

气辅共注射成型工艺的实验研究^{*}

匡唐清¹ 柳和生² 周国发³ 李贵金⁴

(1. 华东交通大学机电工程学院, 南昌 330013; 2. 上饶师范学院, 上饶 334001;

3. 南昌大学环境科学与工程学院, 南昌 330029; 4. 蓝天学院, 南昌 330029)

摘要 通过对现有注塑、气辅设备的改造,对气辅共注射成型工艺进行了实验研究。考察了材料流变性能、注射量和气体注射延迟时间对材料层厚分布及气体在熔体中穿透的影响规律。实验表明,芯皮层材料层厚分布主要受芯皮层熔体粘度比和芯皮层注射量的影响;气体在熔体中的穿透主要受熔体的总注射量和注气延迟时间的影响。

关键词 气辅共注射成型 实验研究 塑料

气体辅助(以下简称气辅)共注射成型工艺是在共注射成型工艺和气辅注射成型工艺的基础上发展起来的一种新型注射成型工艺^[1]。相对于共注射成型工艺而言,气辅共注射成型工艺多了一个注气过程,它是利用高压气体在共注射成型熔体内部产生中空截面,完成充填过程,并利用气体保压以消除制件表面缩痕;相对于气辅注射成型工艺而言,气辅共注射成型工艺的注塑阶段是多种材料顺次或同时注入型腔形成多层结构的过程^[2]。该工艺将气辅技术应用于共注射成型,既保留了共注射成型工艺的可生产再生塑料制品和复合功能制件等优点^[3],又带来了气辅注射成型一系列的诸如可生产高表面质量的中空制件和大型平板制件等优点^[4]。因此气辅共注射成型工艺必将在塑料加工行业得到广泛的使用。气辅共注射成型相对于气辅注射成型和共注射成型而言,工艺参数更多,工艺参数间的关系也更为复杂。气辅共注射成型这一新型工艺至今只有台湾富强鑫股份有限公司采用,尚未看到有关该工艺实验研究的文献报道。鉴于此,笔者进行了气辅共注射成型工艺的实验研究,以期摸索出其中的规律,为生产实践提供指导性建议。

1 实验部分

1.1 原材料

低密度聚乙烯(LDPE):中国石化上海石油化工股份有限公司;

高密度聚乙烯(HDPE):HD6070EA,中国石油独山子石化公司;

聚丙烯(PP):PPG401L,印度尼西亚 Tripoly 公司;

聚苯乙烯(PS):GPPS525,辽宁盘锦乙烯有限责任公司;

(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物(ABS):

0215A,中国石油吉林化工公司。

1.2 设备改造及制件模型

全自动螺纹直射式注塑机:TTI-160F型,香港华大机械有限公司;气辅设备:北京中拓机械有限责任公司;采取相应的措施在该注塑机上实现不同熔体的顺序注射,以氮气瓶为气源,采用气针进气方式。

模具:浙江台州金典模具有限公司。在模具浇口流道处设置了500 W可控调温的加热装置以保证先注入模具的皮层熔体在注射切换过程中不因迅速地传热而在短时间内冷却凝固导致芯层熔体无法注入;在模具内加设了加热棒,使得浇口流道和型腔内熔体保持熔融状态;并开设了冷却水道,以加速冷却。

为便于观察芯皮层材料的分布和气体在其中的穿透状况,以一带加强筋的平板为实验制件,其尺寸为200 mm×120 mm×3.6 mm(长×宽×厚),加强筋截面为2 mm×3 mm×15 mm(上底×下底×高)的梯形,沿加强筋设置气道,采用中心浇口注射。制件模型如图1所示。

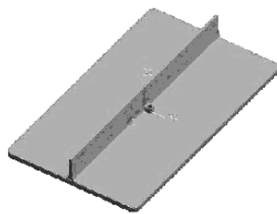


图1 实验制件模型

2 结果与讨论

为考察材料的流变性能、注射量和气体注射延

^{*} 国家自然科学基金资助项目(20274016)、江西省跨世纪学术带头人培养计划项目、江西省自然科学基金资助项目

迟时间对材料分布及气体在熔体中穿透的影响规律。在芯皮层材料中加入不同颜色的色母粒进行塑化注射,并采用逆光照射以便观测由不同的芯皮层材料组合所成型制品中的材料分布及气体的穿透情况;通过控制熔胶行程来较准确地控制熔体注射量;在芯层熔体注射完毕后马上断开加热,开启冷却水;由于共注射过程结束时的模具温度较高,为达到较好的气体注射效果,气体注射延迟时间应较长,但所用气辅设备的最大延迟时间为 99.9 s,因而采用其它计时工具计时并由人工触发控制气体注射。

