

聚合物气辅共注成型工艺的实验研究^{*}

周国发 孙 惊 钟序光

(南昌大学环境科学与工程学院,南昌 330031)

摘要 针对气辅共注成型中多相分层流动存在着各分层界面应力间的相互耦合,使得其成型过程具有特殊的流动输运规律和动力学特征,对气辅共注成型工艺进行了系统的实验研究。通过实验研究了熔体注射温度、气体填充量和气体延迟时间3种工艺参数对气辅共注成型的影响规律,并在此基础上通过理论分析揭示了工艺参数对气辅共注成型的影响机理。

关键词 气辅共注成型 过程参数 影响机理 实验研究

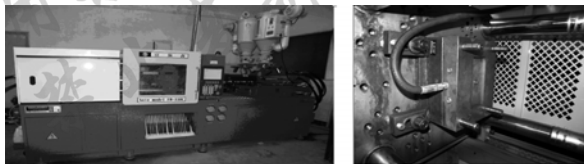
气辅共注成型是将共注成型工艺和气辅成型工艺相结合的一种新型成型技术。其工艺是先由共注成型机在模具型腔内填充部分芯壳层熔体,再由气辅装置注入高压氮气使熔体充满整个型腔并保压,最终制成中空的壳芯层多层复合结构制品。气辅共注成型是近几年才发展起来的聚合物成型技术,几乎整合了气辅成型和共注成型的所有特性,既具有实现制品轻量化、减小注塑压力、缩短冷却时间、节能、减小翘曲、防止凹陷、简化零件、缩短成型周期、减小注塑机锁模力等气辅成型的优点,又具有提升制品质量、触感、外观、色彩、降低成本和增进特殊功能(如电磁遮蔽等)等共注成型的优点^[1-4],因此气辅共注成型在汽车、电子、包装、家具等行业具有远大的发展前景。

气辅共注成型是一种先进的聚合物成型工艺,是一种融合共注成型和气辅成型优点,能生产高性能、低成本制品的环境友好成型技术,最有希望成为解决未来重大工程材料问题的成型技术。然而迄今为止国内外有关气辅共注成型的研究报道却极为罕见。基于气辅共注成型技术的先进性与研究缺乏这一突出矛盾,笔者对气辅共注成型工艺进行了系统的实验研究。

1 实验材料、设备及实验方法

分别采用中国石油吉林石化公司产 ABS(牌号为 0215A)、中国石油抚顺石化公司产线性低密度聚乙烯(LLDPE,牌号 2911)及中国石化上海石油化工股份有限公司产低密度聚乙烯(LDPE,牌号为 Q281)为芯层熔体,并加入绿色色母料,采用中国石化独山子石化公司产透明聚丙烯(PP,牌号为 T30s)为壳层熔体,采用高压氮气作为填充气体(该气体惰性较好,在高温下不会影响熔体成型),进行了气辅共注成型的实验研究。

利用台湾富强鑫公司产 FB110-C 型共注成型机和自制的辅助注气系统建立了气辅共注成型工艺实验装置(见图1)。所用模具为 150 mm ×60 mm ×10 mm 的矩形结构,浇注口设置在定模上,熔体通过浇注口注入型腔,气针装在动模上,当芯壳层熔体充填完毕之后,氮体可以通过气针充入型腔。



(a) (b)

a—共注成型机; b—气辅注气模

图1 气辅共注成型实验装置

本实验采用顺序注射成型工艺,先由共注成型机成型出壳层熔体包裹芯层熔体的夹层结构,再往芯层熔体内吹入气体,最终形成壳层熔体包裹芯层熔体、芯层熔体又被气体掏空的中空夹层的气辅共注成型制品。图2和图3分别为气辅共注成型工艺示意图及其成型制品。

