

剪切作用下 PA1010/PP 共混物的形态与性能研究^{*}

杨风霞^{1,2} 周成娟² 杜荣昵² 杨静晖² 傅 强² 苏 润² 张 琴^{2**}

(¹河南科技学院化学化工学院 新乡 453003)

(²四川大学高分子科学与工程学院 高分子材料工程国家重点实验室 成都 610065)

摘 要 通过动态保压注射成型方法制备了聚酰胺 1010/聚丙烯 (PA1010/PP) 共混物,并研究了形态与性能的关系.力学性能测试结果表明在熔体冷却过程中施加剪切可以大大提高共混物的拉伸强度、拉伸模量和缺口冲击强度,当 PP 的质量分数为 20% 时,共混物的缺口冲击强度达到 21.3 kJ/m²,是静态样的 3 倍多,拉伸强度达到 50.9 MPa,是静态样的 1.5 倍.扫描电镜 (SEM) 结果表明在动态保压样的横断面可以观察到剪切诱导的形态,中间是芯层,围绕着芯层的是剪切层,最外面是皮层,相区尺寸显著减小、分散相分散更趋均匀,特别是 PP 的质量分数为 20% 时,相区尺寸从原来的约 3.9 μm 降低到约 1.4 μm . 动态保压样机械性能的提高归因于剪切作用下独特相形态的形成,分子链沿流动方向的取向是拉伸强度提高的主要原因,而剪切使分散相颗粒变小和剪切层中分子链的取向是冲击强度提高的主要原因.

关键词 PA1010/PP 共混物, 剪切, 增韧机理, 相形态

聚合物共混物为得到高性能的新材料提供了广阔的空间,在科学技术领域的应用日趋重要,因此,近年来关于二元聚合物共混的研究明显增加^[1]. 聚酰胺 (PA) 是一种重要的热塑性工程塑料,其中的 PA1010 为我国特有,具有强度高、弹性好、耐磨、自润滑性好、表面硬度高等特点,可代替铜等有色金属制作齿轮、轴承、泵叶及其他零件,广泛用于军工、机械、交通、仪器仪表等工业部门,但其缺点是吸水率高、尺寸稳定性差、价格高,使应用受到了一定的限制. 聚丙烯 (PP) 是一种广泛使用的通用塑料,加入 PP 可以降低 PA1010 的吸水率,增加绝缘性能、耐化学性,降低成本,提高 PA1010 的冲击强度. 但是由于 PA1010 和 PP 极性相差很大,直接把 PA1010 和 PP 共混很难得到好的分散,相区尺寸的大小和形状决定于几个因素:界面张力、剪切速率、两相黏度比和组成,合适的界面张力可以得到小的相区尺寸、强的界面粘接可以在两相间有效传递应力从而得到良好的机械性能^[2]. 对于这类共混物要求加入合适的增容剂来达到减小相区尺寸和增加两相界面粘接力的目的,我们前面的研究表明 POE-*g*-MAH (马来酸酐接枝乙烯-辛烯共聚物) 和乙烯-丙烯酸丁酯-甲基丙烯酸缩水甘油酯共聚物 (PTW) 是

PA1010/PP 的有效增容剂,少量加入可以大大提高共混物的冲击强度,但是这些增容剂的弹性体性质使共混物的拉伸强度和模量略有降低,PP-*g*-GMA^[3] (甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝聚丙烯)、PP-*g*-AA^[4] (丙烯酸接枝聚丙烯) 作为增容剂可以同时提高共混物的拉伸强度和冲击强度,但提高效果很有限. 当然,用弹性体作增容剂时,再同时加入无机纳米粒子,也可以达到拉伸和冲击强度同时提高的目的,但一方面提高比例很小,另一方面纳米粒子还要进行繁琐的处理,如果处理方法不当,强度和韧性不但不提高,反倒会降低^[5]. 因此研究如何增强增韧共混物是个永恒的话题.

近些年发现动态保压注射成型 (dynamic packing injection molding, 简称 DPIM) 技术是一种通过控制聚合物形态来提高机械性能的重要方法,这项技术的主要特点是,聚合物熔体在模具型腔冷却过程中,受到持续不断的剪切应力作用,通过这种外加的剪切应力场改变聚合物分子链在制品中的存在状态,从而改变材料的力学性能. 通过动态保压注射成型技术不仅可以控制基体的形态和取向结构,同时对分散相形态 also 具有很好的控制作用^[6]. 我们课题组利用动态保压成型技术在聚烯烃共混物形态控制方面作了大量工作,比如

^{*} 2009-07-24 收稿,2009-09-08 修稿;国家自然科学基金 (基金号 50533050, 50873063, 20874064) 资助项目; ** 通讯联系人, E-mail: qinzhang@scu.edu.cn

PP/LLDPE^[7], PP/HDPE^[8], PP/EPDM^[9,10] 和 HDPE/EVA^[11], 课题组还将动态保压成型技术成功用于 PA6/EPDM-g-MA, 通过控制分散相形态大大提高了共混物的冲击强度^[12], 本文的工作中, 我们将动态保压注射成型技术用于 PA1010/PP 体系, 希望得到高性能 PA1010/PP 共混物, 弄清在剪切作用下不相容共混物的形态演变与普通注射成型的区别, 更好地理解形态与性能的关系。

