

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.04.004

环氧官能化 ABS 核壳比对增韧 PBT 性能的影响

金坤^{1,2}, 杨锦^{1,2}, 柳丽楠^{1,2}, 郭伟^{1,2}, 谭志勇^{1,2}, 张会轩^{1,2}

(1. 长春工业大学合成树脂与特种纤维教育部工程研究中心, 长春 130012; 2. 长春工业大学化学工程学院, 长春 130012)

摘要: 采用种子乳液聚合的方法, 合成了不同核壳比的甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料耐冲击改性剂 (ABS-g-GMA)。将合成的耐冲击改性剂用于增韧聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT), 考察耐冲击改性剂核壳比对增韧 PBT 拉伸性能、缺口冲击强度以及相容性的影响。结果表明, 耐冲击改性剂的核壳比对增韧 PBT 有重要的影响。耐冲击改性剂的增韧效果随着其核壳比的增加总体呈现先变好后变差的趋势, 当耐冲击改性剂的核壳比为 60/40 时, 增韧 PBT 的缺口冲击强度最高可达到 531.15 J/m。随着耐冲击改性剂核壳比的增加, 增韧 PBT 的断裂伸长率、拉伸屈服强度都有一定程度的降低, 但拉伸弹性模量并没有明显变化。增韧 PBT 中两相的玻璃化转变温度变化不大, 耐冲击改性剂的核壳比对增韧 PBT 两相相容性的影响不大。

关键词: 核壳改性剂; 环氧官能化丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料; 聚对苯二甲酸丁二酯; 增韧

中图分类号: TQ323.4+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)04-0021-05

Effects of Core-Shell Ratio of Epoxy Functionalized ABS on Properties of Toughened PBT

Jin Kun^{1,2}, Yang Jin^{1,2}, Liu Linan^{1,2}, Guo Wei^{1,2}, Tan Zhiyong^{1,2}, Zhang Huixuan^{1,2}

(1. Engineering Research Center of Synthetic Resins and Special Fiber, Ministry of Education, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China; 2. School of Chemical Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: The glycidyl methacrylate grafted acrylonitrile-butadiene-styrene plastic (ABS-g-GMA) impact modifiers with different core-shell ratios were synthesized by seed emulsion polymerization and used to toughen poly(butylene terephthalate) (PBT). The effects of the core-shell ratio of the modifier on the tensile properties, notch impact strength and compatibility of toughened PBT were investigated. The results show that the core-shell ratio of the impact modifier has an important effect on toughened PBT. The toughening effect of the impact modifier shows a trend of first getting better and then getting worse with the increase of core-shell ratio of the impact modifier. When the core-shell ratio of the impact modifier is 60/40, the notch impact strength of toughened PBT can reach 531.15 J/m. The elongation at break and tensile yield strength of the toughened PBT decrease with the increase of core-shell ratio of the impact modifier. Moreover, the tensile elastic modulus shows no obvious variation with core-shell ratio of the impact modifier. The glass transition temperatures of the two phases in the toughened PBT have little change. the core-shell ratio of the impact modifier shows little effect on the compatibility of toughened PBT.

Keywords: core-shell modifier; epoxy-functionalized acrylonitrile-butadiene-styrene plastic; poly(butylene terephthalate); toughening

聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT) 是一种重要的半结晶热塑性工程塑料, 它具有刚性大、硬度高、耐磨、耐溶剂等特点, 广泛应用于汽车内饰、电子仪器仪表、家用电器、通讯等领域。然而, PBT 对缺口敏感, 通常以脆性方式断裂, 这制约了 PBT 的发展与应用, 所以对 PBT 增韧改性是提高其性能研究的重要内

容^[1-4]。使用核壳改性剂增韧 PBT 是一种较为常用的方法, 核壳改性剂通常由相互交联的橡胶核和接枝到橡胶上的刚性壳组成。丙烯腈 (AN)-丁二烯 (PB)-苯乙烯 (St) 塑料 (ABS) 是一种常用的核壳改性剂, 由丁二烯橡胶粒子构成弹性体核, 苯乙烯和丙烯腈单体通过共聚接枝到核上形成壳层, 这使其具

通信作者: 谭志勇, 教授, 主要研究方向为树脂改性剂的合成和官能化

收稿日期: 2022-01-12

引用格式: 金坤, 杨锦, 柳丽楠, 等. 环氧官能化 ABS 核壳比对增韧 PBT 性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2022, 50(4):21-25.

