

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.07.007

口腔洁治器用耐高温 PBT 制备及性能

柴瑞¹, 李襄雪¹, 童铭康¹, 戚嵘嵘¹, 徐斌²

(1. 上海交通大学化学化工学院, 上海 200240; 2. 上海市第五人民医院口腔科, 上海 200240)

摘要: 聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT) 因其热变形温度低, 在高温湿热环境下时会产生变形, 而影响其正常使用。而 PBT 热变形温度低的原因是由于其结晶度较低, 因此, 选用了三种无毒安全的成核剂和预处理方法来促进 PBT 结晶, 提高其结晶度, 从而提高其耐热性。主要研究了三种成核剂对 PBT 力学性能、热变形温度以及结晶性能的影响, 实验结果表明成核剂 B (二氧化钛) 和成核剂 C (苯甲酸钠) 复配对 PBT 耐热性能的提高最有效, 而热处理也能显著提高 PBT 的耐热性, 可以得到热变形温度大于 150℃ 的制品, 同时, 对于通过加入复合成核剂且经过热处理制备的 PBT 样条进行高温高压蒸煮和耐溶剂实验, 结果表明, 该样条耐热性和耐溶剂性都很好。

关键词: 聚对苯二甲酸丁二酯; 口腔洁治器; 耐热性; 成核剂; 热处理

中图分类号: TQ323.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)07-0034-07

Synthesis and Performance of High Heat-Resistant PBT Used for Oral Cavity Excavator

Chai Rui¹, Li Xiangxue¹, Tong Mingkang¹, Qi Rongrong¹, Xu Bin²

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Department of Stomatology, the Fifth People's Hospital of Shanghai, Shanghai 200240, China)

Abstract: Poly (butylene terephthalate) (PBT) is an important semicrystalline engineering plastics. But its low heat distortion temperature (HDT) limit its widely application because the need to disinfect in high temperature. In order to improve HDT of PBT, the effect of the different nucleating agents and their content and the different crystal conditions on the mechanical properties, crystal behavior and HDT of PBT has been investigated in detail. The results indicate that nucleating agents and heat treatment can improve HDT of PBT. Among three nucleating agents, nucleating agent C (sodium benzoate) is the most effective. Using nucleating agent B (TiO₂) and C as the binary nucleating agents is better, and heat treatment also improves HDT of PBT. When nucleating agent B and C together were used and the heat treatment condition is at 150℃ for 2 h, the HDT of PBT is above 150℃. According to the results of stewing and solvent resistance, PBT samples have good thermostability and solvent resistance.

Keywords: poly (butylene terephthalate); oral cavity excavator; heat resistance; nucleating agent; heat treatment

聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT) 是一种热塑性半结晶型树脂, 因其优良的综合性能, 良好的成型加工性和优异的性价比, 成为通用工程塑料中工业化最晚而发展速度最快的一个品种^[1-3]。PBT 树脂主要用于工程塑料, 制作电子电器、汽车、机械设备以及精密机械等的零部件^[4-6]。此外还用于直接纺丝、复合纺丝和用作光纤通讯电缆的护套材料。然而, 未经过增强的 PBT 有一个十分明显的缺点: 耐热性较差, 无法在高温湿热条件下使用。研究发现, 提高其结晶度可以改善其耐热性^[7-9]。为了提高结晶度从而提高耐热性, 人们主要采用如下方法: (1) 提高分子链的对称性, 增加分子的立体规整性等; (2) 退火, 缓慢降温等方法^[10]。但是改变分子链结构成本高而困难, 单纯的退火不能满足高耐热要求^[11]。有研究表明加入成核剂可以提高结晶速率, 同时使聚合

物在高温下因结晶易固化脱模, 从而缩短加工周期, 并提高制品质量^[12-14]。

PBT 的无毒性可以用于医疗器件中, 但是低的耐热性使其高温高压消毒时产生形变, 为了制备耐高温的 PBT 材料, 笔者选用了三种无毒安全的成核剂和预处理方法来促进 PBT 结晶, 提高其结晶度, 从而提高其耐热性, 达到医疗器件消毒要求, 可以用于口腔洁治器。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PBT: 注塑级, 天鸿塑胶原料有限公司;