1 实验部分

1.1 实验材料

PA1010, 11 型, $\rho = 1.03 \sim 1.05 \text{ g/cm}^3$, 杜邦兴达(无锡)单丝有限公司; PP, T30S, $MI = 2.8 \text{ g/10min}$, 新疆独山子石化厂。

1.2 样品制备

使用前, 将 PA1010 与 PP 按照不同的质量比混合后在 90℃ 的真空烘箱中干燥 14 h, 然后在双螺杆挤出机(TSS J-25 型同向双螺杆挤出机, $L/D = 32$, $D = 25 \text{ mm}$)上熔融挤出, 挤出温度从料斗到机头依次为 185—195—200—210—220—205℃, 螺杆转速 121 r/min, 造粒后在 90℃ 的真空烘箱中干燥 14 h, 然后分别在相同的工艺条件下用动态保压和普通注射成型方法制备样条, 动态保压注射成型设备示意图见图 1^[12], 动态保压装置是依靠液压驱动的两个活塞在保压阶段以相同的频率向同一方向往复运动推动熔体在模腔中反复流动直至熔体完全冷却固化来实现的, 得到的是哑铃型多层取向的样条, 用动态保压和普通注塑得到的样件分别叫动态样(dynamic samples)和静态样(static samples), 动态保压成型工艺见表 1。

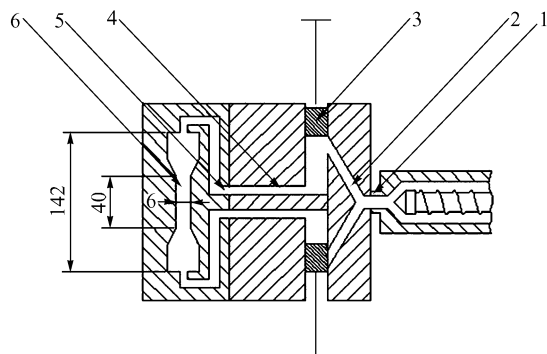


Fig. 1 The schematic representation of dynamic packing injection molding

1) Nozzle; 2) Sprue; 3) Piston; 4) Runner; 5) Connector; 6) Specimen

Table 1 Processing parameter in DPIM

Processing parameter	Parameter value
Injection pressure (MPa)	100
Packing pressure (MPa)	50
Melt temperature (°C)	220
Mold temperature (°C)	25
Dynamic packing pressure (MPa)	35
Dynamic packing frequency (Hz)	0.3

1.3 力学性能测试

拉伸样条在 CMT1104 万能试验机(深圳新三思)上按 GB/T1040-92 进行测试, 试验速度为 20 mm/min, 样条拉伸方向平行于剪切流动方向; 样条的中间部分(40 mm × 6 mm × 3.5 mm)用来作冲击测试, 在厚 3.5 mm 的试样侧面进行机械缺口加工, 缺口为 45°, 缺口深度为 1 mm, 剩余宽度为 5 mm, 缺口冲击样条在 UJ-40 型悬臂梁冲击试验机上按 GB/T1834-1996 测试, 测试温度为室温(23 ± 2)℃, 因试样测试有效尺寸不符合标准规范, 故测试结果仅作为对比参考使用。冲击方向垂直于剪切流动方向, 因有些样件韧性较好, 出现不完全断裂, 这种情况下, 计算冲击强度时扣除掉没有断裂部分面积只用断裂部分面积来计算。所有机械性能结果均按 5 ~ 8 根样条的平均值来计算。

1.4 形态观察

将注射样条在液氮中冷冻 1.5 ~ 2 h, 沿着垂直于剪切流动方向脆断, 断面喷金后用 FEI Inspect F 扫描电镜观察分散相形态并照相, 加速电压 20.0 kV。

1.5 示差扫描量热法(DSC)分析

采用 Perkin-Elmer DSC Pyris-1 型示差扫描量热仪对样品进行热分析, 钢为校准物, 试样量约 5 ~ 6 mg, N₂ 气氛, 试样从 50℃ 以 10 K/min 升温至 250℃, 记录升温曲线, 在测试中保留了加工中遗留的热历史以表征剪切场中的结晶结构。由于动态剪切样品具有明显的多层结构, 为了测试的准确, 样品将分别从剪切层和芯层选取, 而静态样仅从芯层选取(由于皮层所占比例很小, 对性能影响相对较小, 这里暂不考虑)。PA1010 和 PP 的结晶度 X_c 按下式计算

$$X_c(\%) = \frac{\Delta H_m}{\lambda \Delta H_{m,0}} \quad (1)$$

式中 ΔH_m 是共混物中聚合物的熔融焓, λ 是共混物中聚合物的质量分数, $\Delta H_{m,0}$ 是共混物中聚合物完全结晶的熔融焓, 其中 100% 结晶 PA1010 的 $\Delta H_{m,0} = 244 \text{ J/g}$ ^[13], 100% 结晶 PP 的 $\Delta H_{m,0} = 209$

J/g^[14].

