

文章编号：1008-9357(2018)06-0561-08

DOI：10.14133/j.cnki.1008-9357.20180409001

超快扫描量热法研究纳米 SiO_2 对聚丙烯在聚丙烯/聚苯乙烯共混物中受限结晶的影响

李红梅¹, 杨榕¹, 姜菁², 黄以能¹, 周东山^{1,2}

(1. 伊犁师范学院物理科学与技术学院, 新疆凝聚态相变与微结构实验室, 新疆 伊宁 835000;
2. 南京大学化学化工学院, 配位化学国家重点实验室, 南京 210023)

摘要：利用超快扫描量热仪(FSC)研究了聚丙烯(PP)在 PP/聚苯乙烯(PS)(质量比 20/80, 表示为 PP/PS(20/80), 其余类推)共混体系中的结晶动力学过程, 以及填充纳米二氧化硅($n\text{-SiO}_2$)后其结晶动力学的变化, 成功获得了各样品从玻璃化转变温度至熔点温度整个区间的等温结晶动力学曲线。研究表明: 在 PP/PS(20/80)共混物中 PP 以微米尺寸分散在 PS 主体中, 受限结晶现象导致其结晶速率下降一个数量级, $n\text{-SiO}_2$ 的引入使样品中异相成核位点增多, 同时减弱了两相界面上高分子链的受限作用, 使得 PP/PS/ $n\text{-SiO}_2$ (20/80/2)体系的总结晶速率相比 PP/PS(20/80)体系增大, 接近本体 PP 的结晶速率, 提高了不相容共混物 PP/PS 的力学性能。

关键词：聚丙烯; 受限结晶; 纳米颗粒; 超快扫描量热

中图分类号：O631

文献标志码：A

Effect of Nano- SiO_2 Addition on Confined Crystallization of PP in PP/PS Blends Characterized by Fast Scanning Calorimetry

LI Hong-mei¹, YANG Rong¹, JIANG Jing², HUANG Yi-neng¹, ZHOU Dong-shan^{1,2}

(1. Xinjiang Laboratory of Phase Transitions and Microstructures in Condensed Matter Physics, College of Physical Science and Technology, Yili Normal University, Yining 835000, Xinjiang, China;
2. State Key Laboratory of Coordination Chemistry, School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Isothermal crystallization kinetics of polypropylene (PP) confined in a polypropylene/polystyrene (PP/PS (20/80)) blend ($m(\text{PP})/m(\text{PS}) = 20/80$) was studied by fast scanning calorimetry (FSC) at a scanning rate up to 20 000 K/s over a wide temperature region from glass transition temperature to melting temperature. Due to the incompatibility, PP component was dispersed as micron droplets with an average size of 1 μm in the PS matrix. Confined crystallization of PP droplets was observed by conventional differential scanning calorimeter (DSC) with multiple crystallization peaks during cooling. After the addition of nano- SiO_2 particles, no obvious change of the confined crystallization behavior was observed by DSC. With the new technique, FSC, by studying the total crystallization rate of PP at several annealing temperatures, the confined crystallization behavior of PP component in immiscible PP/PS blends was investigated, and one order of magnitude decrease of the crystallization half time of PP was observed,

收稿日期: 2018-04-09

基金项目: 国家自然科学基金(21274059, 21474049, 51133002, 21274060)

作者简介: 李红梅(1992-), 女, 河南永城人, 硕士生, 主要研究方向为凝聚态相变、微结构及其动力学。E-mail: lhmei1020@qq.com

通信联系人: 姜菁, E-mail: juliejing@163.com; 周东山, E-mail: dzhou@nju.edu.cn

mainly due to the loss of heterogeneity in each PP droplet after dispersing in PS. By adding 2% mass fraction nano-SiO₂ particles in the blend, on one hand, more heterogeneous nucleation sites were introduced for PP component and the crystallization rate of PP was increased at higher temperatures where heterogeneous nucleation was dominating. On the other hand, some nano-SiO₂ particles were located at the interface between the continuous and dispersed phase, lowered the interfacial tension and increased the mobility of PP chains, thus increased the crystallization rate. From the isothermal crystallization kinetics of PP in PP/PS blends with and without nano-SiO₂, it was observed that the addition of nano-SiO₂ particles could partially suppress the confinement effect and increase the crystallization rate and crystallinity of PP in immiscible PP/PS blends, thereby improve the mechanical property of the blends.