成核剂 A (二苄山梨醇): 分析纯, 瑞纳化工有限公司;

联系人: 柴瑞, 助理工程师, 主要从事高分子材料及其加工研究

收稿日期: 2017-05-01

成核剂 B (二氧化钛): 纳米级, 上海井宏化工科技有限公司;

成核剂 C (苯甲酸钠): 分析纯, 创锦鑫化工科技有限公司;

环氧 6101: 分析纯, 粤宝化工科技有限公司;

抗氧化剂: 168, 1010, 分析纯, 鼎海塑胶化工有限公司。

1.2 主要设备及仪器

双螺杆挤出机: TSE-35 型, 南京瑞亚聚合物装备有限公司;

注塑机: HTB II OX/1 型, 宁波海天塑料机械有限公司;

电子拉力机: Instron4465 型, 美国 Instron 公司;

差示扫描量热 (DSC) 仪: DSC-7 型, 美国 Perkin Elmer 公司;

冲击试验仪: Uinversal 型, 英国 Ray-Run 公司;

X 射线衍射 (XRD) 仪: XRD-6000 型, 日本岛津公司;

热变形温度测量仪: XRW-300 型, 广州市康钰医疗器械有限公司。

1.3 样品制备

将 PBT 在鼓风烘箱中于 140℃ 下烘 4 h, 成核剂在 80℃ 下烘 4 h。用 PBT 和不同比例成核剂混合, 在双螺杆挤出机 (各挤出段温度设置为 220℃ ~ 240℃) 中进行共混挤出。将得到的材料造粒后, 在鼓风烘箱中以 80℃ 下烘 6 h, 然后在注塑机中注塑成标准样条, 再对样条进行性能测试。

1.4 实验配方设计与工艺条件

表 1~表 3 分别为 PBT/成核剂 A、PBT/成核剂 B、PBT/成核剂 C 材料配方。表 4 为 PBT/成核剂材料注塑工艺条件。

1.5 性能测试

(1) 热学性能测试。

在热变形温度测量仪上, 测试样条的热变形温度。将高分子材料试样浸在一种等速升温的合适液体传热介质中, 在简支梁式的弯曲负载作用下, 试样弯曲变形达到规定值时的温度, 即为弯曲负载热变形温度。本测试中使用的液体传热介质为硅油。

(2) 力学性能测试。

在电子拉力机上, 根据 ASTM D638-2014 测试材料拉伸性能; 在冲击试验仪上, 根据 ASTM D256-2010 测试材料冲击强度。

表 1 PBT/成核剂 A 材料配方

组分名称	组成 1	组成 2	组成 3	组成 4	组成 5	组成 6	组成 7
PBT	100	100	100	100	100	100	100
抗氧化剂 1010	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
抗氧化剂 168	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
成核剂 A	0	0.5	1	2	3	5	10

表 2 PBT/成核剂 B 材料配方

组分名称	组成 1	组成 2	组成 3	组成 4	组成 5	组成 6	组成 7
PBT	100	100	100	100	100	100	100
抗氧化剂 1010	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
抗氧化剂 168	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
成核剂 B	0	0.3	0.5	0.8	1	1.5	

表 3 PBT/成核剂 C 材料配方

组分名称	组成 1	组成 2	组成 3	组成 4	组成 5	组成 6	组成 7
PBT	100	100	100	100	100	100	100
抗氧化剂 1010	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
抗氧化剂 168	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
成核剂 C	0.5	1	2	3	5	10	15

表 4 注塑工艺条件^{*}

料筒段	压力 / MPa	速度 / (r · min ⁻¹)	时间 / s
射出 1	40	35	-
射出 2	30	30	-
射出 3	30	30	-
射出 4	30	25	5
保压 1	25	25	8
保压 2	25	20	5
保压 3	20	20	3

^{*} 注塑段温度依次为: 250℃, 250℃, 245℃, 240℃, 235℃。

(3) XRD 测试。

采用 XRD 仪研究 PBT 的结晶行为, 把试样切成平滑的小片, 然后进行测试。采用 XRD 仪来测定样品的 XRD 谱图, 对产物的纯度及结晶度进行分析。衍射线为经过石墨单色光过滤器过滤的 Cu K_α 射线 ($\lambda=0.15406$ nm), 管流 40 mA, 管压 40 kV, 扫描范围为 10°~80°。