2 结果与讨论

2.1 力学性能测试

图 2(A) 是 PA1010/PP 共混物静态样的应力-应变曲线,从曲线可以看出,当在 PA1010 中加入 10% PP 时,断裂伸长率从 118% 急剧降至 62%,当 PP 质量分数从 10% 增加到 20% 时,断裂伸长率也出现明显降低,随后,再继续增加 PP 含量,断裂伸长率降低缓慢. 图 2(B) 是 PA1010/PP 共混物动态样的应力-应变曲线,从曲线可以看出,动态样的断裂伸长率变化趋势与静态样相同,但数值却小于静态样. 造成这种差别主要归因于静态试样在拉伸过程中,分子链间进一步滑移,沿着拉伸应力方向取向排列,因而有足够的时间来传递和消耗载荷;而对于动态试样,在成型过程中,分子链已经沿着应力方向取向排列,在拉伸过程中,取向的分子链沿拉伸应力方向进一步重排的可能性降低,应力的作用只能导致聚合物分子链的断裂,因而动态试样的断裂伸长显著降低. 这种取向使强度增加,断裂伸长降低的实验现象已有大量报道. 从应力-应变曲线可以得到试样的拉伸模量与 PP 含量的关系,结果见图 3,从图 3 看出,动态样的拉伸模量较静态样有明显提高,表明通过剪切应力的作用,实现了材料刚度的改善. 从应力-应变曲线还可以得到试样的拉伸强度与 PP 含量的关系,结果见图 4,为了便于比较,我们将静态样和动态样的拉伸强度变化曲线画在一张图上,从图 4 可以发现,(1)对于静态样,随着 PP 含量的增加,拉伸强度逐渐降低,这个变化趋势和马桂秋等报道^[15]的相同,但除了加入 10% PP 时拉伸强度降低略大,再继续加入 PP,拉伸强度无明显变化,这个实验结果与张晓民等报道^[2]一致,与马桂秋等报道^[15]不一致. 加入不同含量 PP 拉伸强度变化不大,可能是由于 PA1010 和 PP 完全不相容的缘故;(2)在所有组成范围内动态样的拉伸强度均大于静态样,这是由于在动态样件中施加的剪切应力场引起分子链沿着流动方向的取向改变了聚合物的聚集态结构,材料内部大分子沿应力方向有序排列,在化学键能一定的情况下,材料的宏观强度得到大幅度的提高;关于剪切诱导取向问题本课题组已进行过大量研究^[16,17],本文不再详细叙述;(3)与静态样不同的是,动态样的拉伸强度随着 PP 含量的增加而明显降低,在

所研究的组成范围内,当 PP 含量达到 40% 时,达到最小值.

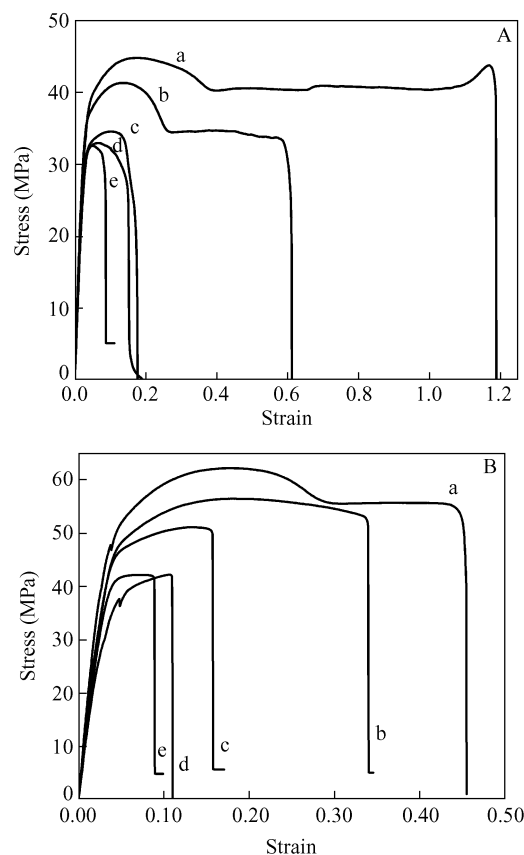


Fig. 2 The typical stress-strain curves of PA1010/PP blends

A) Static samples; B) Dynamic samples;

PA1010/PP = 100/0 (a), 90/10 (b), 80/20 (c), 70/30 (d), 60/40 (e)