Key words: polypropylene; confined crystallization; nano particles; fast scanning calorimetry

高分子共混物在各个领域均有广泛的应用,但是,由于绝大多数高分子共混物中的各组分之间是不相容的,简单地将多种高分子进行混合并不能够得到具有实际应用价值的材料。因此,提高共混物中各组分之间的相容性、控制相分离过程以及共混物的结构形貌,成为高分子共混加工领域的研究重点^[1-4]。目前常用的提高共混物中各组分之间相容性的方法主要有:(1)对高分子进行改性,在两组分间引入反应基团;(2)引入第三方介质作为增容剂;(3)形成互穿网络结构;(4)两组分高分子链间形成交联。其中,引入增容剂是目前提高共混物中的各组分之间相容性最有效的方法。增容剂的作用主要是降低共混物内分散相的特征尺寸,同时显著提高共混物中连续相和分散相之间的黏附力。向共混物中添加增容剂可以减弱两相之间的界面张力,抑制分散相的聚集,控制共混物内分散相的动力学及形貌^[5-11],从而提高共混物的物理性能^[12-14]。

过去,常用的增容剂通常为有机材料,包括嵌段共聚物及改性剂。近年来,越来越多的研究者提出以纳米颗粒作为新型的增容剂替代传统的有机增容剂,其中纳米填料如黏土^[15]、碳纳米管^[16-19]和纳米二氧化硅^[20-22]的理论研究和工业应用引起了人们的广泛兴趣。Entezam 等^[23]将黏土(clay)填充到聚丙烯/聚对苯二甲酸乙二酯(PP/PET)共混物中后证实,纳米黏土颗粒在基体相中的定位可使其混物拉伸模量显著增加。Zhang 等^[24]研究了 PP/聚苯乙烯(PS)共混物添加二氧化硅纳米粒子(n-SiO₂)后的相形态和性能变化,结果表明:少量纳米颗粒的加入可促使共混物两相间发生增容,并提出了相应的增容机理。Li 等^[20]研究了在亲水或疏水 n-SiO₂ 存在下 PP/PS 共混物的分级结晶行为,表明疏水性纳米颗粒在减小 PP 分散相的尺寸和促进其分级结晶行为方面更有效。

PP 和 PS 均是目前世界上广泛使用的高分子材料,它们的共混物是不相容共混物的典型实例。众所周知,对于含有结晶性组分(例如 PP)的共混物,其材料性能与其分散相复杂的结晶行为有着密切关系,在有利条件下,结晶性分散相的加入可以明显提高材料的力学性能,例如半结晶聚合物聚酰胺(PA)^[25]、等规聚丙烯(iPP)^[26]、聚氧乙烯(PEO)^[27]就可以作为分散相增加共混物材料的力学强度,以获得具有良好性能的新材料。当分散相尺寸减小到几微米甚至是纳米级时,分散相的数目与样品内异相成核位点数目相当或更多,一部分分散相内异相成核位点减少甚至缺失,从而导致明显的受限结晶现象。目前已证实多种结晶性聚合物的共混物中都存在受限结晶现象,通过添加纳米填料能够有效改善结晶性共混物的性能。本文以 PP/PS 共混物作为研究体系,研究 n-SiO₂ 对 PP 在共混物中受限结晶行为的影响。

现有对共混物中聚合物受限结晶行为的研究多依赖于差示扫描量热(DSC)技术、扫描电子显微镜(SEM)和原子力显微镜等结构表征技术。为了更直观准确地研究聚合物受限结晶的动力学过程,本文引入超快扫描量热(FSC)研究 PP/PS 共混物($m(\text{PP})/m(\text{PS})=20/80$, 表示为 PP/PS(20/80), 其余类推)以及加入亲水性 n-SiO₂ 的 PP/PS/n-SiO₂(20/80/2)共混物中 PP 的成核结晶过程,观察受限状态以及 n-SiO₂ 的加入对共混物总结晶速率的影响,并对受限效应及纳米颗粒的调控作用给出合理的推测。

1 实验部分

1.1 主要原料

PS: $M_w=1.92\times 10^5$, Aldrich 公司; PP: $M_n=1.66\times 10^5$, Aldrich 公司; n-SiO₂: 直径为 12 nm, Degussa

Corp 提供。

1.2 PP/PS(20/80)及 PP/PS/n-SiO₂(20/80/2)样品的制备

将所有材料在 60 ℃下真空干燥 8 h 后进行密炼共混。分别以质量配比 $m(\text{PP}) : m(\text{PS}) = 20 : 80$ 以及 $m(\text{PP}) : m(\text{PS}) : m(\text{n-SiO}_2) = 20 : 80 : 2$ 将原料加入到密炼机(哈克转矩流变仪:HAAKE PolyLabOS RheoDrive7)混合室中,转子转速为 50 r/min,在 200 ℃下复合 5 min 后分别制得共混样品 PP/PS(20/80)和 PP/PS/n-SiO₂(20/80/2)。

1.3 SEM 观测

将共混物样品放入液氮中进行淬冷后敲碎样品提供观察面,然后置于样品盘上,蒸镀厚度为 10 nm 的金,在 Hitachi S-4800 型扫描电子显微镜上进行样品形貌的表征,测试电压为 5.0 kV。

1.4 DSC 测试

在 Mettler Toledo DSC1 仪器上进行差示扫描量热测试,氮气气氛,测试前利用金属钢作为标准物对仪器的温度进行校正。测试样品质量为 5 mg 左右。在 280~450 K 以 10 K/min 的扫描速率进行升/降温扫描。