(4) DSC 测试。

在 N₂ 保护下进行 DSC 测试, 将约 5 mg 样品先以 50℃/min 的升温速度从室温加热至 270℃, 并保温 2 min 以消除热历史; 再以 20℃/min 降温速度降温至室温, 然后以 20℃/min 升温到 270℃, 观察 PBT 的结晶行为和熔融行为。

(5) 蒸煮实验。

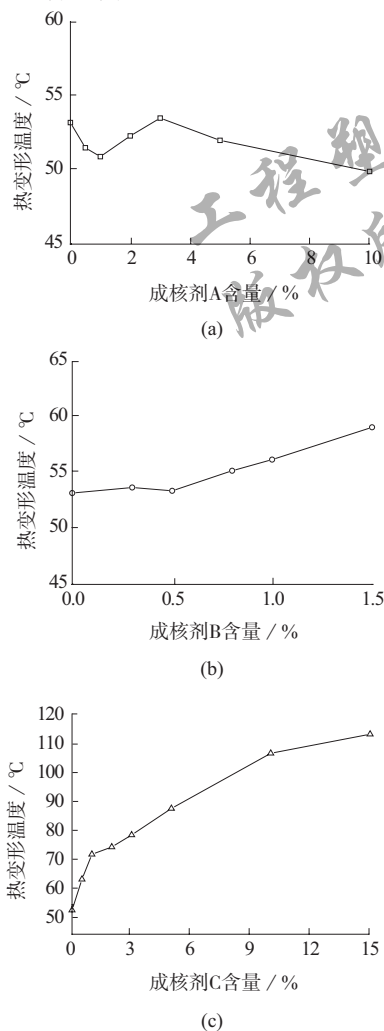
在消毒锅中, 以乙醇为介质, 对材料在 135℃ 下消毒 30 min。

2 结果与讨论

2.1 不同成核剂及其添加量对 PBT 热性能的影响

首先研究不同成核剂及其添加量对于 PBT 热变形温度的影响, 如图 1 所示。由图 1 可见, 随着成核剂 A 含量的增加, PBT 的热变形温度变化不大,

当成核剂含量在 0~10% 范围内变化时, PBT 的热变形温度均在 50℃ 附近, 表明成核剂 A 对 PBT 的成核作用不明显, 说明成核剂 A 对 PBT 而言不是一个理想的成核剂。成核剂 B 是纳米颗粒, 其密度小而蓬松, 体积大, 直接加入 PBT 中的量不大, 因为量多就会使分散不均匀, 加工困难, 因而实验中成核剂 B 的变化量为 0~1.5%。图 1b 是 PBT 热变形温度随成核剂 B 含量变化的曲线。由图可知, 随着成核剂 B 含量增加, PBT 的热变形温度逐渐升高, 当成核剂 B 的含量为 1.5% 时, 其热变形温度由纯 PBT 的 53℃ 升至 59℃。表明成核剂 B 的加入有助于 PBT 耐热性的提高, 但效果仍不显著。图 1c 为热变形温度随成核剂 C 含量变化的曲线。从图中看出, 随成核剂 C 含量增加, PBT 的热变形温度显著升高。当添加 15% 的成核剂 C 时, PBT 的热变形温度提高到 113.1℃。表明成核剂 C 是有效的成核剂, 可以显著提高 PBT 的耐热性能。