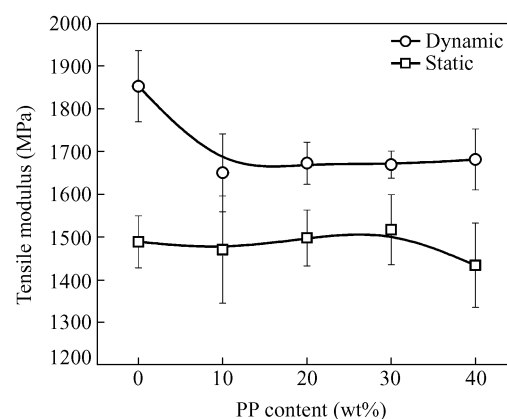


Fig. 3 The tensile modulus of PA1010/PP blends as the function of PP content

图 5 是 PP 含量对共混物缺口冲击强度的影响图,同样将静态样和动态样的冲击强度变化曲线画在一张图上,冲击方向垂直于剪切流动方向,

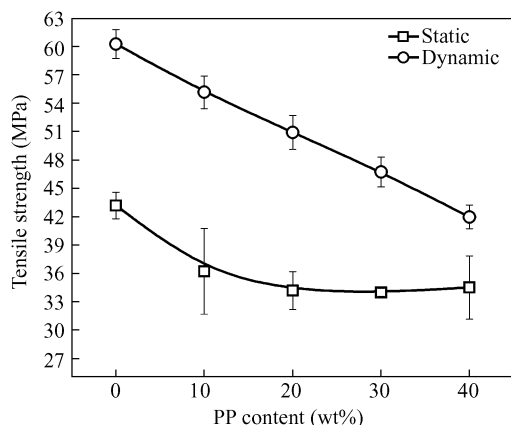


Fig. 4 The tensile strength of PA1010/PP blends as the function of PP content

从图上可以看出,对于纯 PA1010,无论是动态样还是静态样,缺口冲击强度值几乎一样,这个结果和纯 PA6 一致^[12],这说明对 PA 制品施加剪切无助于韧性的提高.从图 4 可以发现以下几点,(1)除了纯 PA1010 外,在所有组成范围内,动态样的缺口冲击强度数值均大于静态样;(2)对于静态样,当在 PA1010 基体中加入 10% PP 时,冲击强度略微降低,这个结果与张晓民等报道的^[2]一致.随着 PP 含量继续增加,冲击强度无明显变化,加入不同含量 PP 冲击强度变化不大,可能是由于 PA1010 和 PP 完全不相容的缘故;(3)对于动态样,随着 PP 含量的增加,冲击强度出现先增加后减小的变化趋势,当 PP 含量达到 20% 时,冲击强度达到极大值,表明这时在剪切应力作用下

相形态发生了改变,与静态样出现了明显不同.增韧机理将在下面结合 SEM 相形态和 DSC 热分析结果进行讨论.

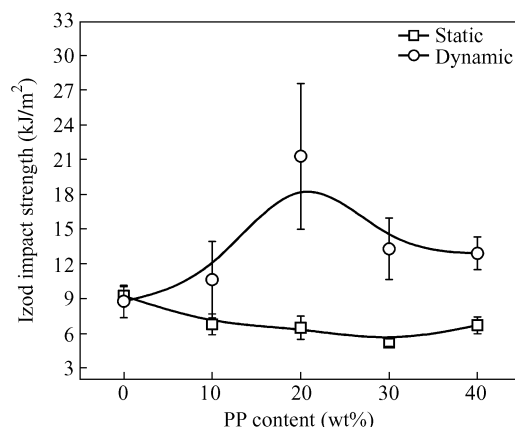


Fig. 5 The izod impact strength of PA1010/PP blends as the function of PP content

2.2 形态观察

图 6 是动态样和静态样在低放大倍数下垂直于流动方向的脆断面形态图,从图上可以看出,动态样与静态样明显不同,静态样只有皮层和芯层,而动态样分 3 层,即皮层、剪切层和芯层.所谓剪切层就是分子链的取向层,剪切层的存在正是动态样拉伸强度提高的原因.

图 7 是动态样和静态样在高放大倍数下垂直于流动方向的脆断面形态图,图 7(3)分别是不同组成下静态样芯层的相形态图,从图上可以看出,在 PP 含量小于 30% 时,呈海-岛状结构,这时 PP

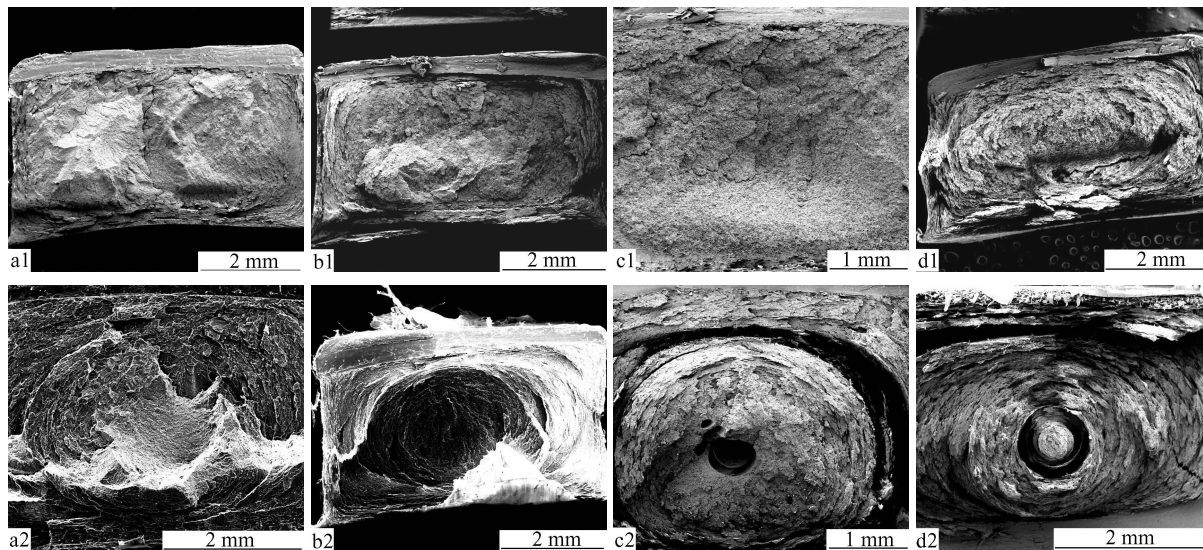


Fig. 6 The SEM photographs of cross-section of specimen obtained by different injection moldings
a) PA1010/PP = 90/10, b) PA1010/PP = 80/20, c) PA1010/PP = 70/30, d) PA1010/PP = 60/40;
1) Static specimens, 2) Dynamic specimens