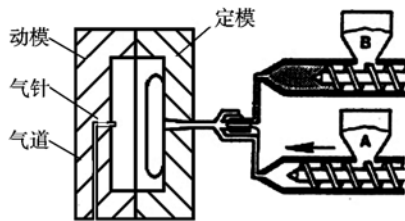
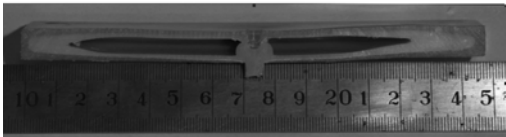


图2 气辅共注成型工艺示意图

如图2所示,A螺杆中充填ABS熔体以成型芯层,B螺杆中充填PP熔体以成型壳层,实验时先注射壳层熔体PP。从图3可以看到熔体层间的结

^{*} 国家自然科学基金资助项目(20274016)

构, 芯层熔体在厚度方向分布较均匀, 气腔在中心位置较大, 而在制品的宽度和长度方向上, 在一定范围内尺寸较均匀, 但在边缘渐渐变窄, 越靠近边缘气腔越窄而形成尖刀状, 这是气体保压时形成的二次穿透形貌。



(a)



(b)

a—纵剖面; b—横截面

图 3 气辅共注成型制品

2 结果与分析

2.1 芯层熔体温度对气辅共注成型的影响

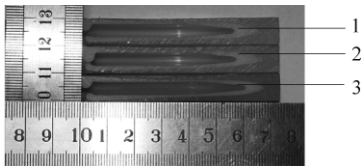
表 1 列出以 ABS 为芯层熔体(由于 ABS 本身为白色, 故不对它着色), PP 为壳层熔体, 所用气体为高压氮气, 进行气辅共注成型的实验条件。一般说来, 温度对聚合物熔体的流变性能有着重要影响, 可通过改变共注成型机上 A 螺杆芯层熔体的注射温度来研究芯层熔体的注射温度对成型过程的影响。由于 PP 料透明, 从外表面可以直接看到芯层熔体形貌, 但是却无法观察芯层内气腔的形貌, 为此, 必须对制品进行解剖才能看到气腔和芯层熔体的穿透形貌。实验中对制品采用纵横向解剖, 以此来分析气体在深度、宽度和厚度方向的穿透情况。由于制品具有对称性, 取其中一半进行解剖即可。纵向沿对称面解剖, 而横向每 10 mm 切一刀。

表 1 气辅共注成型实验条件

项 目	芯层 A(ABS)	壳层 B(PP)
注射温度 /℃	变化	210
注塑压力 /MPa	5.5	5.0
注射速率 / $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	18.3	15.9
注射时间 /s	7.0	7.0
熔体注射量(行程) /mm	47	97
延迟时间 /s	0	
保压时间 /s	0	60
保压压力 /MPa	0	0.6

图 4 是不同温度下得到的气体穿透深度实验结果。由图 4 可知, 芯层熔体温度对气辅共注成型的影响主要体现在气腔的变化上, 对芯层熔体的分布影响不明显, 3 个温度下芯层熔体的穿透深度和宽

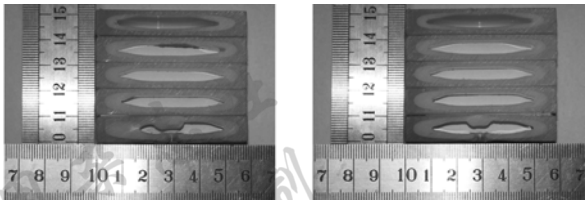
度大致相同, 但是气腔却发生变化。



1—250℃; 2—210℃; 3—180℃

图 4 不同芯层熔体温度对气体穿透深度的影响

图 5 是在 210℃ 和 250℃ 下气腔宽度和厚度在长度方向上的变化情况。从图 5 可以看到, 随着芯层熔体温度的升高, 芯层熔体的穿透深度几乎没有变化, 但是气体的穿透深度却随芯层温度的升高而减小。