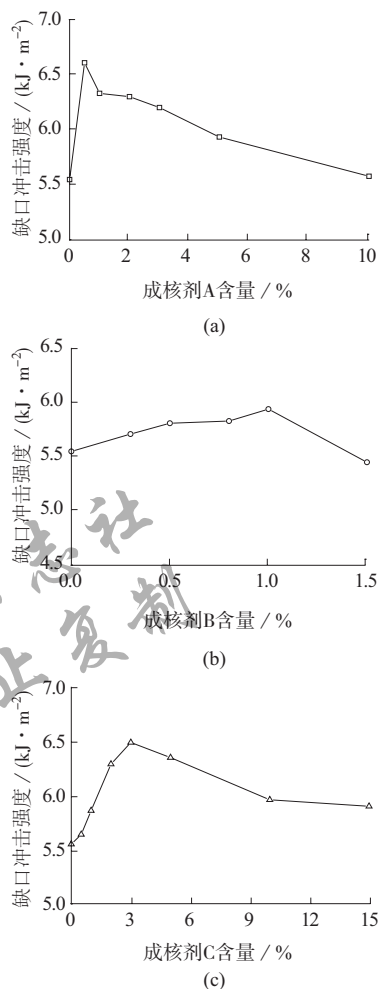


a—成核剂 A ; b—成核剂 B ; c—成核剂 C

图 1 添加不同成核剂时 PBT 热变形温度随其含量的变化曲线

2.2 不同成核剂及其添加量对 PBT 力学性能影响

图 2 为添加不同成核剂时 PBT 缺口冲击强度随其含量的变化曲线。



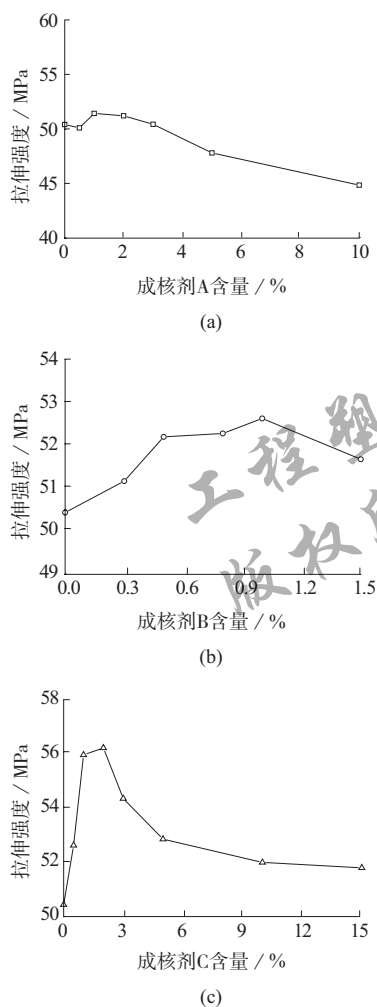
a—成核剂 A ; b—成核剂 B ; c—成核剂 C

图 2 PBT 缺口冲击强度随成核剂含量的变化曲线

从图 2a 中可知, 随着成核剂 A 含量的增加, PBT 的缺口冲击强度先升高后降低。当添加量为 0.5% 时, 缺口冲击强度最高, 为 6.6 kJ/cm², 随着含量的增加, 缺口冲击强度降低。即使加到 10%, 缺口冲击强度也比纯 PBT 高。图 2b 为 PBT 缺口冲击强度随成核剂 B 含量变化的曲线。从图中可以得出, PBT 的缺口冲击强度随成核剂 B 含量增加, 先增大后减小。当成核剂 B 含量为 1% 时, 缺口冲击强度最大, 为 5.9 kJ/cm², 再增加成核剂 B 含量, 缺口冲击强度减小。添加量为 1.5% 时, 缺口冲击强度比纯的 PBT 还要稍低一些。图 2c 为 PBT 缺口冲击强度随成核剂 C 含量变化的曲线。从图中看出, 随成核剂 C 含量增加, PBT 的缺口冲击强度先增大后减小, 但都高于纯 PBT。当添加量为 3% 时, 缺口冲

击强度最高,为 6.5 kJ/cm^2 。继续添加成核剂 C,缺口冲击强度下降,但是相比纯 PBT 还是有一定的提高。综合上述结果可以看出,三种成核剂的加入,在一定的比例范围内,都会有效增强 PBT 的缺口冲击强度,且三者的最大强度都比较相近。但是随着比例的增大,都会呈现下降的趋势,这也同时表明,过多的成核剂会导致 PBT 本身的物理状态变得不稳定。