1.5 FSC 测试

在显微镜下将样品切成小片并用软铜丝转移到芯片传感器(XEN39395, Xensor Intergration)样品池上,由于 PP 的结晶速率比较快,首先使用不同的扫描速率(100, 500, 1 000, 5 000, 10 000, 20 000 K/s)对样品进行预扫,确定可以抑制 PP 结晶的扫描速率为 20 000 K/s。然后以此升/降温速率对样品的等温结晶动力学过程进行研究。具体温度程序设置如图 1 所示,样品以 20 000 K/s 的速率升至 470 K 消除热历史,再以同样的速率降至设定温度(240~400 K)进行等温结晶,等温时间由 0.001 s 逐渐递增至 600 s。最后以 20 000 K/s 降到 110 K 再升至 470 K,观察再升温曲线的熔融峰,从而确定样品在等温过程中的结晶程度,计算得出熔融焓,并根据 Avrami 方程拟合得到半结晶时间。

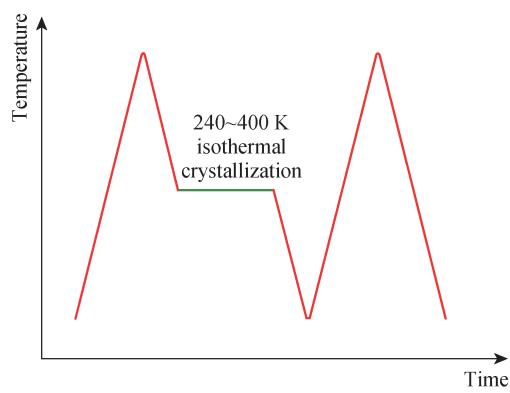


图 1 快速扫描量热仪温度-时间程序图

Fig. 1 Temperature-time profile of FSC

2 结果与讨论

2.1 共混物的 SEM 分析

图 2 所示为 PP/PS(20/80)和 PP/PS/n-SiO₂(20/80/2)共混物的 SEM 照片。两种样品均呈现“海-岛”结构,近球形的 PP 相分散在 PS 相中。加入了亲水性 n-SiO₂ 后,分散相 PP 的尺寸变化不大,通过对 SEM 图像中 PP 分散相的尺寸进行统计,得到 PP 在 PP/PS 体系中平均直径约为 $(0.9 \pm 0.3)\text{ nm}$,在 PP/PS/n-SiO₂ 中平均直径约为 $(0.8 \pm 0.4)\text{ nm}$ 。

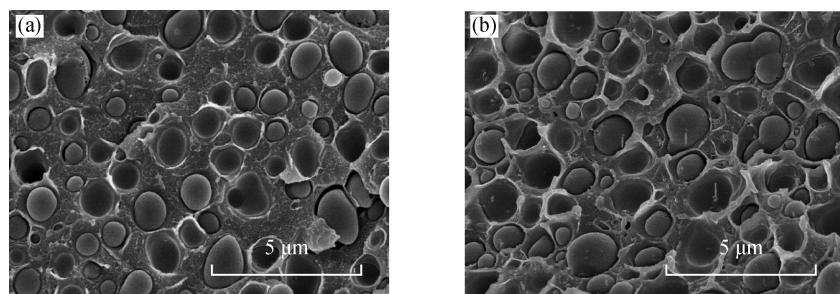


图 2 PP/PS (20/80)(a) 和 PP/PS/n-SiO₂(20/80/2)(b) 的 SEM 照片

Fig. 2 SEM images of PP/PS (20/80) (a) and PP/PS/n-SiO₂(20/80/2) (b)

2.2 DSC结果分析

图3所示为PP、PP/PS(20/80)和PP/PS/n-SiO₂(20/80/2)的结晶和熔融DSC曲线。由图3(a)中的降温曲线可以看到,PP本体的结晶温度为386 K,PP在PP/PS(20/80)中的结晶温度为376 K,在PP/PS/n-SiO₂(20/80/2)中为376 K。2种共混物样品均出现3个结晶峰,说明共混物内PP分散相出现了明显的受限结晶行为。由于PP分散相尺寸的减小,样品内异相成核位点数目与PP分散相数目相当或者更少,导致PP分散相内含有的异相成核位点类型和数目有所不同,使降温过程中出现了分级结晶的现象。图3(a)显示:386 K对应的结晶峰是由含有异相成核位点的PP分散相结晶产生的,而352 K和317 K对应的结晶峰分别由含有较不活跃的异相成核位点以及不含有异相成核位点的PP分散相结晶产生。加入n-SiO₂后,异相成核位点数增多,但是n-SiO₂与样品内原有的异相成核位点的能量有微小差别,因此在386 K结晶峰的附近,376 K左右出现了一个新的结晶峰,同时各结晶峰的温度均略微向低温方向偏移。