Jin Kun, Yang Jin, Liu Linan, et al. Effects of core-shell ratio of epoxy functionalized ABS on properties of toughened PBT[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(4):21-25.

有良好的增韧能力,能够提升PBT的性能^[5-9]。但是简单熔融法制备的PBT/ABS共混物相形态不稳定。因此,若要获得稳定性更好的共混物,一种常见的方法是在共混过程中,在分散相和基体相间的界面上形成嵌段共聚物或接枝共聚物,以此来提高界面强度。能够用于PBT的反应增容的官能团有马来酸酐、环氧基、异氰酸酯等,不同的官能团其增容的效果不同,研究表明,环氧基在PBT共混改性中的效果优于其他官能团^[10-13]。因此通过对ABS改性剂进行环氧官能化改性,将能与PBT的端羧基和端羟基发生熔融反应的甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)接枝到ABS改性剂的壳层上,能够有效提高改性剂与基体间的相容性。

核壳比对具有核壳结构的聚合物的性能有着重要影响,在聚合物共混领域已有许多研究者研究了核壳比对聚合物共混的影响。Moghbeli等^[14]研究了丙烯酸核壳橡胶粒子的尺寸和核壳比对聚氯乙烯(PVC)熔体流动速率和缺口冲击强度的影响。刘哲等^[15]研究了聚丁二烯接枝丙烯腈-苯乙烯共聚物(PB-g-SAN)的接枝层厚度对增韧丙烯腈-苯乙烯共聚物(SAN)树脂的影响。Zhao等^[16]研究了聚丙烯酸丁酯接枝聚苯乙烯-丙烯腈(PBA-g-SAN)核壳比对聚丙烯酸丁酯接枝聚苯乙烯-丙烯腈/ α -甲基苯乙烯-丙烯腈(PBA-g-SAN/ α -MSAN)共混体系的影响。笔者所在课题组^[17]研究了ABS核壳比对PBT/ABS共混物体系的影响。然而,在已有的关于官能化ABS增韧PBT研究中,对于核壳比的研究较少。笔者采用种子乳液聚合的方法,合成了不同核壳比的甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)接枝的ABS(ABS-g-GMA)耐冲击改性剂,用于增韧PBT,研究了耐冲击改性剂核壳比对共混物缺口冲击强度、拉伸强度等性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PBT树脂:GX112,中国石化江苏仪征分公司;
聚丁二烯胶乳(PBL)(固含量57.89%), St, AN:工业级,中国石油吉化集团公司;

焦磷酸钠(SPP):分析纯,天津市鼎盛鑫化工有限公司;

葡萄糖(DX)、硫酸亚铁(FeSO_4):分析纯,天津市福晨化学试剂厂;

甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)、叔十二烷基硫醇(TDDM)、过氧化氢异丙苯(CHP):分析纯,上海

阿拉丁生化科技有限公司;

去离子水、歧化松香酸皂液(EMS)、乳液型抗氧化剂(主抗氧化剂为酚类抗氧化剂):自制。

1.2 主要仪器与设备

恒温水浴锅:XMTE-7000型,上海申顺生物科技有限公司;

高速离心机:H1650型,湖南湘仪离心机仪器有限公司;

转矩流变仪:RS75H型,德国Haake公司;

平板硫化机:HB-400 $\times$ 400 $\times$ 1D型,青岛华博机械科技有限公司;

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪:Nicolet iS50型,美国Thermo Fisher公司;