图 3 为 PBT 拉伸强度随不同成核剂含量变化的曲线。



a—成核剂 A ; b—成核剂 B ; c—成核剂 C

图 3 PBT 拉伸强度随成核剂含量变化的曲线

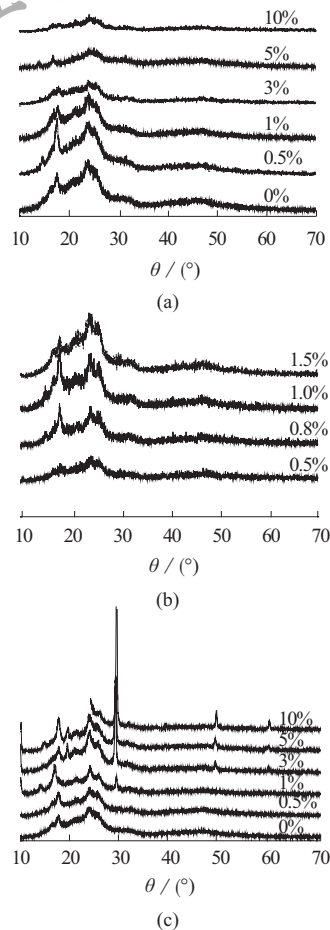
从图 3a 可以看出,随着成核剂 A 含量增加,拉伸强度先略微上升而后略有下降,但是变化不明显,说明成核剂 A 对 PBT 的拉伸强度影响不大。图 3b 为拉伸强度随成核剂 B 含量变化的曲线。从图中可知,随着成核剂 B 含量增加, PBT 拉伸强度先增大后减小,都比纯 PBT 略高,拉伸强度最大值为 52.5 MPa 。图 3c 为 PBT 拉伸强度和成核剂 C

含量变化的曲线。从图中可以看出,随着成核剂 C 含量的增加,拉伸强度先增大后减小,但都高于纯 PBT。当添加量为 2% 时,拉伸强度达到最大值,为 56.5 MPa ,继续添加则材料拉伸强度减小,但比纯 PBT 高。

综合上述数据可以看出:(1)不同的成核剂对于 PBT 的影响不同;(2)同种成核剂随其加入量的不同, PBT 的性质差异很大;(3)热变形温度随着成核剂比例的增大而升高,而缺口冲击强度及拉伸强度都呈现先升高后降低的趋势。为了探究造成上述现象的原因,对不同成核剂及不同添加量的样品进行了 XRD 分析。

2.3 不同成核剂及其添加量对 PBT 结晶性能影响

图 4 是添加了不同比例成核剂后 PBT 的 XRD 谱图。一般来说,当 XRD 谱图的峰型越窄,越尖锐表明该物质的结晶度越高。PBT 的结晶度与其实际多种力学性能都有着直接关系,故而图 4 对研究成核剂对于 PBT 性能的影响十分重要。从图 4a 看出,随着成核剂 A 含量的增加,衍射峰的强度变化



a—成核剂 A ; b—成核剂 B ; c—成核剂 C

图 4 添加不同比例成核剂的 PBT 材料的 XRD 图

很大;当添加量未超过 1% 时,仍能观察到明显的出峰位置及相对尖锐的峰型;之后随其添加量的不断加大,直到添加量为 10% 时,衍射峰的峰型逐渐模糊化。这说明,添加成核剂 A 后对 PBT 结晶性能影响很大,随着不断加大成核剂 A 的加入量后, PBT 的结晶性能反而变差,这也与热变形温度的变化趋势一致。图 4b 为添加了不同含量成核剂 B 后的 XRD 图谱。从图中可以看出,随着成核剂 B 含量的增加,当添加量为 1% 时,谱图中衍射峰强度相对更强,峰宽更窄,峰型更加尖锐,说明添加适当量的成核剂 B 后会使得 PBT 的结晶性能变好,结晶度增加,且晶粒更完整,因而使得耐热性能提高。图 4c 为添加不同含量成核剂 C 后的 XRD 图谱。从图中可知,随着成核剂 C 含量的增加,衍射峰强度增强,峰变得尖锐,非晶区减少,晶区增加, PBT 的结晶性能变好,因而其热变形温度升高,耐热性变好。