是分散相,PA1010 是连续相,随着 PP 含量增加,相区尺寸逐渐增加($3 \sim 7 \mu\text{m}$),当 PP 含量达到 40% 时,不仅 PP 分散相的形状发生了大的改变,从球形变成了棒状,而且出现了“相中有相”的结构(见图中箭头所示),有点类似于双连续结构,在 PA1010/PP 的体积比为 50/50 时,马桂秋等^[15]等也观察到了“相中有相”结构的出现。

图 7(1)和 7(2)分别是动态样在不同组成下

剪切层和芯层垂直于流动方向的相形态图,对比静态样和动态样的形态,可以发现,(1)在 PP 含量小于 30% 时,动态样芯层与静态样一样呈海-岛状结构,但相区尺寸明显小于静态样;(2)对静态样芯层,随着 PP 含量从 10% 增加到 30%,相区尺寸越来越大;(3)对动态样芯层,当 PP 含量从 10% 增加到 20% 时,相区尺寸基本无变化,这就是冲击强度在此时出现极大值的原因,继续增加 PP

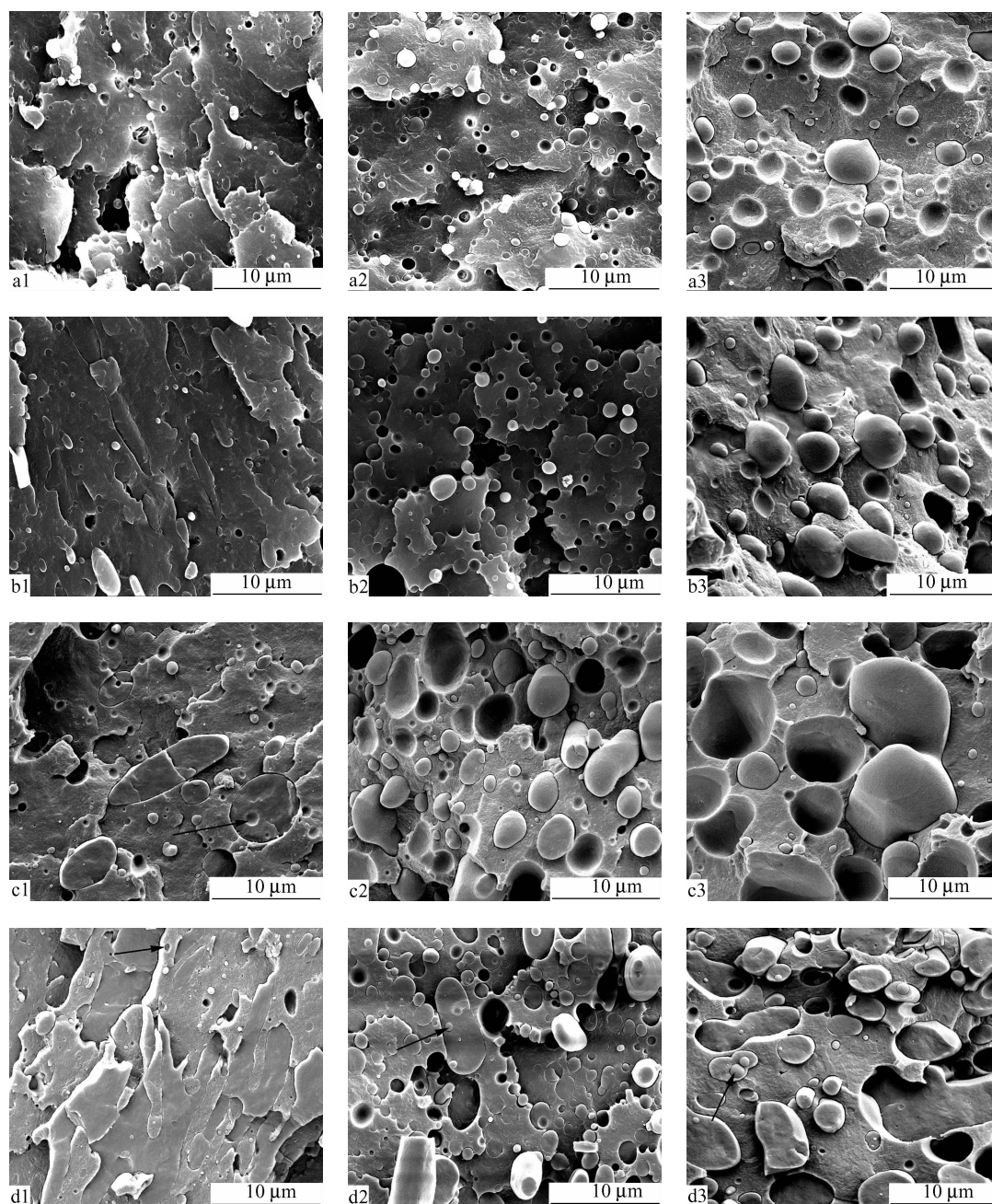


Fig. 7 The SEM photographs of cross-section of specimens obtained by different injection moldings ($\times 10,000$)

a) PA1010/PP = 90/10; b) PA1010/PP = 80/20; c) PA1010/PP = 70/30; d) PA1010/PP = 60/40;