拉力试验机:AGS-H型,日本岛津公司;

悬臂梁冲击试验机:XJUD-5.5型,承德金建检测仪器有限公司;

动态力学分析(DMA)仪:DMA Q800型,美国TA仪器公司。

1.3 耐冲击改性剂的合成

采用乳液聚合的方法,改变体系中PBL、St、AN的投料量的比例,制备不同核壳比的ABS-g-GMA耐冲击改性剂。PBL及单体溶液中的St、AN、GMA、CHP、TDDM的投料量见表1,其中GMA的投料量为St和AN质量的2.5%。在1 L三口圆底烧瓶中加入0.5 g DX、0.5 g SPP和少量去离子水,待固体完全溶解后,加入10 mL质量浓度为1 mg/L的 FeSO_4 溶液,按照表1加入PBL胶乳及适量去离子水和0.05 mL CHP,反应在65 $^{\circ}\text{C}$ 、氮气保护条件下开始进行,将事先配好的单体溶液通过蠕动泵滴入三口瓶中,滴加完成后补加0.05 mL CHP,待单体反应完后,加入约10 mL抗氧化剂并继续反应0.5 h。停止反应后进行破乳、洗涤、脱水,得到的产物在真空烘箱中于60 $^{\circ}\text{C}$ 干燥24 h后使用。

表1 耐冲击改性剂合成中PBL及单体溶液中原料的投料量

耐冲击改性剂	核壳比	PBL/ g	St/ g	AN/ g	GMA/ g	CHP/ mL	TDDM/ mL
ABS _{40/60} -g-GMA	40/60	138.2	90	30	3.0	0.2	0.3
ABS _{50/50} -g-GMA	50/50	172.7	75	25	2.5	0.2	0.3
ABS _{60/40} -g-GMA	60/40	207.3	60	20	2.0	0.2	0.3
ABS _{70/30} -g-GMA	70/30	241.8	45	15	1.5	0.2	0.3
ABS _{80/20} -g-GMA	80/20	276.4	30	10	1.0	0.2	0.3

1.4 增韧PBT的制备

共混前,将PBT和耐冲击改性剂在真空烘箱中分别以80 $^{\circ}\text{C}$ 和60 $^{\circ}\text{C}$ 烘干24 h,然后将PBT和各耐冲击改性剂按照PB橡胶含量为12%、15%、18%,

21%,24% 预先混合均匀。设置转矩流变仪的温度为 240℃,转子转速为 60 r/min,时间为 7 min,待温度达到预设后,将预先混合好的混合物依次加入转矩流变仪进行熔融共混。

将共混后的物料在尺寸为 60 mm×120 mm×3 mm 和 60 mm×120 mm×1 mm 的两种模具中铺平并放置在平板硫化机上进行热压,设置热压温度为 240℃、热压时间为 4 min、压力为 6 MPa,压制完成后冷却脱模,得到增韧 PBT 板材,将增韧 PBT 板材裁成测试样条,用于测试性能。

1.5 性能测试与表征

FTIR 测试:将适量耐冲击改性剂和丙酮装入硬质离心管中,置于 25℃ 恒温振荡器上震荡 24 h,然后在超速离心机中以 10 000 r/min 的转速离心 30 min。移去上清液后,重复上述操作两次,将剩余部分在真空烘箱中于 60℃ 烘干至恒重。将离心分离、纯化后的耐冲击改性剂溶于适量三氯甲烷中,充分溶解后制成薄膜,采用 FTIR 确认核壳粒子上是否含有 GMA。

力学性能测试:待测样品测试前在 23℃ 下放置 24 h。缺口冲击强度按 ASTM D256-2010 测试,试样尺寸为 60 mm×12.7 mm×3 mm,缺口半径为 0.25 mm;拉伸性能按 ASTM D638-2010 测试,拉伸速率为 50 mm/min。

