

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.10.009

高刚高韧 PC/ABS 合金的制备及性能

丁步鹏, 纪效均, 沈圣翔

(上海普利特复合材料股份有限公司, 上海 201707)

摘要: 为了获得高刚高韧的聚碳酸酯(PC)/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)合金,通过熔融共混法制备了滑石粉填充PC/ABS合金,发现滑石粉的引入能够有效提高合金的弯曲弹性模量,但是会使缺口冲击韧性明显恶化。为了平衡PC/ABS合金的刚性和韧性,引入了一种酸性润滑剂,研究了酸性润滑剂用量对合金材料性能的影响。结果表明,当酸性润滑剂用量为1份时,15份滑石粉填充的PC/ABS合金的常温缺口冲击强度为48 kJ/m²,弯曲弹性模量为3 900 MPa,并且注塑后的样板外观缺陷(如银丝等)也能得到显著改善。差示扫描量热法和扫描电子显微镜测试结果表明酸性润滑剂可以帮助滑石粉更好地分散,减弱滑石粉对基体树脂PC的降解程度,从而获得综合力学性能优秀的PC/ABS合金材料。

关键词: 聚碳酸酯;滑石粉;酸性润滑剂;刚性;韧性

中图分类号: TQ327.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)10-0055-07

Preparation and Properties of PC/ABS Alloys with High Stiffness and Toughness

Ding Bupeng, Ji Xiaojun, Shen Shengxiang

(Shanghai Pret Composites Co., Ltd., Shanghai 201707, China)

Abstract : In order to obtain polycarbonate (PC)/acrylonitrile-butadiene-styrene plastic (ABS) alloys with high stiffness and toughness, talc powder filled PC/ABS alloys were prepared by melting blend. It is found that the talc can effectively enhance the flexural modulus of the alloys, but deteriorate the notched impact toughness. And an acid lubricant was used in the PC/ABS alloys to balance the stiffness and toughness, effects of the acid lubricant on properties of the PC/ABS alloys were studied. The results show that, when the content of acid lubricant is 1 phr, the notched impact strength of the alloy with 15 phr talc can reach 48 kJ/m² at room temperature, while the flexural modulus is retained at 3 900 MPa. Additionally, after injection molding, appearance defects of the sample plate, such as silver marks, are alleviated to great extent. The test results of differential scanning calorimetry and scanning electron microscope show that the acid lubricant can help talc disperse well in PC/ABS, and weaken the degradation of matrix resin PC induced by talc, then the PC/ABS alloy with good comprehensive mechanical properties is finally obtained.

Keywords : polycarbonate ; talc ; acid lubricant ; stiffness ; toughness

双酚 A 型聚碳酸酯(PC)具有较高的韧性、耐热性和透明性,是一种应用广泛的工程塑料^[1],尤其在汽车和家电领域,但是较高的熔融加工温度限制了它的进一步应用。通过引入丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS),制备PC/ABS合金,可以有效地改善PC的加工性,并且还能减少PC的缺口敏感性和厚度敏感性,目前PC/ABS合金已经成为世界上商业化工程塑料中销量最大的品类^[2-3]。

近年来,薄壁化和轻量化已经成为汽车家电行业的发展趋势,而PC/ABS合金作为在该领域中用量最大的合金材料,下游客户对其提出了越来越多样化的要求。例如PC/ABS较高的线膨胀系数(CLTE)会造成零件安装时和其它材质零件不匹配^[4-5],并且在冬夏交替过程中,公差间隙时大时小,因此低CLTE的PC/ABS应运而生。薄壁化则要求PC/ABS必须具有更高的刚性,来抵御薄壁制件的

通信作者: 丁步鹏,工程师,主要从事高分子材料共混改性研究

收稿日期: 2023-07-24

引用格式: 丁步鹏,纪效均,沈圣翔.高刚高韧PC/ABS合金的制备及性能[J].工程塑料应用,2023,51(10):55-61.

Ding Bupeng, Ji Xiaojun, Shen Shengxiang. Preparation and properties of PC/ABS alloys with high stiffness and toughness[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(10): 55-61.