1) are from the shear layer of dynamic specimens, respectively; 2) are from the core layer of dynamic specimens, respectively;

3) are from the core layer of static specimens, respectively.

含量,相区尺寸明显变大,当 PP 含量达到 40% 时,出现了与静态样相似的“相中有相”的结构(见图中箭头所示);(4)对动态样剪切层,分散相形态明显与芯层不同,除了 PP 含量 10% 时为球形或椭圆形外,PP 粒子都不再是球形,随着 PP 含量增加,PP 粒子变大、粗化,被拉长变形,“相中有相”的结构在 PP 含量 20% 时即出现,在含量达到 40% 时,出现明显的双连续结构,对应于动态样拉伸强度的最低值,而在静态或动态样的芯层,这时双连续结构还不明显,表明剪切有助于相转变提前出现.

2.3 DSC 分析

为了查看结晶对机械性能的影响,我们作了 DSC 实验,图 8 分别是不同组成下静态样、动态样芯层和剪切层的熔融曲线.从图上可以看出,(1)动态样和静态样并无明显不同,都有两个熔融峰,低温峰对应的是 PP 的熔融,高温峰对应的是 PA1010 的熔融,说明动态样中并无新晶型生成;(2)不管是动态样还是静态样、不管 PP 组成如何,我们发现 PA1010 和 PP 的熔点都没什么变化,说明剪切并没对晶片厚度产生影响.

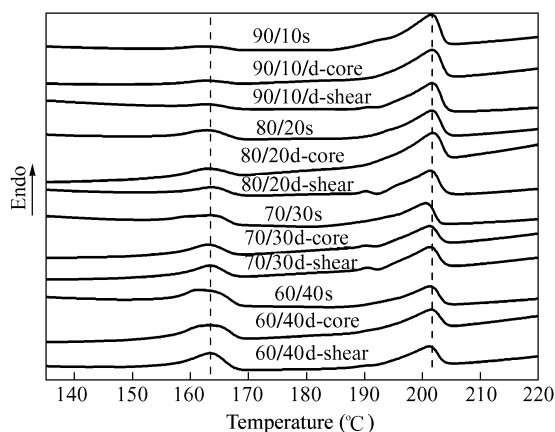


Fig. 8 DSC first melting curves of different PA1010/PP blends at different distances from the surface

由于结晶度也会对机械性能产生影响,为此我们作了动、静态样的结晶度随 PP 组成的变化曲线,如图 9 所示,从图上可以看出,(1)不管动态样还是静态样,PP 的结晶度都大于 PA1010,这表明在同样条件下,PP 比 PA1010 容易结晶;(2)不管是 PP 还是 PA1010,动态样和静态样的结晶度都没多大变化,这表明剪切对结晶度并没很大影响,因此结晶度并没对动态样机械性能的提高起主要作用;(3)不管是 PP 还是 PA1010、动态样

还是静态样,结晶度都没随 PP 组成发生多大变化,这表明动态样随着 PP 组成发生的机械性能变化主要作用也不在于结晶度.

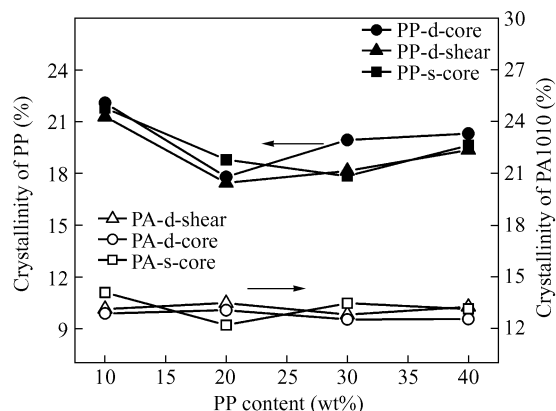


Fig. 9 The crystallinity of PA1010 and PP in different layers of PA1010/PP blends

由 DSC 分析可以得出,剪切并没诱导新晶型的产生,也没有使结晶度明显改变,因此对机械性能的改变不起主要作用.

2.4 增韧机理

由上面的实验结果可知,动态样件拉伸强度的提高归功于施加的剪切应力场引起分子链沿着流动方向的取向,关于剪切诱导取向引起拉伸强度提高问题本课题组已进行过大量研究^[16,17],本文不再详细叙述.

