS分散相团聚,使其粒径尺寸明显降低、分散性变好,受到冲击时不易产生应力集中从而使材料韧性得到改善。相对于MBS类相容剂,EMAC可以降低塑料的最终化合物黏度,提高合金的流动性。且从冲击强度数据可以看出,EMAC对合金的增韧效果更佳。因此,更加印证了流动性对于合金性能的重要性。选取ABS(HF681)/PC(2805)质量比为70/30,EMAC(1125AC)相容剂质量分数为1.5%时,PC/ABS合金综合性能最优,冲击强度高达74.2 kJ/m²,拉伸强度为58.42 MPa,断裂伸长率为87.5%,弯曲强度为80.46 MPa,MFR达到12.875 g/10min。

通过上述3种相容剂对PC/ABS合金性能的力学影响,可以看出加入相容剂后,因PC和ABS树脂界面的增容效果和树脂流动性的提高,力学性能的提升较为显著,且相容剂的量不宜加入过多,综合各项力学性能和流动性的数据来看,相容剂的质量分数在1.5%以下效果较好,且以EMAC相容剂的

增容效果为最佳^[22-25]。

图9是添加不同种类相容剂的PC/ABS合金冲击断面经过铬酸刻蚀放大3 000倍的微观形貌图,图中的黑色孔洞是被铬酸侵蚀掉的ABS树脂。从孔洞的分布情况上,可以更好地分析ABS树脂在PC树脂中分散的状态。图9a中加入了M-724相容剂,孔洞分散得不是很均匀而且还有明显的大小区别,这是由于ABS树脂未能充分分散、有较大的团聚才使得孔洞的大小不同。相比图9b和图9c能看到更好的分散状态,孔洞分散得较为均匀一致,没有更多的大尺寸孔洞存在。综合添加3种不同相容剂的力学性能结果,认为添加EMAC相容剂要优于添加MBS相容剂^[26-28]。

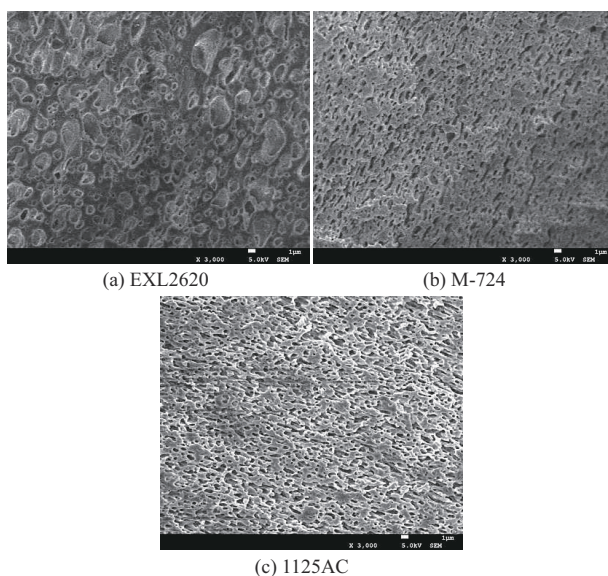


图9 加入不同相容剂的PC/ABS合金冲击断面铬酸处理后SEM照片
Fig. 9 SEM photos of impact section treated with chromic acid of PC/ABS alloys with different compatibilizers

3 结论

(1)通过对PC/ABS合金树脂力学性能、MFR和维卡软化点的对比分析,MFR更高的PC和ABS制备的PC/ABS合金性能表现更好。EMAC相容剂对于合金的加工流动性有显著提升,且EMAC类相容剂在PC/ABS合金相容性的改善上要优于MBS相容剂。

(2)选用优选的PC(2805)和ABS(HF681)树脂,且PC/ABS质量比为70/30,相容剂EMAC(1125AC)添加质量分数为1.5%时,PC/ABS合金综合性能最优,冲击强度高达74.2 kJ/m²,拉伸强度达到58.42 MPa,断裂伸长率达到87.5%,弯曲强度达到80.46 MPa,MFR达到12.875 g/10 min,满足PC/ABS用于