DMA 测试:待测样条尺寸为 45 mm×5 mm×1 mm,测试模式为拉伸模式,温度区间设置为 0~200℃,升温速率为 3℃/min,频率为 1 Hz。

2 结果与讨论

2.1 官能化效果分析

不同核壳比耐冲击改性剂和 ABS 的 FTIR 谱图如图 1 所示。

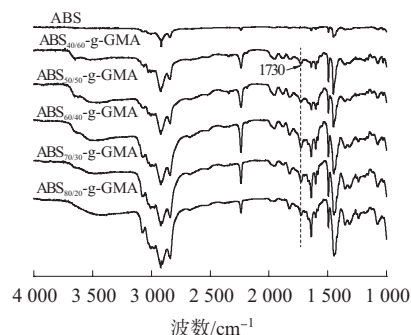


图 1 不同核壳比耐冲击改性剂的 FTIR 谱图

从图 1 可以看出,与不含有 GMA 的 ABS 相比,含有 GMA 的耐冲击改性剂在 1730 cm⁻¹ 处有明显的吸收峰,此处的吸收峰为 GMA 中具有酯羰基

的伸缩振动峰。由于测试前所有测试样品均已用丙酮处理掉了所有的未接枝游离链段,因此 FTIR 测试结果证明 GMA 已经成功接枝到 ABS 上。

2.2 力学性能分析

制备不同核壳比的 ABS-g-GMA 耐冲击改性剂是通过在合成时改变 PB 与 St 和 AN 的投料比例来实现的。在制备不同核壳比 ABS-g-GMA 耐冲击改性剂增韧 PBT 时,只有耐冲击改性剂中含有 PB 橡胶对增韧起重要作用,所以改变不同核壳比 ABS-g-GMA 耐冲击改性剂的用量可以控制 PB 的含量。

不同核壳比耐冲击改性剂增韧 PBT 的缺口冲击强度如图 2 所示。

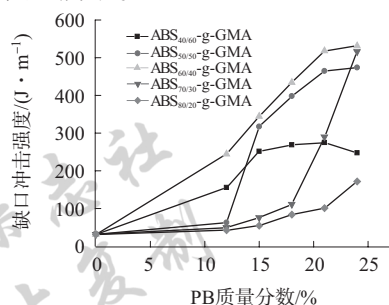


图 2 不同核壳比耐冲击改性剂增韧 PBT 的缺口冲击强度

由图 2 可以看出,增韧 PBT 的缺口冲击强度随着 PB 含量的增加整体上增大,但各增韧 PBT 曲线有明显不同。用核壳比为 40/60 的耐冲击改性剂增韧 PBT,当 PB 质量分数为 12% 时,增韧 PBT 就具有较高的缺口冲击强度,当 PB 含量继续增加时,增韧 PBT 的缺口冲击强度也会增加,但增加的幅度不大。用核壳比为 50/50 的耐冲击改性剂增韧 PBT,增韧 PBT 的缺口冲击强度在 PB 质量分数为 15% 时大幅度提高,继续增加 PB 含量,增韧 PBT 的缺口冲击强度仍继续提高,但是幅度逐渐变小。用核壳比为 60/40 的耐冲击改性剂增韧 PBT,当 PB 质量分数为 12% 时,增韧 PBT 就已经具有较高的缺口冲击强度,当 PB 含量继续增加时,增韧 PBT 的缺口冲击强度也随之继续增大,当 PB 质量分数为 24% 时,缺口冲击强度达到最大值,为 531.15 J/m。用核壳比为 70/30 的耐冲击改性剂增韧 PBT,当 PB 质量分数小于 18% 时,随着 PB 含量的增加,增韧 PBT 的缺口冲击强度增幅不大,但当 PB 质量分数大于 18% 时,增韧 PBT 的缺口冲击强度迅速增大。用核壳比为 80/20 的耐冲击改性剂增韧 PBT,与其他耐冲击改性剂增韧 PBT 相比,缺口冲击强度较低,耐冲击改性剂粒子对 PBT 的增韧效果较差。综上所述,耐冲击改性剂的核壳比与耐冲击改性剂的