由图3(b)可见,添加n-SiO₂后共混物的结晶行为发生了细微的变化,但几乎不影响共混物的熔融行为,2种共混物样品均出现了383 K的PS玻璃化转变阶梯以及435 K的PP熔融峰。n-SiO₂对PP/PS共混物的熔融温度(T_m)和玻璃化转变温度(T_g)几乎没有影响的原因可能是n-SiO₂在共混物中诱导产生变化的是动力学过程而不是热力学过程^[27]。

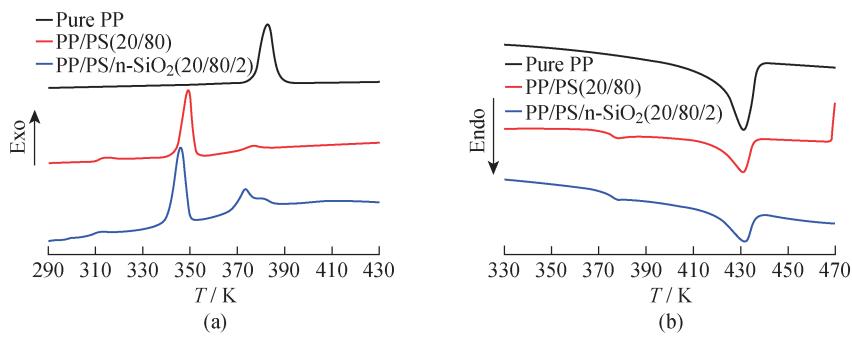


图3 样品的DSC降温曲线(a)和升温曲线(b)

Fig. 3 DSC curves of cooling (a) and heating (b) of samples

2.3 扫描速率的确定

以高速降温的方法抑制聚合物在降温过程中的成核结晶,从而获得完全开序的样品,是使用FSC准确地研究半结晶性聚合物等温结晶过程的关键,因此需要确定能够抑制结晶的临界扫描速率。图4所示是样品在扫描速率为20 000 K/s下的FSC曲线,从图中可以看到,以此扫描速率降温后,再进行升温的曲线上只观察到了PP的玻璃化转变,而没有冷结晶峰和熔融峰,说明20 000 K/s的扫描速率可以抑制PP在升降温过程中的成核结晶过程,得到完全无序的PP。另外在共混物中则同时观察到了PS的玻璃化转变阶梯,加入n-SiO₂对不相容两组分的 T_g 没有明显影响。本文以20 000 K/s为扫描速率进行后续等温结晶研究。

2.4 PP本体样品与分散相PP等温结晶动力学分析

图5所示为样品在20 000 K/s下的升/降溫速率下的热容曲线。如图5(a)所示,对于PP本体,随着等温时间的增加,玻璃化转变的阶梯逐渐降低,熔融峰逐渐增大,说明样品中有序的晶相在逐渐增多,而无定形相相应减少。虽然在较短等温时间内形成的晶体不稳定,但是在升温过程中不稳定的晶体逐渐转变为稳定的晶体,因此这些样品的热容曲线上出现了多个熔融峰;而较长时间等温结晶得到的晶体相对比较稳定,因此样品的曲线中只有一个熔融峰。

如图5(b)所示,PP/PS共混物与本体PP不同,曲线中的熔融峰的数量有所减少,在等温时间较短时基本得到的是单个熔融峰,熔融峰位置相对本体PP来说有所降低,等温600 s结晶基本完成后本体PP的熔点(T_{onset})为331 K,而PP/PS的则为322 K,降低了约9 K,这可能是由于当PP以微米尺寸分散于PS主体内

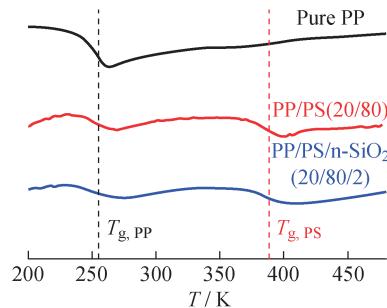


图4 样品在扫描速率为20 000 K/s下的FSC曲线

Fig. 4 FSC curves of samples at a scanning rate of 20 000 K/s

时,尺寸效应使片晶的生长受到影响,倾向于形成较小的晶体,同时也阻碍了晶体向更稳定的结构发生转变。

如图 5(c)所示,PP/PS/n-SiO₂ 与 PP/PS 样品相比,加入 n-SiO₂ 后,样品内引入了更多的异相成核位点,出现了冷结晶峰。当等温时间为 0.05 s 时,在等温过程中形成了一定的晶核,在升温过程中由于扫描速率不足以抑制这些晶核引发的晶体生长(对于本体 PP 和 PP/PS 共混物 20 000 K/s 足以抑制),在玻璃化转变阶梯之后出现了冷结晶峰(340 K 左右),并且在 380 K 左右发生熔融。随着等温时间的增加,等温过程中形成了一些晶体,冷结晶峰消失,而这些在 280 K 等温过程中形成的晶体相对不稳定,会在 340 K 左右熔融后再次结晶,并进一步在 380 K 左右熔融。