弯曲变形^[6]。

将矿物填料引入到PC/ABS合金中,可以增加刚性,降低CLTE,从而能很好地满足上述薄壁化和轻量化要求。玻璃纤维是一种常见的增刚填料^[7],但是将其直接应用在PC/ABS合金中容易出现浮纤现象,影响外观,同时浮纤还不利于喷漆、水转印等后加工。滑石粉是另一种常见增刚填料,具有能赋予材料高刚性和低CLTE的优点,并且少量添加不影响零件外观,但是会大幅降低材料韧性。因此在保证滑石粉填充PC/ABS的高刚性基础上,如何减少因滑石粉引入而造成的韧性损失是一个十分有意义的课题。

滑石粉影响基材韧性的因素主要有自身粒径及其分布、添加量以及是否表面处理^[8-10],目前主要是通过提高无机填料和基材的界面结合力,改善填料在基材中的分散,从而降低其对基材韧性的负面影响^[11-12]。例如在PC/ABS合金中,可以通过对矿物进行偶联处理,来增强填料和基材的界面结合力,进而提高合金的韧性^[13-14]。但是整体看,常规硅烷偶联剂包覆的滑石粉对合金的韧性改善并不明显^[6],并且表面改性过的滑石粉属于小众产品,很多需要定制化才能在特定基材中达到预期效果,成本较高,不利于改性厂大规模采购生产。

此外,与聚丙烯(PP)以及尼龙不同的是,PC对碱性物质比较敏感,而滑石粉主要成分是水合硅酸镁,呈碱性。因此在熔融挤出过程中,滑石粉会降解PC^[15-17],使得PC/ABS合金的力学性能大幅下降。基于此,笔者在滑石粉填充PC/ABS合金中引入了一种酸性润滑剂,从两个方面来减少滑石粉对基利物性的影响:一方面该润滑剂能够中和滑石粉的碱性,保护PC不受降解;另一方面,该润滑剂和滑石粉反应,有助于滑石粉在基材中分散。在此基础上,笔者制备了一种高刚高韧且CLTE较低的PC/ABS合金,进而满足了下游客户薄壁化和轻量化的需求。

1 实验部分

1.1 主要原料

PC:A1100,万华化学集团股份有限公司;
ABS:A371,盛禧奥聚合物(张家港)有限公司;
滑石粉:HTP Ultra 5L,意大利依米发比(IMIFABI)有限公司;
相容剂:马来酸酐接枝ABS,接枝率0.8%,嘉兴

华雯化工股份有限公司;

酸性润滑剂:A-C 540A,主要成分为乙烯丙烯酸共聚物,霍尼韦尔国际公司;

抗氧剂:1010,168,市售。

1.2 主要仪器及设备

双螺杆挤出机:TSE35/22-44-600型,南京瑞亚高聚物装备有限公司;

注塑机:SA2500型,中国海天塑料机械有限公司;

万能试验机:Z010型,德国Zwick/Roell公司;

冲击试验机:HIT5.5P型,德国Zwick/Roell公司;

熔体流动速率(MFR)仪:RL-Z1B1型,北京海富科技有限公司;

热机械分析仪:TMA/Q400型,美国TA公司;

差示扫描量热(DSC)仪:DSC8000型,美国Perkin Elmer公司;

扫描电子显微镜(SEM):JSM-7001 F型,日本电子株式会社。

1.3 矿粉填充PC/ABS合金的制备

将PC/ABS、相容剂和滑石粉的总用量(质量)设为100份,在此基础上,酸性润滑剂的用量分别为0份、0.5份、1份、1.5份,滑石粉的用量则由10份到30份变动,具体配方分别见表1和表2(表2中加入硫酸钡的G配方主要用于与其它配方进行对比),PC和ABS的质量比始终控制在3:1。根据表1和表2配方,先将PC和ABS在90℃下干燥24h,再将一定质量比例的PC、ABS及滑石粉、相容剂、酸性润滑剂和抗氧剂混合均匀后加入到挤出机中进行挤出造

表1 不同酸性润滑剂用量的PC/ABS合金材料各组分用量 份

组分	配方编号			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
PC/ABS	82	82	82	82
相容剂	3	3	3	3
滑石粉	15	15	15	15
酸性润滑剂	0	0.5	1	1.5
抗氧剂	0.3	0.3	0.3	0.3