(a) (b)

a—210℃; b—250℃

图 5 在 210℃ 和 250℃ 下气体穿透宽度和厚度变化

表 2 为不同芯层熔体温度对气体穿透影响的实验结果。其中气腔相对厚度是指某一个截面上气腔的厚度与制品的厚度之比。从测得的数据来看, 气腔的相对厚度随芯层温度的升高而增加, 在气腔穿透宽度方向上的变化趋势不够明显, 但总体而言, 气腔宽度也有增大的趋势。

表 2 不同芯层熔体温度对气体穿透的影响

芯层熔体温度 /℃	气体穿透深度 /mm	气腔平均宽度 /mm	气腔相对厚度 /mm
180	61.6	38.5	0.43
210	58.6	41.0	0.50
250	57.4	40.6	0.51

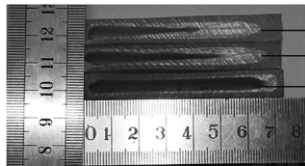
芯层熔体温度的变化主要体现在熔体流变性能的改变, 随着芯层熔体温度的升高, 芯层的熔体粘度会减小, 即熔体变“稀”, 流动过程中的阻力下降, 由于充气时每次的气体压力不变, 所以在温度较高时熔体流动阻力下降, 气体更容易推动熔体流动, 使熔体的横截面增大, 这样导致气腔的平均宽度和相对厚度都会有所增大; 另一方面, 由于气体所占体积一定, 推动熔体的横截面增大, 则必然会导致气体穿透深度变短。由此可见, 芯层熔体温度对气辅共注成型的影响主要体现在气腔的变化上。随着芯层熔体温度的升高, 气体的穿透深度减小, 而气体的穿透宽度和穿透厚度则增大。

2.2 气体填充量对气辅共注成型的影响

表3 列出改用 LLDPE 为芯层熔体并加入绿色色母料,壳层熔体仍采用 PP(T30s) 进行气辅共注成型的实验条件(其它条件与表 1 相同)。实验过程中通过控制芯壳层熔体的填充量来控制气体填充量的大小,由于型腔的体积一定,减小芯壳层熔体的填充量即可增大气体的填充量,可通过改变芯壳层熔体的填充量来改变气体的填充量。先固定芯壳层熔体比例,通过改变其填充量研究了不同气体填充量对气辅共注成型的影响。图 6 为气腔的穿透深度在不同气体填充量下的变化规律。图 7 则示出不同气体填充量下的气体穿透宽度和厚度的变化。

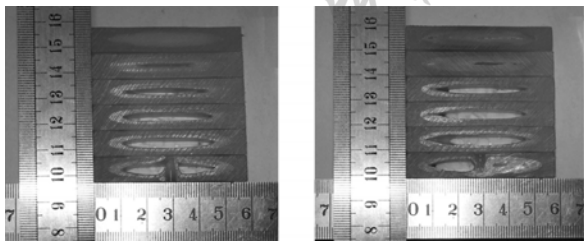
表 3 不同气体填充量的实验条件

项 目	参数值
芯层熔体注射温度/℃	190
壳层熔体注射温度/℃	210
气体填充体积分数/%	7、10、20

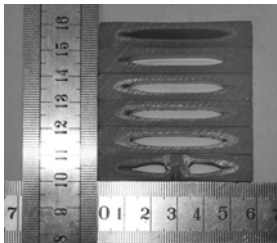


1—填充气体 7%(体积分数,下同); 2—填充气体 10%;
3—填充气体 20%

图 6 不同气体填充量对气辅共注成型气体穿透深度的影响



(a) (b)



(c)

a—填充气体 7%; b—填充气体 10%; c—填充气体 20%

图 7 不同气体填充量下的气体穿透宽度和厚度变化

由图 6 可知,随着气体填充量的增加,气体的穿透深度增大,而芯层熔体的前沿形貌在厚度方向由尖凸变得平坦,气腔的厚度分布趋于均匀。表 4 列出气腔平均尺寸的测量数据。综合图 6、图 7 和表 4