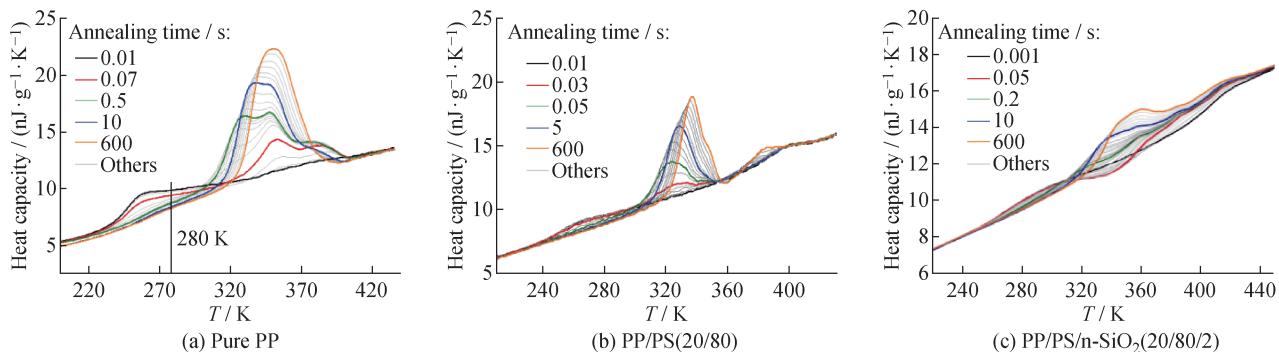


图 5 样品在 280 K 等温不同时间后的再升温曲线图(升温速率为 20 000 K/s)

Fig. 5 Curves of reheating temperature of the samples at 280 K isothermal for different time (scanning rate is 20 000 K/s)

对玻璃化转变温度到熔点之间的每个温度等温不同时间后再升温获得的热容曲线进行积分计算,可得总焓值(ΔH),将其对等温时间作图得到图 6。从图 6 中可以看到,随着等温温度的升高,总焓值的曲线首先向更短的时间方向移动,然后再向长时间方向移动。在高温段,链段运动速率较快,结晶速率受限于成核速率,等温温度降低,过冷度越大,成核速率越快,因此总结晶速率越快。当等温温度为 280 K 左右时,结晶速率达到最大值,由于热力学效应,在低温段高分子链段的运动变慢,晶体生长的速率降低,从而导致样品的总结晶速率也开始降低。另外对比 3 个样品在特定温度完全结晶后的熔融焓,可以看到 PP 在 PP/PS 共混体系中熔融焓有所降低,以等温温度为 300 K 为例,PP 本体完全结晶时的熔融焓为 15 J/g,而在共混体系中则只有 8 J/g,但是加入 n-SiO₂ 后,其相应值为 20 J/g 左右。

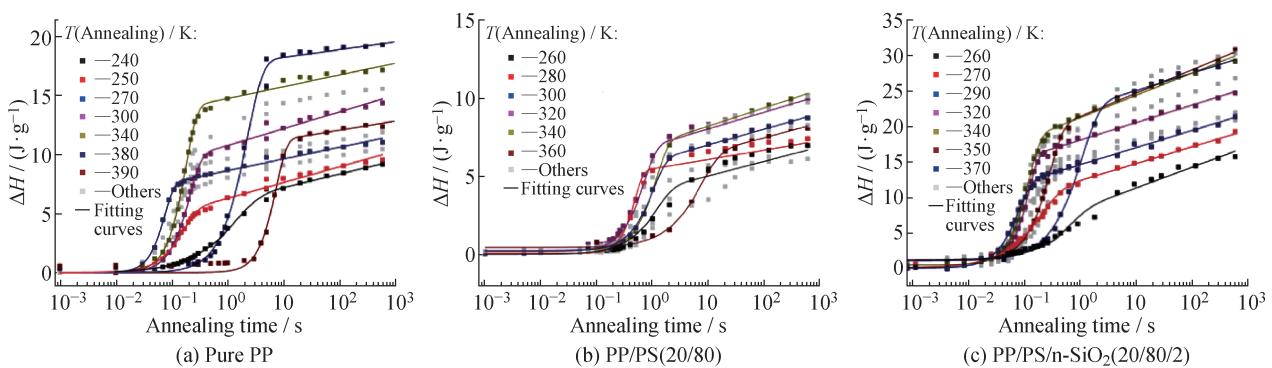


图 6 样品在不同温度下的总焓值与退火时间的关系曲线

Fig. 6 Enthalpy-annealing time curves of samples at different annealing temperatures

为了更好地比较 PP 样品在受限到微米级后整体结晶动力学的变化,进一步使用修正的 Kolmogorov-Johnson-Mehl-Avrami(KJMA)方程对图 6 中的每条曲线进行拟合,从而得出 $t_{1/2}$,KJMA 方程如下所示:

$$\Delta H = \Delta H_{\infty} \left(1 - \exp \left(- \left(\frac{t}{t_{1/2}} \ln 2 \right)^2 \right) \right) + A_2 (\ln t - \ln t_{1/2}) \left(\frac{1}{2} \left(\frac{|t - t_{1/2}|}{t - t_{1/2}} + 1 \right) \right)$$