表2 不同滑石粉用量的PC/ABS合金材料各组分用量 份

组分	配方编号						
	A	B	C	D	E	F	G
PC/ABS	82	87	82	77	67	67	82
相容剂	3	3	3	3	3	3	3
滑石粉	15	10	15	20	30	30	
硫酸钡							15
酸性润滑剂		1	1	1	1	2	
抗氧剂	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

粒,挤出温度从第一区到第十区依次为 80, 120, 230, 240, 240, 240, 240, 240, 240, 240 °C, 主机转速为 500~600 r/min。然后将得到的粒子在 100 °C 下过夜干燥,再注塑成 ISO 标准样条,注塑温度为 265 °C。

1.4 性能测试与表征

弯曲性能按照 ISO 178-2019 测试,跨距 64 mm,测试速度 2 mm/min;

简支梁缺口冲击强度按照 ISO 179-1-2010 测试,摆锤能量 5.5 J;

MFR 按照 ISO 1133-1-2011 测试,条件为 260 °C, 5 kg;

CLTE 按照 ISO 11359-2-1999 测试,温度范围 -40~100 °C;

玻璃化转变温度(T_g)通过 DSC 测试,先从 50 °C 以 20 °C/min 速率将样品升温到 200 °C 并保持 5 min 以消除热历史,然后再以相同的速率降到 50 °C,并保持 5 min,最后再以 20 °C/min 速率升到 200 °C,最终得到合金材料中 PC 的 T_g ;

将合金材料注塑成标准缺口冲击样条,放置在液氮中状态调节 4 h,然后迅速拿出进行简支梁冲击试验,收集残样,在断面表面喷金处理后利用 SEM 观察断面微观形貌。

2 结果与讨论

2.1 酸性润滑剂用量对 PC/ABS 合金性能的影响

不同酸性润滑剂用量下 PC/ABS 合金的力学性能、MFR 及 CLTE 测试结果如图 1 所示。由图 1a 看出,随着酸性润滑剂用量的增加,表征刚性的弯曲弹性模量在 3 500~3 900 MPa 之间波动,而表征韧性的缺口冲击强度得到明显提升,并且在酸性润滑剂用量达到 0.5 份后趋于平缓。具体而言,在没有添加酸性润滑剂时,材料表现为高刚性低韧性,这是因为滑石粉具有明显的增强效果,和常见的非填充非增强 PC/ABS 合金相比,例如 Bayblend® T65,弯曲弹性模量从 2 300 MPa 提升到 3 750 MPa,但是缺口冲击强度从 50 kJ/m²降低到 16 kJ/m²。这是因为滑石粉的引入容易在 PC/ABS 合金基材中形成缺陷,在树脂和填料的界面处造成应力集中,容易诱发裂纹,从而使合金材料在外力作用下,更容易遭到破坏,表现出一定的脆性。而随着酸性润滑剂的加入,材料的韧性有明显的提升,这可能是因为酸性润滑剂的引入有利于滑石粉在基材中的分散,并且