表 1 列出实验过程中不变的工艺条件。

表 1 实验过程中不变的工艺条件

项 目	数值
芯皮层熔体注射速率 / $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	80
芯层熔体注射延迟时间 ¹⁾ /s	60
模具温度 ²⁾ / $^{\circ}\text{C}$	115
气体注射压力 /MPa	≈ 10
气体保压时间 /s	180
气体注射延迟时间 /s	120

注: 1) 为熔体转换所耗时间;
2) 为模具表面所测温度。

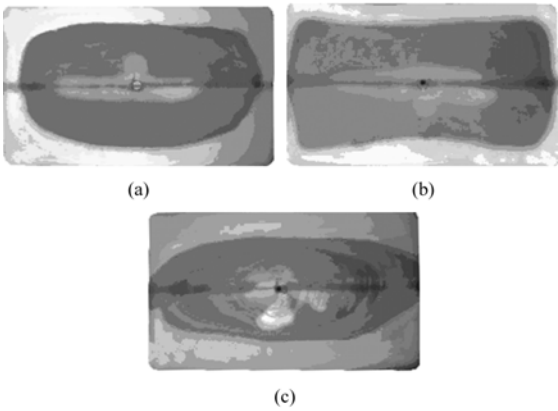
2.1 材料流变性能对层厚分布的影响

按照表 1 给定的工艺条件进行气辅共注射实验。表 2 为 3 种材料组合的注射温度(喷嘴处)及流变性能。为避免成型过程中因注射温度变化而引起额外的熔体切换耗时,同一材料组合中芯皮层熔体的注射温度取为一致。由表 2 可知,3 种材料组合的流变性能不同。图 2 示出 3 种材料组合的不同流变性能对材料层厚分布的影响。

表 2 3 种材料组合的注射温度及流变性能

组合	材料		注射量 / %	注射温度 / $^{\circ}\text{C}$	芯皮层零剪切粘度比(R)
A	芯层	HDPE	48	173	1.76
	皮层	LDPE	50		
B	芯层	LDPE	48	173	0.57
	皮层	HDPE	50		
C	芯层	PP	28	193	0.26
	皮层	HDPE	70		

由表 2、图 2 可知,3 种材料组合中芯皮层零剪切粘度比($R = \eta_{\text{E}} / \eta_{\text{L}}$)逐渐减小。在 A、B 组合中,皮层材料的注射量均为 50%,芯层材料的注射量均为 48%。在 A 组合中后注入的 HDPE 的熔体粘度稍大于 LDPE 的粘度,HDPE 熔体在 LDPE 熔体中呈椭圆分布(见图 2a);在 B 组合中后注入的 LDPE 熔体粘度低于 HDPE 的粘度,LDPE 熔体在 HDPE 熔体中呈“蝶形”分布,并几乎完全穿透(见图 2b);



a—A 组合, $R = 1.76$; b—B 组合, $R = 0.57$; c—C 组合, $R = 0.26$

图 2 3 种材料组合的不同流变性能对材料层厚分布的影响

在 C 组合中芯层熔体 PP 的注射量仅为 28%,其粘度远低于皮层熔体 HDPE 的粘度,后注入的 PP 熔体完全穿透了 HDPE 熔体(见图 2c)。

由此可见,随着芯皮层熔体粘度比的减小,芯层熔体在皮层熔体中的穿透越深,平均穿透厚度也越薄。若粘度比太小,容易导致突破;而粘度比太大,充填性能不太好且芯层层厚分布很不均匀。

在实验中还发现,以 ABS 为芯层、LDPE 为皮层的材料组合中,ABS 极易从 LDPE 中脱离。一是因为 ABS 的粘度要比 LDPE 大得多,其穿透厚度大,穿透深度小,因而皮层 LDPE 的厚度极薄,且材质较软;另一重要原因是 ABS 的分子结构与 LDPE 的分子结构相差很大,这两种材料的相容性很差。由于这两个原因致使在薄壁件的气辅共注射成型中 ABS 极易从 LDPE 中分层剥离。在 PS 与 LDPE、HDPE 或 ABS 的材料组合中也发现了材料不相容的问题。

因此,对于气辅共注射成型制品,要求用作芯皮层之聚合物的相容性要好,这点对薄壁件的气辅共注射成型显得尤为重要。

2.2 芯皮层熔体注射量对熔体、气体穿透的影响

在气辅共注射成型中,一方面要求芯层熔体被皮层熔体完全包覆,不应完全穿透皮层熔体而出现在制品表面,同时又要求其分布面积尽可能大,并尽可能均匀;另一方面,要求气体在芯层内部穿透,不应“吹破”芯层而到达皮层甚至“吹破”皮层,同时又要求充分发挥气辅技术的作用,气体在熔体内部的穿透距离应尽可能长。而气体在熔体中的穿透距离与熔体的注射量直接相关,因此应严格控制芯皮层熔体的注射量。