其中 ΔH_{∞} 为初级结晶的总焓; A_2 为 2 次结晶参数。通过该方程式拟合得到的曲线如图 6 所示,可以较好地贴合数据。

将拟合得到的 $t_{1/2}$ 与等温温度作图得到图 7。图 7 显示了从 240 ~ 400 K, PP、PP/PS(20/80) 以及 PP/PS/n-SiO₂(20/80/2) 样品的整体结晶速率随温度的变化。在给定温度下, 结晶相的晶体结构和结晶速率随着结晶时间的变化主要取决于成核与晶体生长之间的相互作用。文献表明^[28-32], 均相成核温度与晶体生长温度区间的不同导致许多高分子材料的整体结晶速率曲线出现倒钟型双峰。在高温区, 结晶速率由样品中不可避免的异相成核控制, 而低温区则由样品的均相成核控制, 此时样品内的晶核数比异相成核位点多几个数量级, 双倒钟型曲线的 2 个峰值(最小半结晶时间)分别可对应于最大的成核速率和最大的晶体生长速率。图 7 中 3 种样品的整体结晶速率曲线均出现了明显的双峰, 当 PP 分散相以微米级尺寸分散在 PP/PS 共混体系中时, 结晶曲线整体上移, 总结晶速率降低。对于高温结晶区的样品, 结晶由异相成核控制, PP 在共混样品中变为多个微米尺寸的分散相, 每个 PP 分散相内的异相成核位点数大幅降低, 甚至可能出现无异相成核位点的 PP 分散相, 异相成核的作用被削弱, 从而很大程度上降低了 PP 的总结晶速率。而对于均相成核控制的低温区, 由于均相成核的晶核数目远大于异相成核, 异相成核位点的减少应该对结晶速率的影响不大, 但是由于自由表面的缺失, 特别是低温区, PP 以分散相形式被玻璃化的 PS 主体包覆, 在两相界面上受限的环境大幅阻碍了高分子链的运动, 从而减缓了成核以及晶体生长的速率, 因此在低温区 PP 样品总结晶速率大幅降低。根据李等^[20]报道, 亲水性的 n-SiO₂ 粒子倾向存在于 PP/PS 两相界面, 因此加入 n-SiO₂ 后, 一方面 PP/PS/n-SiO₂ 体系内异相成核位点增多, 部分消除了不相容共混物中分散相的受限效应, 另一方面减弱了界面对高分子链运动的阻碍, 使低温均相成核控制区的结晶速率大幅提高, 导致 PP/PS/n-SiO₂ 体系的总结晶率增大, 接近本体 PP 的结晶速率。

3 结 论

- (1) 在 PP/PS 共混体系中, 由于尺寸效应, PP 分散相内的异相成核位点减少甚至消失, 导致其整体结晶速率大幅下降。
- (2) 加入 n-SiO₂ 后, 体系内异相成核位点数增多, 且部分 n-SiO₂ 分散在两相的界面处, 局部消除了界面效应从而促进了界面处 PP 高分子链的运动, 提高了分散相的结晶能力, 导致 PP/PS/n-SiO₂ 体系的总结晶率增大。
- (3) n-SiO₂ 的加入提高了共混体系中结晶相的结晶度, 从而能够改善 PP/PS 不相容共混体系的力学性能。

参 考 文 献:

- [1] PAUL D R, NEWMAN S. Polymer Blends [M]. New York: Academic Press, 1978.
- [2] BOUDENNE A, IBOS L, CANDAU Y, et al. Handbook of Multiphase Polymer Systems [M]. Chichester UK: John Wiley and Sons, 2011.
- [3] UTRACKI L A, WILKIE C A. Polymer Blends Handbook [M]. Netherlands: Springer, 2014.
- [4] MACOSKO C W. Morphology development and control in immiscible polymer blends [J]. Macromolecular Symposia, 2000, 149(1): 171-184.
- [5] ELIAS L, FENOUILLOT F, MAJESTE J C, et al. Immiscible polymer blends stabilized with nano-silica particles: Rheology and effective interfacial tension [J]. Polymer, 2008, 49(20): 4378-4385.
- [6] TONG Wei, HUANG Yajiang, LIU Chenglei, et al. The morphology of immiscible PDMS/PIB blends filled with silica nanoparticles under shear flow [J]. Colloid and Polymer Science, 2010, 288(7): 753-760.