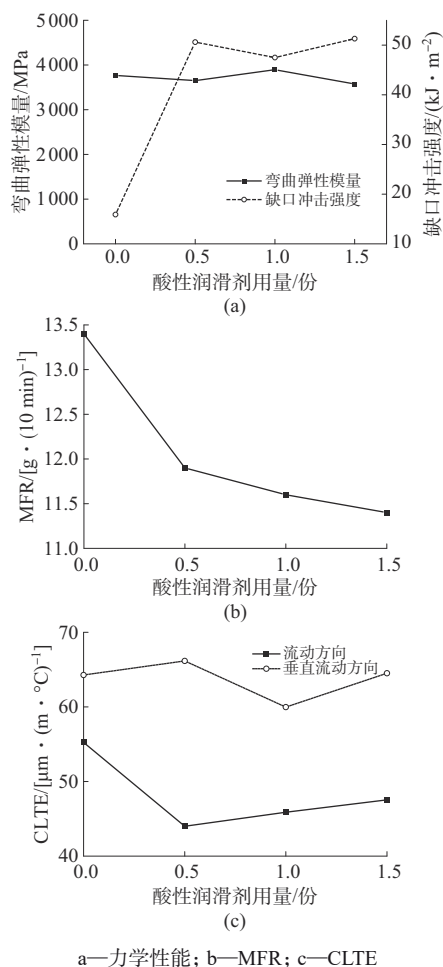


图1 不同酸性润滑剂用量下 PC/ABS 的性能

其中的酸性物质可能和滑石粉进行了酸碱中和反应:一方面增加了滑石粉在基材中的相容性,另一方面降低了滑石粉在挤出加工过程中对 PC 的降解作用。滑石粉的主要成分为硅酸镁,采用 ISO 787-9-1981 沉淀法测得其 pH 值为 9 左右^[18]。虽然在挤出前对原材料进行了干燥处理,但是整个加工过程中难免会混入少量水分,而 PC 又是一种对碱性和水分十分敏感的工程塑料^[19],PC 的降解会造成力学性能,特别是韧性明显降低^[14]。

由图 1b 可以看到,随着酸性润滑剂的加入,合金的 MFR 在逐渐下降,并且在酸性润滑剂用量达到 0.5 份后趋于缓和,这就佐证了酸性润滑剂的加入可以缓解滑石粉对 PC/ABS 的降解作用。另外图 1c 表明,保持滑石粉用量(15 份)不变,随着酸性润滑剂含量的增加,合金的 CLTE 总体变化不大,流动方向的 CLTE 在 45~55 μm/(m·°C) 范围内,而垂直流动方向的 CLTE 在 60~65 μm/(m·°C) 范围内,这说明酸性润滑剂含量不会显著影响合金的 CLTE。

当酸性润滑剂的用量保持在1份时,15份滑石粉填充的PC/ABS可以获得较好的刚韧平衡点,和未添加酸性润滑剂的合金相比,材料的缺口冲击强度从 16 kJ/m^2 大幅提升到 48 kJ/m^2 ,同时弯曲弹性模量从 3750 MPa 小幅提升到 3900 MPa ,MFR有一定的降低,从 13.5 g/10 min 降低到 11.5 g/10 min 。和商业牌号 Bayblend® T65相比,在材料韧性相当的前提下,材料的刚性有了大幅提升。因此,可以认为1份的酸性润滑剂可以帮助15份的滑石粉在PC/ABS中较好地分散,并且帮助基材维持较好的力学性能。

2.2 滑石粉用量对PC/ABS合金性能的影响

在酸性润滑剂用量为1份的基础上,按照表2的配比,继续考察了滑石粉用量对PC/ABS合金性能的影响,如图2所示。由图2a可以看出,整体上随着滑石粉用量增加,合金的刚性逐渐上升,而韧性先略有上升而后大幅下降,当滑石粉用量超过20份时,韧性快速下降,并且在滑石粉用量为30份时,缺口冲击强度降低到了 9 kJ/m^2 。虽然此时刚性也达到了最高值,接近 6000 MPa ,但是由于整体材料较脆,会限制其在汽车家电等领域的应用。综合刚性和韧性表现来看,滑石粉用量在10份至20份之间,可以得到刚韧平衡的滑石粉填充PC/ABS合金。另外根据图2b,当滑石粉用量在10份至20份之间时,合金的MFR为 $10\sim 15 \text{ g/10 min}$,根据经验,可以满足一般加工需求。

同时图2c表明,随着滑石粉用量的增加,合金的CLTE逐渐降低。以流动方向为例,当滑石粉用量达到15份时,CLTE从原来的 $70 \mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 降低到 $45 \mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$,降幅达到 35.7% 。如果以 1 m 长的零件为例,假设冬天和夏天的温差为 30°C ,那么公差可以从原来的 2.10 mm 缩小到 1.35 mm ,这对实际应用端的生产设计具有积极意义。

针对滑石粉如何影响到合金的外观,笔者进行了 265°C 热停留试验。首先根据表2中的配方A至配方G进行挤出,然后将挤出得到的粒子在 100°C 烘箱中过夜干燥,注塑成 $150 \text{ mm}\times 100 \text{ mm}\times 3.2 \text{ mm}$ 的样板。注塑时,待注塑机稳定工作后,将炮筒储满料并保持 10 min ,然后连续注塑4块样板,并标记出模顺序,通过比较热停留前后样板表面银丝严重情况来判定滑石粉对基材降解程度的影响,如图3所示。图3中A0为配方A未停留状态的样板,