增韧效果有着较为明显的相关性,耐冲击改性剂的增韧效果随核壳比的增加总体呈现先变好变差差的趋势,其中,核壳比为 50/50,60/40,70/30 的耐冲击改性剂可以有效地增韧 PBT,且核壳比为 60/40 的耐冲击改性剂的增韧效果最好,在 PB 含量相同时能获得最高的缺口冲击强度,核壳比较小 (40/60) 的耐冲击改性剂能在一定程度上增韧 PBT,但增韧效果有限,核壳比较大 (80/20) 的耐冲击改性剂对于 PBT 的增韧效果远低于其他核壳比的耐冲击改性剂。这是因为橡胶粒子表面的接枝层有助于耐冲击改性剂粒子在基体中的均匀分散,核壳比过大时,橡胶粒子不能被接枝层完全包裹,会影响耐冲击改性剂粒子在基体中的分散,核壳比较小时,橡胶粒子外的接枝层过厚,过多的 SAN 引入体系后,也会影响基本的性能。适当的核壳比才会使橡胶粒子均匀分布在基体中的同时又能很好地发挥增韧作用,达到最好的增韧效果。

不同核壳比耐冲击改性剂增韧 PBT 的拉伸弹性模量如图 3 所示。

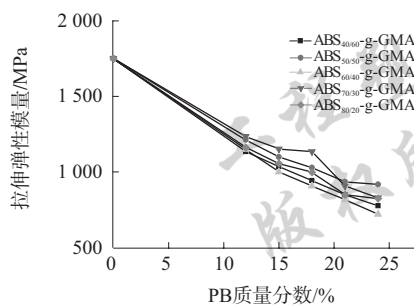


图3 不同核壳比耐冲击改性剂增韧 PBT 的拉伸弹性模量

由图 3 可以看出,加入耐冲击改性剂后共混物的弹性模量显著降低。随着 PB 含量的增加,增韧 PBT 的拉伸弹性模量显著降低。耐冲击改性剂的核壳比不同,增韧 PBT 的拉伸弹性模量也有些许不同,但变化规律不明显,可以认为耐冲击改性剂的核壳比对增韧 PBT 拉伸弹性模量的影响不大。

不同核壳比耐冲击改性剂增韧 PBT 的拉伸屈服强度如图 4 所示。

由图 4 可以看出,增韧 PBT 的拉伸屈服强度随 PB 含量的增加而降低,拉伸屈服强度随 PB 含量的变化规律与图 3 中拉伸弹性模量随 PB 含量的变化规律类似。对比增韧 PBT 的拉伸屈服强度可以发现,在 PB 含量相同的情况下,耐冲击改性剂核壳比较小 (40/60,50/50) 时,增韧 PBT 的拉伸屈服强度较大,核壳比较大 (60/40,70/30,80/20) 时,拉伸屈服强度较小。耐冲击改性剂的核壳比能对拉伸屈服强