综合以上结果可知,当添加 15% 的成核剂 C 时, PBT 的热变形温度提高到 113.1℃,但仍未达到实际使用要求。考虑到 15% 的含量已经相对较大,如果继续加入成核剂 C 会使 PBT 的加工造成困难,因而在加入成核剂 C 的基础上,复配其它成核剂,以其进一步提高耐热性从而满足高温消毒的要求。

2.4 复合成核剂对 PBT 性能的影响

图 5 是加入复合成核剂(含量为 16%,成核剂 B:C=1:10)后 PBT 的热变形温度及 XRD 图谱。

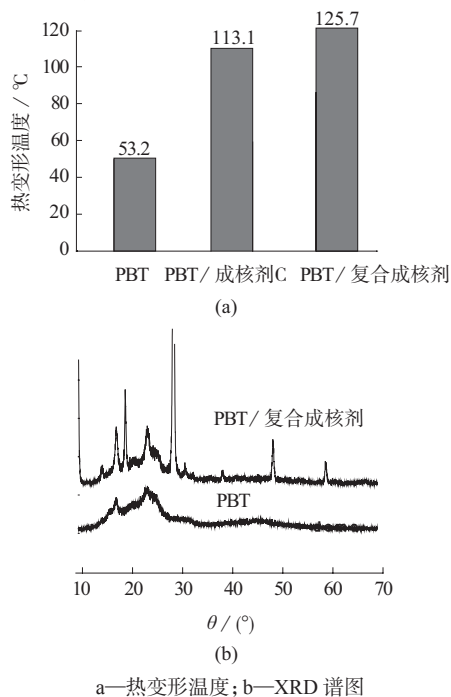


图 5 加入复合成核剂后 PBT 的热变形温度及 XRD 图谱

图 5a 是加入复合成核剂(成核剂 B+成核剂 C)后 PBT 的热变形温度。从图中结果可知,在加入复合成核剂后, PBT 的热变形温度提高到 125.7℃,高于单独使用成核剂 C 时的热变形温度(113.1℃),表明成核剂 B 和成核剂 C 对 PBT 的成核有协同效应。图 5b 是加入复合成核剂后 PBT 的 XRD 谱图和纯 PBT 的 XRD 图谱比较。从图 5b 中看出,加入了复合成核剂,使 PBT 的衍射峰强度变大,峰变得尖锐,非晶区减少,结晶区增大, PBT 的结晶性能改善明显,从而有效提高了 PBT/复合成核剂材料的耐热性。

图 6 是纯 PBT 和 PBT/复合成核剂(成核剂 B+成核剂 C)材料降温段及二次升温段的 DSC 图。表 7 详细列出了相应的结晶开始温度(T_{onset})、结晶结束温度(T_{end}),以及结晶峰出现温度(T_p)。

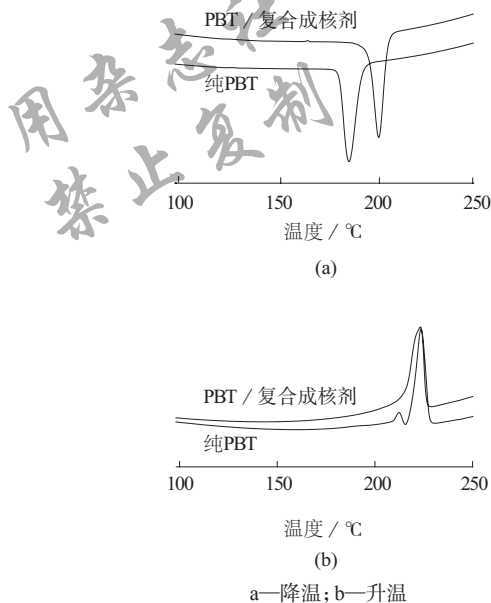


图 6 加入复合成核剂后 PBT 的 DSC 曲线

表 7 DSC 降温段数据

物质	T_{onset}	T_{end}	T_p	$T_{onset-Tend}$
纯 PBT	193.79	182.85	187.85	11.12
PBT/复合成核剂材料	207.12	197.75	202.77	9.37