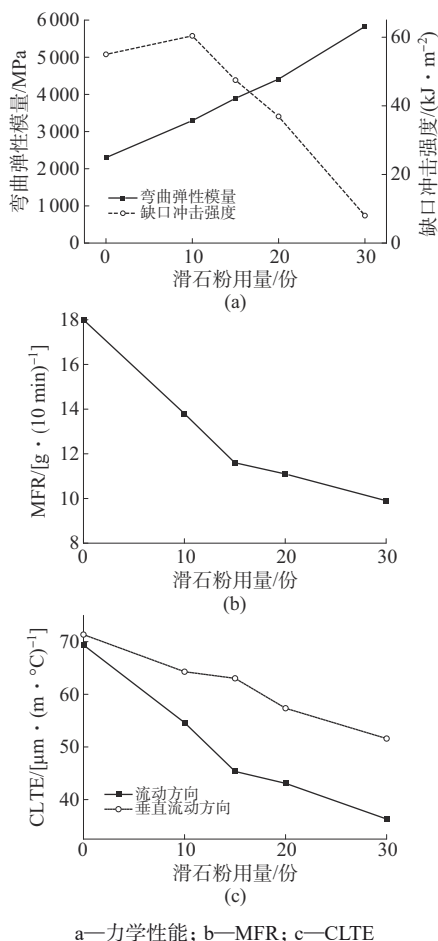


图2 不同滑石粉用量下PC/ABS合金的性能的影响

A1~A4分别为配方A热停留后第1模到第4模的状态,其余依次类推。之所以选择 10 min ,是因为实际项目中,滑石粉填充PC/ABS材料的单个零件成型周期为 1 min 左右,而注塑机炮筒储满料可以注塑 $5\sim 10$ 个零件,所以材料必须能够经受 10 min 的热停留才有实际应用价值。

从图3可以看出,整体上热停留后第1模都有比较明显的银丝,例如A1到G1,这是因为注塑机射嘴直接与空气中的水分和氧气接触,因此材料热降解严重,而后续出模的样板排除了空气影响,因此对比第2、第3和第4模来说说明滑石粉对基材的降解作用。

首先,未添加酸性润滑剂的配方A,热停留前基本没有银丝,但是热停留后有非常严重的银丝,直到A4,样板浇口处仍然有少许银丝。而添加了1份酸性润滑剂的配方C,则在热停留后样板表面银丝大大减少,在C2时表面基本无银丝。其次对比不同滑石粉用量的情况,由配方B到配方F,可以看出,当滑石粉用量不超过20份时,样板表面的银丝现象



从左到右分别为配方A,B,C,D,E,F,G的未停留样板状态,标记为A0,B0,C0,D0,E0,F0,G0



从左到右分别为配方A,B,C,D,E,F,G停留后第1模的样板状态,标记为A1,B1,C1,D1,E1,F1,G1



从左到右分别为配方A,B,C,D,E,F,G停留后第2模的样板状态,标记为A2,B2,C2,D2,E2,F2,G2



从左到右分别为配方A,B,C,D,E,F,G停留后第3模的样板状态,标记为A3,B3,C3,D3,E3,F3,G3



从左到右分别为配方A,B,C,D,E,F,G停留后第4模的样板状态,标记为A4,B4,C4,D4,E4,F4,G4

图3 不同配方下PC/ABS合金注塑样板热停留前后的表观状态

均不明显,可以用于实际注塑生产(参见B2,C2和D2)。但是当时滑石粉用量为30份时,材料表面银丝非常严重,并且即使增加酸性润滑剂的用量(对比E和F),仍然无法缓解这一趋势,这是因为滑石粉用量增加对PC的降解作用愈加明显。因此在该体系中,可以认为滑石粉的用量不能超过20份。最后有趣的是,当把滑石粉换成等量的硫酸钡,可以看到样板表面银丝现象再次消失(对比A2和G2),这是因为硫酸钡为中性矿物,不会降解基材,即使熔体经历了热停留,样板表面仍然看不到银丝,这进一步证明了碱性的滑石粉对PC/ABS基材具有降解作用。