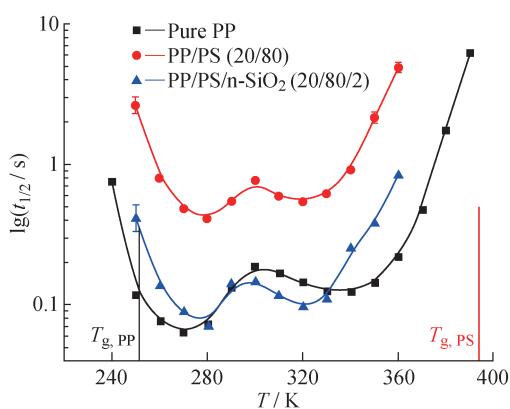


图 7 样品的等温结晶动力学示意图

Fig. 7 Schematic representation of isothermal crystallization kinetics of samples

- [7] KONG Miqu, HUANG Yajiang, CHEN Guangling, *et al.* Retarded relaxation and breakup of deformed PA6 droplets filled with nanosilica in PS matrix during annealing [J]. Polymer, 2011, 52(22): 5231-5236.
- [8] MEI Yuan, 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): 5413-5422.
- [9] NAGARKAR S P, VELANKAR S S. Morphology and rheology of ternary fluid-fluid-solid systems [J]. Soft Matter, 2012, 8(32): 8464-8477.
- [10] OGUNNIRAN E S, SADIKU R, RAY S S, *et al.* Effect of boehmite alumina nanofiller incorporation on the morphology and thermal properties of functionalized poly(propylene)/polyamide 12 blends [J]. Macromolecular Materials and Engineering, 2012, 297(3): 237-248.
- [11] ZHANG Meng, HUANG Yajiang, KONG Miqu, *et al.* Morphology and rheology of poly(*L*-lactide)/polystyrene blends filled with silica nanoparticles [J]. Journal of Materials Science, 2012, 47(3): 1339-1347.
- [12] WU Chunlei, ZHANG Mingqiu, RONG Minzhi, *et al.* Silica nanoparticles filled polypropylene: Effects of particle surface treatment, matrix ductility and particle species on mechanical performance of the composites [J]. Composites Science and Technology, 2005, 65(3/4): 635-645.
- [13] YANG Hong, ZHANG Xiaoqing, QU Cheng, *et al.* Largely improved toughness of PP/EPDM blends by adding nano-SiO₂ particles [J]. Polymer, 2007, 48(3): 860-869.
- [14] 陈涛, 李晓萱, 伍胜利. 水性聚氨酯-石墨烯纳米复合材料的等温结晶动力学 [J]. 功能高分子学报, 2015, 28(3): 313-318.
- [15] SALEHIYAN R, SONG H Y, KIM M, *et al.* Morphological evaluation of PP/PS blends filled with different types of clays by nonlinear rheological analysis [J]. Macromolecules, 2016, 49(8): 3148-3160.
- [16] NUZZO A, BILOTTI E, PEIJS T, *et al.* Nanoparticle-induced co-continuity in immiscible polymer blends: A comparative study on bio-based PLA-PA11 blends filled with organoclay, sepiolite, and carbon nanotubes [J]. Polymer, 2014, 55(19): 4908-4919.
- [17] WANG Li, GUO Zhaoxia, YU Jian. Effects of carbon nanotubes on the morphology and properties of uncompatibilized and maleic anhydride-grafted polypropylene-compatibilized polyamide6/polypropylene blends [J]. Journal of Macromolecular Science: Part B. Physics, 2014, 53(7): 1205-1221.
- [18] URIBE-CALDERON J, DIAZ-ARRIAGA C. The effects of carbon nanotubes, blend composition and glycidyl methacrylate-grafted polypropylene compatibilizer on the morphology, mechanical and electrical properties of polypropylene-polyamide 6 blends [J]. Polymer Bulletin, 2017, 74(5): 1573-1593.
- [19] 唐萍, 张荣, 陈志强, 等. 碳纳米管-聚乙烯复合材料的介电性能 [J]. 功能高分子学报, 2016, 29(3): 290-295.
- [20] LI Peng, HUANG Yajiang, KONG Miqu, *et al.* Fractionated crystallization and morphology of PP/PS blends in the presence of silica nanoparticles with different surface chemistries [J]. Colloid and Polymer Science, 2013, 291(7): 1693-1704.
- [21] SALEHIYAN R, SONG H Y, CHOI W J, *et al.* Characterization of effects of silica nanoparticles on (80/20) PP/PS blends via nonlinear rheological properties from fourier transform rheology [J]. Macromolecules, 2015, 48(13): 4669-4679.
- [22] PALACIOS J K, SANGRONIZ A, EGUIAZABAL J, *et al.* Tailoring the properties of PP/PA6 nanostructured blends by the addition of nanosilica and compatibilizer agents [J]. European Polymer Journal, 2016, 85: 532-552.
- [23] ENTEZAM M, KHONAKDAR H A, YOUSEFI A A, *et al.* On nanoclay localization in polypropylene/poly(ethylene terephthalate) blends: Correlation with thermal and mechanical properties [J]. Materials and Design, 2013, 45(6): 110-117.
- [24] ZHANG Qin, YANG Hong, FU Qiang. Kinetics-controlled compatibilization of immiscible polypropylene/polystyrene blends using nano-SiO₂ particles [J]. Polymer, 2004, 45(6): 1913-1922.
- [25] CÓRDOVA M E, LORENZO A T, MÜLLER A J, *et al.* The influence of blend morphology (co-continuous or sub-micrometer droplets dispersions) on the nucleation and crystallization kinetics of double crystalline polyethylene/polyamide blends prepared by reactive extrusion [J]. Macromolecular Chemistry Physics, 2011, 212(13): 1335-1350.
- [26] ABDOUSS M, SANJANI N S, AZIZINEJAD F, *et al.* Effects of compatibilization of oxidized polypropylene on PP blends of PP/PA6 and PP/talc [J]. Journal Applied Polymer Science, 2004, 92(5): 2871-2883.
- [27] WANG Haopeng, KEUM J K, HILTNER A, *et al.* Impact of nanoscale confinement on crystal orientation of poly(ethylene oxide) [J]. Macromolecular Rapid Communications, 2010, 31(4): 356-361.