从上述结果可以看出,加入复合成核剂后,结晶开始温度和结晶峰出现温度,都向高温方向移动,也就是加入复合成核剂后, PBT 可以在较高温度下结晶,说明复合成核剂的加入使结晶对于温度的要求更低了,因而使 PBT 的耐热性变好。图 6b 是 DSC 扫描二次升温段。从图中可以看出,纯 PBT 在升温段,熔融峰前面还有一个小的结晶峰,这是由于纯 PBT 结晶不完善,当温度升高到一定值时,发生重结晶,重结晶和熔融同时进行,所以形成了两个

峰。而加入了成核剂后,PBT 的结晶完善,在升温阶段只出现一个熔融峰。加入复合成核剂使 PBT 结晶性能变好,耐热性能提高。加入这种复合成核剂后,PBT 的热变形温度提高到 125.7℃,离目标值很接近。考虑到加工过程中,注塑的时间较短,PBT 结晶时间不够,所以考虑用热处理方法来使 PBT 结晶更完善。

图 7 是纯 PBT 和 PBT/复合成核剂材料分别在 120℃,150℃,180℃下热处理 2 h 后得到的热变形温度。从图 7 中结果可以看到,经过 120℃处理后,PBT/复合成核剂材料的热变形温度升高到 139.9℃,达到高温湿热法消毒的要求。经过 150℃处理后 PBT/复合成核剂样条的热变形温度达到 156.2℃;经过 180℃处理的 PBT/复合成核剂样条的热变形温度达到 165.3℃。而纯 PBT 样条只有在 180℃热处理时,才达到大于 135℃,而在 120℃和 150℃下均低于 135℃。在实际应用中,考虑到成本问题,即使在 180℃热处理后,PBT 的耐热温度可以达到 135℃,相较于添加复合成核剂后的热变形温度(165.3℃)仍有很大的差距,对于控制成本及提升产品竞争力时十分不利,因此并不认为纯 PBT 热处理是一个可行而有效的方法。

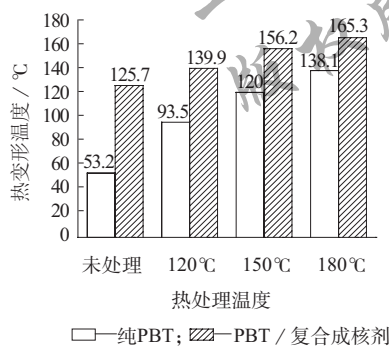


图 7 纯 PBT 和 PBT/复合成核剂材料热处理前后热变形温度

将上述 PBT/复合成核剂材料的原料进行注塑,制得口腔洁治器,照片如图 8 所示。

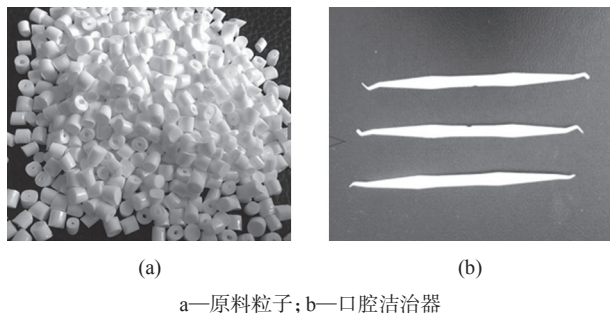


图 8 PBT/复合成核剂原料粒子及口腔洁治器实物图

将样条放在高压消毒锅的乙醇溶液中,在

135℃下保持 30 min,然后将样条取出,发现样条未变形;将样条干燥后,称其质量,并和未煮前进行比较,发现样条质量没减轻,说明样条的耐热性和耐溶剂性都很好。为了检验口腔洁治器的使用情况,在高压锅中反复乙醇消毒,70 次仍能保持良好性能。

3 结论

通过加入不同的成核剂改变了 PBT 的结晶性能,从而改变 PBT 的热性能。主要研究了三种成核剂对 PBT 力学性能、热变形温度以及结晶性能的影响,实验结果表明,成核剂 B 和 C 复配对 PBT 耐热性能的提高最有效,而热处理也能显著提高 PBT 的耐热性,可以得到热变形温度大于 150℃的制品,同时,对于通过加入复合成核剂且经过热处理制备的 PBT 样条进行高温高压蒸煮和耐溶剂实验,结果表明,该样条耐热性和耐溶剂性都很好。热处理可以提高 PBT 的耐热性能,且随着热处理温度升高,PBT 的耐热性能增加。PBT/复合成核剂材料的样品辅以 180℃热处理,热变形温度达到 165.3℃,且其耐热性和耐溶剂性都很好。使用热处理后的 PBT/复合成核剂材料所制备的口腔洁治器在高压锅中反复消毒 70 次后仍能正常使用。