2.3 机理分析

选择配方A,C,F和G的热停留前后的样板,进行DSC分析。热停留后4个配方的第2模样板的

DSC二次升温曲线如图4所示,4个配方在整个热停留阶段内对应的PC的 T_g 见表3。比较配方A,C对应的 T_g ,可以看出当滑石粉用量为15份时,添加了酸性润滑剂的配方C中PC的 T_g 高于A,且热停留后的变化幅度较小,这说明在酸性润滑剂的保护下,PC降解较少。而当滑石粉用量增大到30份时,热停留前后配方F中PC的 T_g 变化幅度最大,说明即使添加了酸性润滑剂,也无法抵消高用量滑石粉对PC的降解,这样的结果和材料的韧性变化以及热停留样板银丝的严重程度均能对应上。另外有趣的是,配方G中PC的 T_g 最高,接近普通PC/ABS合金的 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[6],说明中性的硫酸钡对PC基本没有降解作用,从而进一步证明了呈碱性的滑石粉会对合金中的PC造成降解。

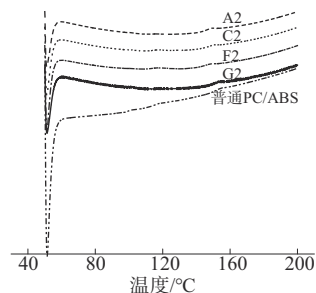


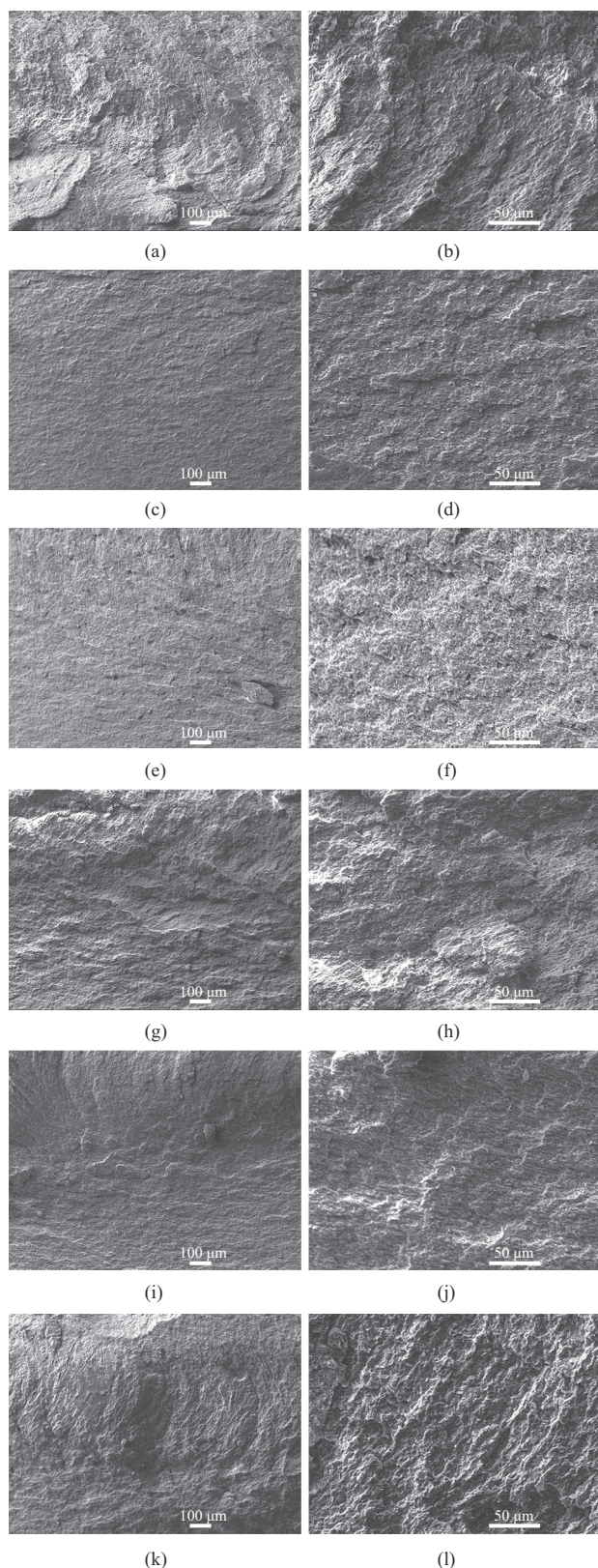
图4 热停留后4个配方的第2模样板的DSC二次升温曲线

表3 热停留阶段4个配方对应的合金材料中PC的 T_g $^{\circ}\text{C}$

热停留阶段	配方编号			
	A	C	F	G
未停留	146.82	147.41	147.45	151.26
停留后第1模	145.50	147.02	146.95	149.68
停留后第2模	145.32	146.86	144.41	149.47
停留后第3模	146.06	147.23	145.80	149.89
停留后第4模	146.58	148.33	145.80	149.25