结晶度、熔点和晶体结构并没有对动态样冲击性能的提高作出主要贡献,因此动态样和静态样冲击强度的差别应归功于动、静态相形态的差别.对比静态样的相形态,动态保压注射成型对 PA1010/PP 共混物的相形态有两个影响,一个是导致了更小的分散相粒子尺寸,另一个是产生了沿剪切应力方向伸长取向的分散相粒子.熔体共混过程中,共混物的形态主要取决于流变性能、界面张力、混合条件以及组分的体积比.假设分散相粒子为牛顿性粒子,并被其它牛顿流体所包围,则在剪切应力或拉伸应力作用下,分散相粒子发生形变或取向,粒子形变的程度取决于两相黏度比 λ 和毛细作用参数 C_a :

$$\lambda = \eta_d / \eta_m \quad (1)$$

$$C_a = \eta \cdot \dot{\gamma} \cdot R / \sigma \quad (2)$$

上式中 η_d 和 η_m 分别为分散相和基体的粘度; $\dot{\gamma}$ 为剪切速率, R 为液滴半径, σ 为界面张力. $\eta \cdot \dot{\gamma}$ 为使粒子发生形变的应力, σ/R 为粒子抵制形变回复到初始形态的应力. C_a 越大,表明粒子在应力

作用下形变的几率越大^[6]. 对静态试样而言, 注射终止后, 粒子不再受到剪切应力的作用, 只有界面张力起作用, 因此注射过程中形变的粒子将恢复到初始形态即球形以降低界面能, 同时由于 PA1010 和 PP 的不相容性, 为了达到稳定状态, 会发生分散相合并变大来减小界面能, 所以静态样的相区尺寸粗大而不均匀, 且随着 PP 含量的增加逐渐变大, 粗大的相区尺寸使样件在受到冲击时容易产生应力集中、引发大裂纹, 且冲击能不能有效传递, 因此静态样的冲击强度很低.

常规注射成型只经历一次充模过程, 对于非牛顿流体来讲, 在矩形型腔中充模过程中剪切速率由以下公式计算:

$$\dot{\gamma} = \frac{3n+1}{4n} \cdot \frac{6Q}{WH^2} \quad (3)$$

上式中 $\dot{\gamma}$ 为型腔中的剪切速率; n 为塑料熔体的非牛顿指数; Q 为塑料熔体的体积流率; W 为型腔宽度; H 为型腔厚度.

对动态样品而言, 剪切应力场的引入, 使分散相粒子同时受到剪切应力和界面张力的作用, 动态保压注塑成型在充模后的保压过程中, 由液压油缸推动两个储料缸活塞以相同频率、相同方向在热流道板中进行反复推拉动作, 使塑料熔体反复在流道和型腔中流动. 活塞的每一次推拉都是一次充模流动过程, 都会使一部分熔料在冷的型腔壁上冻结, 流道因冻结层的不断加厚而变小, 因此流道宽度和厚度应看作在不断地减小, 由式 (3) 可知动态保压过程中剪切速率是在不断增大的, 同样黏度时剪切应力 τ 随着不断增加, 由式 (2) 知 C_a 也是不断变化的, 当 C_a 大于某一临界值 (由两相黏度比决定), 液滴就会在剪切作用下发生形变, 形变程度与界面张力和液滴尺寸有关. 当剪切应力 $\tau (= \eta \cdot \dot{\gamma})$ 等于形变阻力 σ/R 时, 被拉长的液滴将会在界面张力的作用下发生破碎成为尺寸较小的液滴, 当剪切应力大于界面张力时, 粒子将沿剪切应力方向形变取向, 所以动态样品会呈现形态各不相同的多层次结构, 如 SEM 图所示, 芯层是比静态样更小的球形粒子, 表明剪切起到了促进 PP 有效分散的作用, 因此在我们研究的组成范围内, 动态样的冲击强度都大于静态

样. 又由于分散相的平衡粒径与体积分数有关, 当 PP 含量为 10% 时, 剪切作用占上风, 所以动态样尺寸明显变小, 当 PP 含量为 20% 时, 由于分散相含量增多导致相分离的趋势和由于剪切诱导分散使分散相颗粒变小的趋势刚好达到平衡, 因此分散相尺寸仍然细小 (从原来的约 $3.9 \mu\text{m}$ 降到约 $1.4 \mu\text{m}$), 更多的细小粒子在受到冲击时引发更多数量的微小裂纹, 因此共混物的冲击强度明显增加, 继续增加 PP 含量, 相分离趋势占上风, 因此相区尺寸开始明显变大, 均匀性也降低, 因此冲击强度开始降低; 而剪切层除了 PP 含量 10% 时为球形或椭圆形外, 其它均呈变形拉长的棒状, 这是由于 σ/R 是粒子抵制形变恢复到初始形态的应力, 粒子尺寸越小, 越不易形变, 随着粒子尺寸增大, 形变能力增大, 由于剪切层分子链沿着流动方向取向, 而冲击方向垂直于剪切流动方向, 材料断裂时需要破坏取向的基体和分散相, 因此需要消耗更多的能量, 材料表现出较好的冲击韧性. 测试结果表明 PP 含量为 20% 时冲击强度最高, 而这时粒子的形变能力小于 PP 含量更高时的形变能力, 这表明动态样增韧的主要原因是比静态样更小的分散相粒子尺寸, 而分子链沿着流动方向的取向只是增韧的一个次要因素. 正是动态样在相形态上明显区别于静态样的特征导致了动态样韧性的提高.