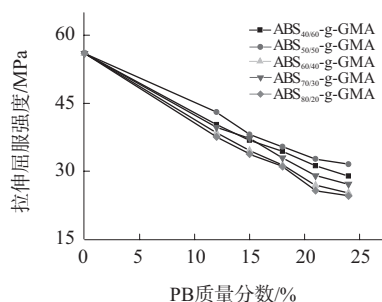


图4 不同核壳比 ABS-g-GMA 耐冲击改性剂增韧 PBT 的拉伸屈服强度

度产生一定的影响,增大核壳比能在一定程度上降低增韧 PBT 的拉伸屈服强度。

不同核壳比耐冲击改性剂增韧 PBT 的断裂伸长率如图 5 所示。

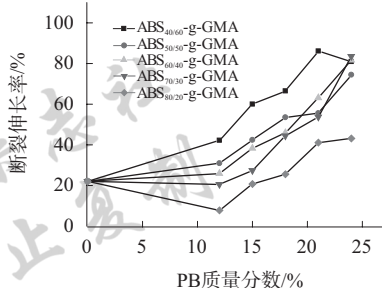


图5 不同核壳比耐冲击改性剂增韧 PBT 的断裂伸长率

由图 5 可以看出,增韧 PBT 的断裂伸长率整体上随 PB 含量的增加而增大。耐冲击改性剂的核壳比与增韧 PBT 的断裂伸长率有着较明显的正相关性,当 PB 含量相同时,随着耐冲击改性剂核壳比的逐渐增加,增韧 PBT 的断裂伸长率逐渐减小。这是由于随着耐冲击改性剂核壳比的增加,耐冲击改性剂中 PB 粒子外包裹的接枝层变薄,致使 PB 粒子间易发生团聚,影响 PB 粒子在基体中的均匀分散,从而降低了增韧 PBT 发生断裂前的延展性。

2.3 共混物的动态力学性能分析

当 PB 质量分数为 21% 时,不同核壳比耐冲击改性剂增韧 PBT 的 DMA 曲线如图 6 所示,玻璃化转变温度 (T_g) 见表 2,其中 $T_{g,1}$ 为 PBT 的无定形相区的 T_g , $T_{g,2}$ 为耐冲击改性剂中 SAN 相的 T_g 。

由图 6 可以看出,当 PB 质量分数为 21% 时,不同核壳比耐冲击改性剂增韧 PBT 的 DMA 曲线存在两个较为明显的峰,说明 PBT 与 ABS-g-GMA 耐冲击改性剂不完全混溶。随着耐冲击改性剂核壳比的增加, $T_{g,1}$ 先向高温区略微移动,再向低温区略微移动, $T_{g,2}$ 略微向低温区移动,但是整体上,两相的 T_g 变化不大,说明耐冲击改性剂的核壳比对于两相的 T_g 影响较小,改变耐冲击改性剂的核壳比并不

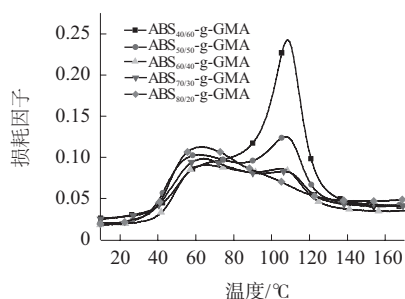


图6 PB质量分数为21%时不同核壳比耐冲击改性剂增韧PBT的DMA曲线

表2 PB质量分数为21%时不同核壳比

耐冲击改性剂增韧PBT的 T_g / °C		
耐冲击改性剂核壳比	$T_{g,1}$	$T_{g,2}$
40/60	60.5	108.5
50/50	61.2	107.5
60/40	66.5	105.1
70/30	64.2	105.7
80/20	63.0	106.5

能明显影响增韧PBT中两相间的相容性。

3 结论

通过改变投料比例合成了不同核壳比的ABS-g-GMA耐冲击改性剂。核壳比不同的耐冲击改性剂对PBT的增韧效果不同,耐冲击改性剂的增韧效果随着耐冲击改性剂核壳比的增加总体呈现先变好后变差的趋势,核壳比为60/40的耐冲击改性剂的增韧效果最好。核壳比对增韧PBT的拉伸屈服强度有一定的影响,核壳比较小时,增韧PBT的拉伸屈服强度较大;核壳比较大时,拉伸屈服强度较小。耐冲击改性剂的核壳比对增韧PBT断裂伸长率的影响较大,增韧PBT的断裂伸长率随着核壳比的增加而降低。增韧PBT的拉伸弹性模量和两相的相容性与核壳比的关系不大。