最后为了进一步研究酸性润滑剂对滑石粉填充PC/ABS物性的影响,采用SEM对配方A至配方F的样品经液氮调节后的冲击断面进行了拍摄和观察,结果如图5所示。由图5看出,当不添加酸性润滑剂时,可以看到配方A对应的微观断面形貌为不规则的片状,且滑石粉与基材的相容性较差,综合表现为脆性断裂。加入酸性润滑剂后,如配方C,可以看到滑石粉均匀地分散在基体相中,与基材的相容性明显改善,并且微观断面形貌呈现出微孔和不规则拉扯状的起伏,因此宏观表现为韧性断裂。

比较配方B到配方E的SEM图可以发现,固定酸性润滑剂的用量不变,当滑石粉用量逐渐增加时,滑石粉在基体中逐渐显现,且相容性变差,并逐渐发生团聚,从而造成应力集中,宏观的冲击韧性



a,b—配方A,分别放大100倍和450倍; c,d—配方B,分别放大100倍和450倍; e,f—配方C,分别放大100倍和450倍; g,h—配方D,分别放大100倍和450倍; i,j—配方E,分别放大100倍和450倍; k,l—配方F,分别放大100倍和450倍

图5 不同配方下滑石粉填充PC/ABS合金的冲击断面SEM照片

下降。特别当滑石粉用量达到30份时,对比E和F,可以发现,此时的树脂基体的连续性已经被破坏,即使酸性润滑剂的用量翻倍,对滑石粉在基体中的分散起到一定的作用,但是无法从根本上改变其脆性。

综上所述,滑石粉的引入会导致PC/ABS合金韧性明显下降,这是因为一方面滑石粉对基体的降解作用,另一方面则是因为滑石粉在基材中很难做到良好的分散。而酸性润滑剂的引入有助于滑石粉分散,并减缓其对基材的降解作用,这与前面的力学性能和热性能分析的结果一致。

3 结论

(1)滑石粉的引入可以增加PC/ABS合金的刚性,但是会使韧性大幅下降,这是因为滑石粉在PC/ABS合金中难以均匀的分散,并且在熔融加工过程中,碱性的滑石粉会对PC有降解作用。

(2)酸性润滑剂能够很好地改善滑石粉在PC/ABS合金中的分散,并且能够明显减弱滑石粉对PC/ABS韧性不利的影响。当酸性润滑剂用量为1份时,10份至20份滑石粉填充的PC/ABS可以获得高刚高韧的综合力学性能,且具有较低的CLTE。

(3)当滑石粉用量不超过20份时,酸性润滑剂能明显改善因滑石粉降解PC造成的银丝或气痕,从而提升样板或制件的美观度,有利于后续的喷漆、水转印等加工。

参考文献

- [1] 张毅,洪若瑜.膨化石墨填充PC/ABS共混物的性能研究[J].工程塑料应用,2015,43(6):30-33.
Zhang Yi, Hong Ruoyu. Study on properties of PC/ABS blends filled with expanded graphite[J]. Engineering Plastics Application, 2015,43(6):30-33.
- [2] 王斌,罗明华,辛敏琦,等.新一代高性能PC/ABS合金的研究[J].工程塑料应用,2009,37(8):23-26.
Wang Bin, Luo Minghua, Xin Minqi, et al. New generation of high-performance polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene blends [J]. Engineering Plastics Application, 2009,37(8):23-26.
- [3] 金祖铨,吴念.聚碳酸酯树脂及应用[M].北京:化学工业出版社,2009.
Jin Zuquan, Wu Nian. Polycarbonate resin and its application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [4] Lee H, Fasulo P D, Rodgers W R, et al. TPO based nanocomposites. Part 1. Morphology and mechanical properties[J]. Polymer, 2005,46(25):11 673-11 689.
- [5] Kim D H, Fasulo P D, Rodgers W R, et al. Structure and properties of polypropylene-based nanocomposites: Effect of PP-g-MA to