汽车保险杠、仪表盘以及座椅框架等的高抗冲PC/ABS合金的应用需求。

参考文献

- [1] 佚名.科思创推出含化学回收原材料份额的聚碳酸酯&携手合作伙伴打造车用塑料回收闭环[J].现代化工,2024,44(5):258-259.
None. Covestro launches polycarbonate with share of chemically recycled raw materials & joins hands with partners to create a closed loop of automotive plastic recycling[J]. Modern Chemical Industry, 2024, 44(5):258-259.
- [2] 孔茗.新环保要求下报废车用塑料回收利用现状分析与展望[J].塑料科技,2018,46(6):127-130.
KONG Ming. Analysis and prospect of recycling of discarded vehicle plastics under new environmental protection requirements [J].Plastics Science and Technology, 2018, 46(6):127-130.
- [3] 傅利才,徐启奎,潘永柯,等.高性能PC/ABS合金的制备[J].塑料工业,2021,49(4):65-68,53.
FU Licai, XU Qikui, PAN Yongke, et al. Preparation of high performance PC/ABS alloy[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(4): 65-68, 53.
- [4] 朱爱华.聚碳酸酯的改性与应用研究[J].产业创新研究,2020,43(14):114-115.
ZHU Aihua. Research on the modification and application of polycarbonate[J]. Industrial Innovation, 2020, 43(14):114-115.
- [5] JANI P, CARLOS B, HANY A, et al. Compatibilized PC/ABS blends from solvent recycled PC and ABS polymers from electronic equipment waste[J]. Polymer Testing, 2023, 120. DOI: 10.1016/J.POLYMERTESTING.2023.107969.
- [6] 王百年,王朋辉,张如,等.ADP基无卤阻燃PC/ABS合金体系开发[J].塑料科技,2024,52(2):31-35.
WANG Bainian, WANG Penghui, ZHANG Ru, et al. Development of ADP based halogen-free flame retardant PC/ABS alloy system [J].Plastics Science and Technology, 2024, 52(2):31-35.
- [7] 李湘,殷洁,方松刚,等.PC/ABS/VMT/倍半硅氧烷阻燃性能研究[J].工程塑料应用,2021,49(9):135-138.
LI Xiang, YIN Jie, FANG Songgang, et al. Study on flame retardant properties of PC/ABS/VMT/sesquisiloxane[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(9):135-138.
- [8] ASSIS D F L C, RAMPAZO A C. Assessment of the mechanical properties of PC/ABS blends for functional prototyping by FFF 3D printing[J]. Rapid Prototyping Journal, 2024, 30(2):214-227.
- [9] 武卫星,牛丽媛,杨豪,等.PC含量对PC/ABS合金冲击强度和断面形貌的影响[J].塑料,2020,49(6):50-52.
WU Weixing, NIU Liyuan, YANG Hao, et al. Effect of PC content on impact strength and fracture morphology of PC/ABC alloy[J]. Plastics, 2020, 49(6):50-52.
- [10] DEBBAH I, KRACHE R, ARANBURU N, et al. Influence of ABS type and compatibilizer on the thermal and mechanical properties of PC/ABS blends[J]. International Polymer Processing Journal of the Polymer Processing Society, 2020, 35(1):83-94.
- [11] ROUSSI A T, VOUVOUDI E C, ACHILIAS D S. Pyrolytic degradation kinetics of HIPS, ABS, PC and their blends with PP and PVC[J]. Thermochimica Acta, 2020, 690. DOI: 10.1016/j.tca.2020.178705.
- [12] FATMA H, NAJOUA B, KAOUTHER K. Characterization of the surface properties and adhesion behavior of electroplated PC/ABS using nano-indentation and scratch tests[J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2023, 37(10):1 724-1 735.
- [13] 史晨玉.PC/ABS合金用MBS增容、增韧剂的研究[D].大连:大连理工大学,2020.
SHI Chenyu. Study on MBS resin for compatibilizing and toughening to PC/ABS alloy[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2020.
- [14] 王雅群,李欣,宋任展,等.PC/改性ABS复合材料的制备与性能[J].现代塑料加工应用,2023,35(3):18-21.
WANG Yaquin, LI Xin, SONG Renzhan, et al. Preparation and properties of PC/modified ABS composite[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2023, 35(3):18-21.
- [15] NANDISHWAR V, AISWARYA S, SHANKAR S B. Development of material extrusion 3D printable ABS/PC polymer blends: influence of styrene-isoprene-styrene copolymer on printability and mechanical properties[J]. Polymer-Plastics Technology and Materials, 2023, 62(4):419-432.
- [16] 毕伟枫,刘教实,陈少军,等.成分因素对PC/ABS合金暴露在烷基苯中力学性能的影响研究[J].中国塑料,2021,35(11):44-48.
BI Weifeng, LIU Jiaoshi, CHEN Shaojun, et al. Effect of composition factors on mechanical properties of PC/ABS alloy exposed to alkylbenzene[J]. China Plastics, 2021, 35(11):44-48.
- [17] SRISEUBSAI W, TIPPAYAKRAISORN A, LIM W J. Robust design of PC/ABS filled with nano carbon black for electromagnetic shielding effectiveness and surface resistivity[J]. Processes, 2020, 8(5):616-616.
- [18] ANDRZEJEWSKI J, MOHANTY K A, MISRA M. Development of hybrid composites reinforced with biocarbon/carbon fiber system. The comparative study for PC, ABS and PC/ABS based materials[J]. Composites Part B, 2020, 200. DOI: 10.1016/j.compositesb.2020.108319.
- [19] 李欣达,李文龙,丁正亚,等.微交联SAM共聚物对PC/ABS合金性能的影响[J].工程塑料应用,2019,47(6): 8-13.
LI Daxin, LI Wenlong, DING Zhengya, et al. Effects of micro-crosslinking SAM copolymer on properties of PC/ABS alloy[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(6):8-13.
- [20] PANDIM T, DOCA T, FIGUEIREDO A, et al. Torsional fretting wear experimental analysis of a R3 offshore steel against a PC/ABS blend[J]. Tribology International, 2020, 143. DOI: 10.1016/j.triboint.2019.106090.
- [21] VOON P Y, YENG M C, CHUN S K. Preliminary study on mechanical properties of 3D printed multimaterials ABS/PC Parts: Effect of printing parameters[J]. Journal of Physical Science, 2021,