参考文献

- [1] Kalkar A K, Deshpande A A. Kinetics of isothermal and non-isothermal crystallization of poly(butylene terephthalate) / liquid crystalline polymer blends[J]. Polymer Engineering & Science, 2001, 41 (9):1 597-1 615.
- [2] Yuai Mei, Huang Yajiang, Yang Qi, et al. Improved shape stability of nanosilica-filled PBT fibrils in PS matrix: Effects of accelerated crystallization and enhanced viscoelasticity[J]. Polymer, 2012, 53 (23):5 413-5 422.
- [3] Robeson L M, Furtak A B. Miscible blends of poly(butylene terephthalate) and the polyhydroxyether of bisphenol A[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1979, 23(3):645-659.
- [4] 达君,杨克斌,刘光耀. 我国 PBT 市场应用现状 [J]. 工程塑料应用, 2012, 40(7):93-96.
Da Jun, Yang Kebin, Liu Guangyao. Application actuality of PBT in China[J]. Engineering Plastic Application, 2012, 40(7):93-96.
- [5] 尹华,张师军,张薇,等. 热塑性聚酯工程塑料的进展 [J]. 合成树脂及塑料, 2002, 19(5):65-69.
Yin Hua, Zhang Shijun, Zhang Wei, et al. The progress of thermoplastic polyester plastic[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2002, 19(5):65-69.
- [6] 罗毅,肖勤莎. PBT 工程塑料及其发展趋势 [J]. 中国塑料, 1998, 12(1):9-14.
Luo Yi, Xiao Qinsha. Engineering plastic PBT and its developing trends[J]. China Plastics, 1998, 12(1):9-14.

- [7] Hong J S, Kim J L, Ahn K H, et al. Morphology development of PBT / PE blends during extrusion and its reflection on the rheological properties[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2005, 97(4):1 702-1 709.
- [8] 赵丽娟,丁建平,赖宇,等.聚对苯二甲酸丁二醇酯的发展现状[J]. 塑料工业,2010,38(12):1-3.
Zhao Lijuan, Ding Jianping, Lai Yu, et al. The development status of polybutylene terephthalate[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(12):1-3.
- [9] Leclair A, Favis B D. The role of interfacial contact in immiscible binary polymer blends and its influence on mechanical properties[J]. Polymer, 1996, 37 (21):4 723-4 728.
- [10] Poulouse A M, Piccarolo S, Carbone D, et al. Influence of plasticizers and cryogenic grinding on the high - cooling - rate solidification behavior of PBT / PET blends[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2015, 133(10): DOI:10.1002 / APP.43083.
- [11] Colomines G, Robin J J, Notinger P, et al. Synthesis of thermoplastic elastomers based on PET glycolysates: Study of their dielectric properties[J]. European Polymer Journal, 2009, 45(8):2 413-2 427.
- [12] Zhang Aimin, Zhao Guoquan, Guan Yanjin, et al. Study on mechanical and flow properties of acrylonitrile-butadiene-styrene / poly(methyl methacrylate) / nano-calcium carbonate composites[J]. Polymer Composites, 2010, 31(9):1 593-1 602.
- [13] 张腾,黄颖,林志勇.聚合条件对聚对苯二甲酸丁二醇酯性能的影响[J]. 化学工程与装备, 2013(7):15-17.
Zhang Teng, Huang Ying, Lin Zhiyong. Influence of polymerization conditions on the performance of poly-butylene terephthalate resin[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2013(7):15-17.
- [14] Lorenzo M L D, Righetti M C. Morphological analysis of poly(butylene terephthalate)spherulites during fusion[J]. Polymer Bulletin, 2004, 53(1):53-62.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200 ~ 300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3 ~ 8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 10 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆“工程塑料网”(http://www.epa1973.com),进入杂志社之页,点击“网上投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。