参考文献

- [1] Levchik S. V., Weil E. D. A review on thermal decomposition and combustion of thermoplastic polyesters[J]. *Polymers for Advanced Technologies*, 2004, 15(12):691–700.
- [2] Chen L., Wang Y. Z. A review on flame retardant technology in China. Part I: development of flame retardants[J]. *Polymers for Advanced Technologies*, 2010, 21(1):1–26.
- [3] Xiao J. F., Hu Y., Wang Z. Z., et al. Preparation and characterization of poly(butylene terephthalate) nanocomposites from thermally stable organic-modified montmorillonite[J]. *European Polymer Journal*, 2005, 41(5):1 030–1 035.
- [4] 张惠怡. 新型核壳结构抗冲击改性剂的制备及应用研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2013.
Zhang Huiyi. Preparation and application of core-shell impact modifier[D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2013.

- [5] Yang H., Cho K., Surface modification effects of core-shell rubber particles on the toughening of poly(butylene terephthalate)[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, 116(4):1 948–1 957.
- [6] Hao Y. P., Wu L., Sun S. L., et al. Poly(butylene terephthalate) toughening with butadiene-epoxy-functionalized methyl methacrylate core-shell copolymer[J]. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 2015, 54(10):1 267–1 281.
- [7] Zheng Y. Y., Zhao J. B., Li S. N., et al. Contribution of ungrafted segments in core-shell impact modifier in the toughening of PBT resins by epoxy functionalized poly(butadiene-graft-styrene)[J]. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2018, 57(16):1 697–1 705.
- [8] Kudva R. A., Keskkula H., Paul D. R. Properties of compatibilized nylon 6/ABS blends: Part I. Effect of ABS type[J]. *Polymer*, 2000, 41(1):225–237.
- [9] Li K. Q., Wu W. J., Chai S. Y., et al. Synthesis of functionalized copolymers and their compatibilization effects on acrylonitrile butadiene styrene/poly(butylene terephthalate) blends[J]. *Polymer Engineering & Science*, 2020, 60(12):2 967–2 978.
- [10] Oyama H. T., Kitagawa T., Ougizawa T., et al. Novel application of reactive blending: tailoring morphology of PBT/SAN blends[J]. *Polymer*, 2004, 45(3):1 033–1 043.
- [11] Kim S. J., Shin B. S., Hong J. L., et al. Reactive compatibilization of the PBT/EVA blend by maleic anhydride[J]. *Polymer*, 2001, 42(9): 4 073–4 080.
- [12] Martin P., Maquet C., Legras R., et al. Particle-in-particle morphology in reactively compatibilized poly(butylene terephthalate)/epoxide-containing rubber blends[J]. *Polymer*, 2004, 45(10): 3 277–3 284.
- [13] Jun J. B., Park J. G., Kim D. H., et al. Blends of polybutylene-terephthalate with ethylene-propylene elastomer containing isocyanate functional group[J]. *European Polymer Journal*, 2001, 37(3): 597–602.
- [14] Moghbeli M. R., Tolue S. Effect of acrylic core-shell rubber particles on the particulate flow and toughening of PVC[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2009, 113(4):2 590–2 597.
- [15] 刘哲, 王硕, 陈明, 等. PB-g-SAN共聚物的接枝层厚度对增韧SAN树脂的影响[J]. *中国塑料*, 2013(2):56–59.
Liu Zhe, Wang Shuo, Chen Ming, et al. Effect of shell thickness of PB-g-SAN copolymer core-shell impact modifier on toughening SAN resins[J]. *China Plastics*, 2013(2):56–59.
- [16] Zhao P. F., Zhang J. Effect of poly(butyl acrylate)-g-poly(styrene-co-acrylonitrile)'s core/shell ratio on mechanical and thermal properties of poly(butyl acrylate)-g-poly(styrene-co-acrylonitrile)/ α -methyl styrene-acrylonitrile binary blends[J]. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 2018, 57(3):231–242.
- [17] Sun S. L., Xu X. Y., Tan Z. Y., et al. Structure-properties relationship in toughening of poly(butylene terephthalate) with core-shell modifier[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, 102(6): 5 363–5371.