- [28] ZHURAVLEV E, SCHMELZER J W P, ABYZOV A S, et al. Experimental test of tammann's nuclei development approach in crystallization of macromolecules [J]. Crystal Growth and Design, 2015, 15(2): 786-798.
- [29] MOLLOVA A, ANDROSCH R, MILEVA D, et al. Effect of supercooling on crystallization of polyamide11 [J]. Macromolecules, 2013, 46(3): 828-835.
- [30] SANTIS D F, ADAMOVSKY S, TITOMANLIO G, et al. Isothermal nanocalorimetry of isotactic polypropylene [J]. Macromolecules, 2007, 40(25): 9026-9031.
- [31] PYDA M, NOWAK-PYDA E, HEEG J, et al. Melting and crystallization of poly (butylene terephthalate) by temperature-modulated and superfast calorimetry [J]. Journal of Polymer Science: Part B. Polymer Physics, 2006, 44 (9): 1364-1377.
- [32] ZHURAVLEV E, SCHMELZER J W P, WUNDERLICH B, et al. Kinetics of nucleation and crystallization in poly (epsilon-caprolactone) (PCL) [J]. Polymer, 2011, 52(9): 1983-1997.

~~~~~

## 2018 年全国高分子材料科学与工程研讨会新闻通稿

2018 年 10 月 23~27 日,由中国化学会、中国机械工程学会、中国材料研究学会共同主办,由浙江工业大学材料科学与工程学院和清华大学化学工程系联合承办的“2018 年全国高分子材料科学与工程研讨会”在浙江杭州举行。此次会议共有来自全国 231 所大学、科研院所和企业等 1 000 余名代表参加。

本次大会不仅邀请了在高分子材料研究领域成就卓著的学者和近年来异军突起、成果显著的青年才俊,还邀请了浙江省内高分子产业 11 家龙头企业技术负责人与参会代表进行广泛深入的技术交流与对接。

大会共征集论文 697 篇,包括大会邀请报告 4 个、分会邀请报告 59 个、口头报告 256 个,另外还有 378 个墙报。会议共设 8 个大类主题,交流内容包括:高分子材料合成和组装、高分子材料结构和性能、高分子材料加工成型与产业化、聚合物共混复合及纳米复合材料、生物医用高分子材料、光电功能和能源高分子材料、天然/环境友好高分子材料和高分子材料表征及新仪器新装备等。同时,为了突出大会产学研的宗旨,本次大会特别组织了产学研论坛分会场。4 位大会报告邀请人就高分子材料科学与工程的前沿进展作了极富前瞻性的报告:四川大学王玉忠院士作了题为“可循环的生物降解高分子材料”的报告;浙江工业大学校长李小年教授作了题为“氯乙烯合成催化剂技术现状与展望”的报告;中国科学院马光辉研究员作了题为“均一微球和胶囊:设计、制备和生物应用”的报告;中山大学的章明秋教授作了“基于可逆共价化学的高分子材料本征自修复及其发展”的报告。此次会议交流的多数报告和墙报都具有很高的学术价值,不仅充分展示了国内高分子材料科学与工程相关领域研究的最新进展和水平,也让参会代表得到了重要启迪,受到了各位代表的热烈欢迎。本次大会还有 12 位同学获得优秀墙报奖。会议期间,代表们通过广泛的学术交流,不仅取得了很大的收获,还展现了严肃认真、民主活跃的良好会风。会议完全达到了增进学术交流、加深相互了解、增加同仁友谊的办会目的。

本次大会是目前为止规模最大的一次会议。东道主浙江工业大学材料科学与工程学院为大会的成功召开付出了辛勤的劳动,他们专业的态度和大量细致的准备工作确保了本次大会的顺利召开,热忱服务与奉献精神保证了大会圆满、高效的进行;志愿者的认真工作和敬业负责也得到与会代表的一致好评。

本次大会组委会全体委员投票决定,2020 年全国高分子材料科学与工程研讨会将在海口举行,承办单位为海南大学。