可知,随着气体填充量的增加,芯层熔体的穿透深度增大,且芯层熔体的前沿形貌由尖凸变得平坦,而气腔的体积增大,气体的穿透深度、宽度和厚度增加,且气体前沿在厚度方向也由尖凸变得平坦,气腔的厚度分布趋于均匀。

表 4 不同气体填充量对气辅共注成型的影响

气体填充体积分数/%	气体穿透深度/mm	气腔平均宽度/mm	气腔相对厚度/%	芯层熔体长度/mm
7	40.4	33.3	37	132.0
10	49.5	36.5	48	136.0
20	64.0	37.3	58	142.0

在气辅共注成型过程中,芯层熔体的界面形貌不仅受芯壳层熔体材料的影响,而且还受气体的影响。在芯壳层材料都不变的情况下,芯层熔体界面形貌主要受气体的影响。在气体填充量较小的情况下,气腔很小,在气体填充完毕之后的保压阶段,气体的二次穿透很明显,这时气体会继续穿透至芯层熔体,而且穿透的余地较大,同时芯层熔体仍然穿透壳层熔体,而且穿透出尖刀形状。当气体填充量增大(如增至 20%)时,芯壳层熔体填充量则减少,这时气体充入后形成的气腔较大,芯层熔体穿透接近型腔边缘,在保压阶段,气体仍然会继续穿透芯层熔体,芯层熔体也仍然会继续穿透壳层熔体,但是由于芯层熔体接近型腔边缘,在深度方向穿透的余地很小,只有往宽度和厚度方向穿透,因此气腔和芯层熔体的前沿界面变得平坦。但是,当气体填充量过大时,气体容易吹破芯层熔体,甚至突破壳层熔体而造成废品。

2.3 气体延迟时间对气辅共注成型的影响

表5 列出采用 LDPE 作为芯层熔体,并加入绿色色母料,壳层熔体仍采用 PP 进行气辅共注成型的试验条件(其它条件同表 1)。实验中通过改变延迟时间(即芯层熔体注射完毕到开始充入气体的时间间隔)来研究气体延迟时间对气辅共注成型的影响。在进行气辅共注成型时发现,气体在芯层熔体内的穿透流动不稳定,容易出现指进现象。不同延迟时间对气辅共注成型制品(气腔形貌)的影响如

表 5 不同气体延迟时间的实验条件

项目	参数值
芯层熔体注射温度/℃	210
壳层熔体注射温度/℃	210
芯层熔体注射量(行程)/mm	40
壳层熔体注射量(行程)/mm	102
保压压力/MPa	0.2
气体延迟时间/s	120、180

图 8 所示。由图 8 可知, 在延迟时间为 120 s 时, 气腔出现了两个“手指”, 边缘不稳定, 左边还出现凸点。当延迟时间再延长到 180 s 时, 气腔又出现两个“手指”, 而且比 120 s 出现的“手指”还要深, 区域扩大至气腔整个右端, 气腔左端出现多个凸点, 边缘的不稳定现象加剧。综合实验结果可知, 延迟时间增加时, 气体在熔体内的穿透不稳定加剧, 更容易出现指进现象。

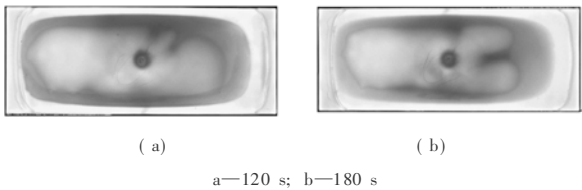


图 8 不同气体延迟时间对气辅共注成型的影响

在成型过程中, 随着延迟时间的增加, 芯层熔体温度降幅变大, 气体充入时芯层的熔体温度降低, 而熔体粘度随温度的降低而增大, 这样延迟时间越长, 芯层熔体因得到冷却而使其粘度增大, 而气体粘度很小且为恒定的, 气体与熔体的粘度差增大, 在气泡与熔体间界面产生的应力差增大, 从而造成不稳定的现象加剧, 严重时出现指进现象^[4], 本实验恰好证实了这一点。由此可见, 在气辅共注成型过程中, 增加延迟时间, 会加剧气体在熔体内穿透的不稳定性, 更容易出现指进现象。因此, 为了使气体在熔体内的穿透比较稳定, 必须适当控制延迟时间。