- organoclay ratio[J]. *Polymer*, 2007, 48(18):5 308–5 323.
- [6] 杨燕,李明昆. 羧酸类助剂对滑石粉填充PC性能的影响[J]. *工程塑料应用*, 2018, 46(4):133–138, 150.
- Yang Yan, Li Mingkun. Effects of carboxyl acid type agent on performances of talcum powder filling PC[J]. *Engineering Plastics Application*, 2018, 46(4):133–138, 150.
- [7] Law T T, Phua Y J, Senawi R, et al. Experimental analysis and theoretical modeling of the mechanical behavior of short glass fiber and short carbon fiber reinforced polycarbonate hybrid composites [J]. *Polymer Composites*, 2014, 37(4):1 238–1 248.
- [8] Mareri P, Bastide S, Binda N, et al. Mechanical behaviour of polypropylene composites containing fine mineral filler: Effect of filler surface treatment[J]. *Composites Science and Technology*, 1998, 58(5):747–752.
- [9] Karger-Kocsis J. Microstructural aspects of fracture in polypropylene and in its filled, chopped fiber and fiber mat reinforced composites[M]//Polypropylene structure, blends and composites. London: Chapman and Hall, 1995:142–201.
- [10] Castillo L A, Barbosa S E, Capiati N J. Influence of talc morphology on the mechanical properties of talc filled polypropylene[J]. *Journal of Polymer Research*, 2013, 20(5). DOI: 10.1007/s10965-013-0152-2.
- [11] 吴俊,岑茵,章明秋,等. 矿物复合PC/ABS合金的界面与性能[J]. *塑料工业*, 2018, 46(8):39–42, 103.
- Wu Jun, Cen Yin, Zhang Mingqiu, et al. Interface and properties of PC/ABS/mineral compsite[J] *China Plastics Industry*, 2018, 46(8):39–42, 103.
- [12] Sung Y T, Fasulo P D, Rodgers W R. Properties of polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene/talc composites[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2012, 124(2):1 020–1 030.
- [13] Pastorini M T, Nunes R C R. Mica as a filler for ABS/Polycarbonate blends[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1999, 74, (6): 1 361–1 365.
- [14] Asyadi F, Jawaid M, Hassan A, et al. Mechanical properties of mica-filled polycarbonate/poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) composites[J]. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2013, 52(7):727–736.
- [15] 王克强,黄红红. 聚碳酸酯的分子量分布与热降解[J]. *石油化工*, 1997, 26(11):750–754.
- Wang Keqiang, Huang Honghong. Molecular weight distribution and heat degradation of polycarbonate[J]. *Petrochemical Technology*, 1997, 26(11):750–754.
- [16] 隗明,刘念才,徐祥铭. 聚碳酸酯在催化剂作用下的降解反应[J]. *上海交通大学学报*, 1999, 33(5):1 301–1 306.
- Wei Ming, Liu Niancai, Xu xiangming. Degradation reaction of polycarbonate in the presence of catalyst[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 1999, 33(5):1 301–1 306.
- [17] 周文君,杨辉,方晨鹏. 聚碳酸酯的热降解[J]. *化工进展*, 2007, 26(1):23–36.
- Zhou wenjun, Yang hui, Fang chenpeng. Thermal degradation of polycarbonate[J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2007, 26(1):23–26.
- [18] Wypych G. 填料来源、化学组成、性质和形态[M]//填料手册. 2版. 北京:中国石化出版社, 2002:96–99.
- Wypych G. Fillers-origin, chemical composition, properties, and morphology[M]//Handbook of Fillers. 2nd ed. Beijing: China Petrochemical Press, 2022:96–99.
- [19] 邹在平,吴悦梅,赵秀丽. 聚碳酸酯耐溶剂性能研究进展[J]. *材料导报*, 2021, 35(5):5 199–5 205.
- Zou Zaiping, Wu Yuemei, Zhao Xiuli. Research progress on solvent resistance of polycarbonate[J]. *Materials Reports*, 2021, 35(5):5 199–5 205.