- 32(2):87–104.
- [22] 文渊,章飞,何浏伟,等.反应型挤出增容制备PC/ABS合金及性能[J].塑料工业,2021,49(12):160–163.
- WEN Yuan, ZHANG Fei, HE Liuwei, et al. Preparation and properties of PC/ABS alloy by reactive extrusion compatibilization[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(12):160–163.
- [23] 高顺,郭正虹.纳米SiO₂与间苯二酚-双(二苯基磷酸酯)对聚碳酸酯-ABS合金的协同阻燃机制[J].复合材料学报,2020,37(11):2 897–2 907.
- GAO Shun, GUO Zhenghong. Synergistic flame retardant mechanism of nano SiO₂ and resorcinol bis(diphenylphosphate) on polycarbonate-ABS blends[J]. Journal of Composite Materials, 2020, 37(11):2 897–2 907.
- [24] PANDIM T, SALES DE O K, ARAÚJO J A, et al. Indentation, creep and axial-torsional fretting wear analysis of PC/ABS blends [J]. Tribology International, 2023.188. DOI:10.1016/J.TRIBOINT.2023.108763.
- [25] 张宁,郭强.MAH-SBS和纳米CaCO₃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 nano-CaCO₃ compound modification[J]. Journal of Composite Materials, 2014, 31(3):591–596.
- [26] ANJOS E G R, NATÁLIA F B, Ribeiro B, et al. Influence of blending protocol on the mechanical, rheological, and electromagnetic properties of PC/ABS/ABS-g-MAH blend-based MWCNT nanocomposites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2022, 139 (15). DOI:10.1002/APP.51946.
- [27] FATMA H, NAJOUA B, KAOUTHER K. Characterization of the surface properties and adhesion behavior of electroplated PC/ABS using nano-indentation and scratch tests[J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2023, 37(10):1 724–1 735.
- [28] 付海,吴会敏,刘心韵,等.硬酯酸钙改性磷石膏对PC/ABS合金力学性能的影响[J].中国塑料,2019,33(7):12–18.
- FU Hai, WU Huimin, LIU Xinyun, et al. Effect of calcium stearate-modified phosphogypsum on mechanical properties of PC/ABS matrix composites[J]. China Plastics, 2019, 33(7):12–18.