表 6 为不同气体延迟时间对气体穿透影响的实验结果。由表 6 可知, 气体延迟时间延长时, 气体穿透深度增大, 而穿透宽度减小, 气腔的穿透厚度变化

气体延迟时间 /s	气体穿透深度 /mm	气腔平均宽度 /mm	气腔相对厚度 /mm
30	44.50	40.00	0.39
60	48.50	39.00	0.50
90	52.50	37.67	0.44

不稳定; 但对芯层熔体的穿透性影响很小, 其穿透长度、穿透厚度和穿透宽度几乎都没有变化。

在成型过程中, 芯层熔体在充填完毕之后, 延迟注入氮气的的时间越长, 熔体温度下降越大, 熔体的粘度也就越大, 即熔体的流动性越差。在相同的气体压力下, 推动的熔体越少, 所以形成的气腔横截面也就越小。但模腔的总体积和注射芯壳层填充量一定, 所以气体穿透深度增大。

3 结论

通过气辅共注成型实验系统地研究了聚合物熔体温度、气体填充量与气体延迟时间 3 个工艺参数对气辅共注成型过程的影响规律, 并基于聚合物流变学和流体动力学揭示了这些工艺参数对成型过程的影响机理。研究表明, 随着熔体温度的升高, 气体的穿透深度减小, 而气体的穿透宽度和穿透厚度则增大; 随着气体填充量的增大, 芯层熔体的穿透深度增加, 芯层熔体的前沿形貌由尖凸变得平坦, 而气体的穿透深度、宽度和厚度均增加, 且气体前沿在厚度方向也由尖凸变得平坦, 气腔的厚度分布趋于均匀; 而气体延迟时间增加, 气体在熔体内穿透的界面不稳定性加剧, 容易出现指进现象。因此, 为了使气体在熔体内的穿透较为稳定, 必须适当控制延迟时间。

参考文献

[1] 孙懋, 周国发. 气辅共注成型填充流动过程全三维数值模拟 [J]. 中国塑料, 2003(10): 86-91.

[2] 周国发, 孙懋. 聚合物全三维非稳态非等温多相分层流动成型过程的理论模型和数值模拟 [J]. 机械工程学报, 2004(9): 16-22.

[3] 周国发, 柳和生. 共注成型芯壳层熔体粘度比对芯壳层熔体层界面和前沿移动形貌的影响 [J]. 复合材料学报, 2004(4): 24-28.

[4] 周国发. 聚合物多相分层充模流动成型的界面不稳定性形成机理数值分析 [J]. 化工学报, 2004(7): 1174-1178.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE GAS ASSISTED CO-INJECTION MOLDING PROCESS OF POLYMER

Zhou Guofa, Sun Jing, Zhong Xuguang

(School of Environmental Science & Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

ABSTRACT Due to coupling of the interfacial stress in multiphase-multilayer flow, the gas assisted co-injection molding process had the special flowing law and dynamic characteristic. In this paper, experimental researches on the gas assisted co-injection molding process (GACIM) were implemented systematically. By means of experiments, the influencing rules of process parameters such as polymer melt temperature, gas filling volume fraction and gas delay time on GACIM were studied. The influencing mechanisms were disclosed by theoretical analysis.

KEYWORDS gas assisted co-injection molding, process parameter, influencing mechanism, experimental research