3 结论

通过引入动态保压注射成型 (DPIM) 制备了 PA1010/PP 共混物, 发现 DPIM 中剪切作用的施加可以同时实现 PA1010/PP 共混物的增强、增韧, 当 PA1010/PP = 80/20 (质量比) 时, 材料的拉伸强度为静态样的 1.5 倍, 冲击强度为静态样的 3 倍多. DSC 结果表明剪切并没有诱导新晶型的生成, PA1010 和 PP 的熔点和结晶度也无明显变化, 因而结晶形态对材料的性能没有影响. 结合形态与性能的研究发现材料增强的原因在于分子链沿着流动方向的取向, 而增韧机理在于动态样芯层中更小的分散相粒子尺寸和剪切层中分子链的取向.

REFERENCES

- 1 Yan L T, Sheng J. *Polymer*, 2006, 47: 2894 ~ 2903
- 2 Zhang X M, Li X L, Wang D M, Yin Z H, Yin J H. *J Appli Polym Sci*, 1997, (64): 1489 ~ 1498
- 3 Zhang X M, Yin Z H, Na T H, Yin J H. *Polymer*, 1997, 38(24): 5905 ~ 5912
- 4 Zhang X M, Yin J H. *Polym Eng Sci*, 1997, 37(1): 197 ~ 204
- 5 Kusmono, Mohd Ishak, W. S. Chow, T. Takeichi, Rochmadi. *Composites: Part A*, 2008, 39: 1802 ~ 1814
- 6 Fu Qiang(傅强). *Injection Molded-Polyolefin(聚烯烃注射成型)*. Beijing(北京): Science Press(科学出版社), 2007
- 7 Wang Y, Na B, Fu Q, Men Y F. *Polymer*, 2004, 45: 207 ~ 215
- 8 Zhang G, Fu Q, Shen K Z, Li J, Wang Y. *J Appli Polym Sci*, 2002, 86: 58 ~ 63
- 9 Fu Q, Wang Y, Li Q J, Zhang G. *Macromol Mater Eng*, 2002, 287: 391 ~ 394
- 10 Wang Y, Fu Q, Li Q J, Zhang G. *J Polym Sci, Part B: Polym Phys*, 2002, 40: 2086 ~ 2097
- 11 Na B, Zhang Q, Fu Q, Zhang G, Shen K Z. *Polymer*, 2002, 43: 7367 ~ 7376
- 12 Wang C, Su J X, Li J, Yang H, Zhang Q, Du R N, Fu Q. *Polymer*, 2006, 47: 3197 ~ 3206
- 13 Li Y D, Ma Y Z, Yan F F, Cao S K. *J Appli Polym Science*, 2007, 106: 1535 ~ 1543
- 14 Wang W Z, Fu M Z, Qu B J. *Polym Adva Technol*, 2004, 15: 467 ~ 475
- 15 Ma Guiqiu(马桂秋), Lou Jie(娄杰), Zhang Dinghao(张丁浩), Sheng Jing(盛京). *Acta Polymer Sinica(高分子学报)*, 2008, (1): 18 ~ 26
- 16 Wang Y, Xiao Y, Zhang Q, Gao X L, Fu Q. *Polymer*, 2003, 44: 1469 ~ 1480
- 17 Li J, Zhang Q, Wang C, Yang H, Du R N, Fu Q. *Chinese J Polym Sci*, 2006, 24(4): 379 ~ 387

MORPHOLOGY AND MECHANICAL PROPERTIES OF PA1010/PP BLENDS OBTAINED VIA DYNAMIC PACKING INJECTION MOLDING

YANG Fengxia^{1,2}, ZHOU Chengjuan², DU Rongni², YANG Jinghui², FU Qiang², SU Run², ZHANG Qin²

(¹ School of Chemistry & Chemical Engineering, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003)

(² College of Polymer Science and Engineering, State Key Laboratory of Polymer Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065)

Abstract The effect of phase morphology on mechanical properties of the immiscible blends of PA1010/PP have been studied *via* dynamic packing injection molding (DPIM). The tensile strength, tensile modulus and notched impact strength were found largely increased by means of shear. When the content of PP was 20%, the izod impact strength of dynamic samples was 21.3 kJ/m², which was more than 3 times that for the static samples. The tensile strength of dynamic samples was 50.9 MPa when the content of PP was 20%, which was 1.5 times that for the static samples. SEM results showed that the shear-induced morphology with core in the center and shearing layer surrounding the core was observed in the cross-section areas of the specimens. SEM results also indicated a remarkably decrease of domain size and more uniform dispersion of the dynamic molded specimens, especially when the content of PP was 20%, the domain size decreased from about 3.9 μm to about 1.4 μm . The observed higher mechanical properties in dynamic samples could be due to the effect of phase morphology under shear stress. The tensile strength of dynamic samples is higher than that of static samples in the whole composition region due to the molecular orientation induced by shear stress in DPIM, and the toughening mechanism lies in shearing-induced smaller domain size and the molecular orientation induced by shear stress in DPIM.

Keywords PA1010/PP blends, Shear, Toughing mechanism, Morphology