以 HDPE 为芯层、LDPE 为皮层,按照表 1 的工

艺条件进行气辅共注射实验。图 3 示出在注射温度(喷嘴处) 173℃时不同芯皮层熔体注射量对熔体、气体穿透的影响。

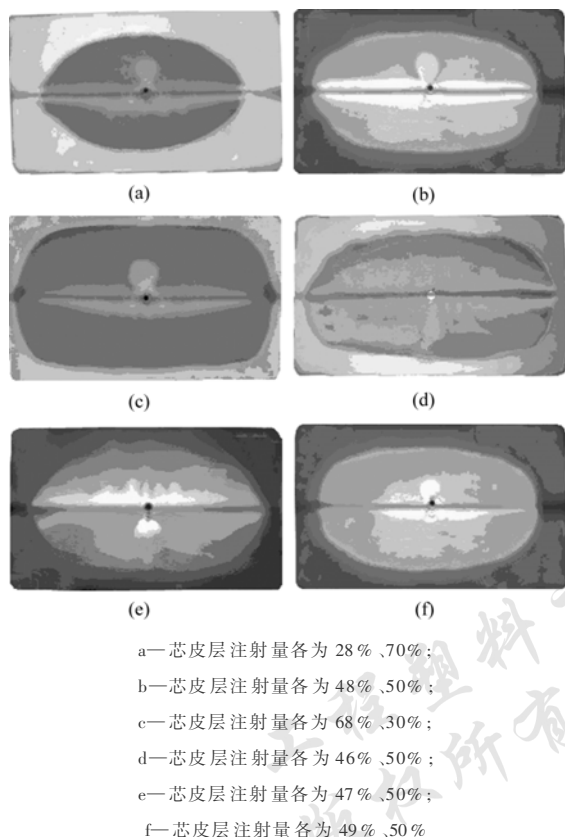


图 3 不同芯皮层注射量对熔体、气体穿透的影响

由图 3a~图 3c 可以看出,在总注射量不变(均为 98%)条件下,随着皮层熔体注射量的逐步减少(分别为 70%、50%和 30%)、芯层熔体注射量的逐步增加(分别为 28%、48%和 68%),芯层熔体在皮层熔体中的穿透距离、穿透面积也相应增大。在皮层 LDPE 注射量为 70%、芯层 HDPE 注射量为 28%时,芯层在皮层中的穿透距离很短,并且加强筋的影响也很明显,芯层熔体前沿呈尖凸状(见图 3a);在皮层 LDPE 的注射量减到 50%、芯层 HDPE 的注射量增到 48%时,芯层在皮层中的穿透距离延长,穿透面积也相应增大(见图 3b);当皮层 LDPE 注射量进一步减到 30%、芯层 HDPE 注射量增至 68%时,芯层即将完全穿透皮层,且穿透面积也变大(见图 3c)。从图 3a~图 3c 还可看到,在总注射量为 98%并保持不变的情况下,气体基本沿加强筋穿透,并且气体在熔体中的穿透距离基本不变。但由于芯层注射量的不同,气体在芯层中的相对穿透距离也不同。在芯层注射量为 28%时,气体完全穿透芯层熔体而

进入皮层熔体;在芯层注射量为 48%时,气体前沿接近芯层前沿,但尚未完全穿透芯层熔体;在芯层注射量为 68%时,气体前沿距离芯层前沿还有一段距离。

由图 3d~图 3f 可以看出,在皮层熔体注射量不变(均为 50%)条件下,熔体的总注射量逐步增加(分别为 96%、97%和 99%)。由于芯层注射量变化不明显,芯层熔体在皮层熔体中的穿透距离、穿透面积差别很小。但对气体的穿透影响显著:在总注射量为 96%时,大量气体进入薄壁,出现严重的“指进”现象,气体完全穿透芯层熔体(见图 3d);在总注射量为 97%时,进入薄壁区域的气体有所减少,气体在熔体中的穿透距离较长,并即将要穿透芯层熔体(见图 3e);在总注射量为 99%时,可供气体充填的空间已很小,致使气体在熔体中的穿透距离较短(见图 3f)。

由此可知,在气辅共注射成型中,芯皮层注射量直接影响到材料的层厚分布。皮层熔体注射量越少,芯层熔体注射量越多,芯层熔体在皮层熔体中的穿透距离也越长,穿透面积也越大,甚至会造成芯层完全穿透皮层熔体前沿;熔体的总注射量直接影响到气体在熔体中的穿透程度。总注射量越少,可供气体充填的空间越大,气体在熔体中的穿透距离越长,因而也容易完全穿透芯层熔体而进入皮层熔体,且容易进入到薄壁中,形成“指进”现象;总注射量越多,可供气体充填的空间越小,气体基本沿设定的气道穿透,且穿透距离越短。在足够的总注射量下,芯层熔体注射量越多,气体完全穿透芯层熔体的可能性越小;反之亦然。

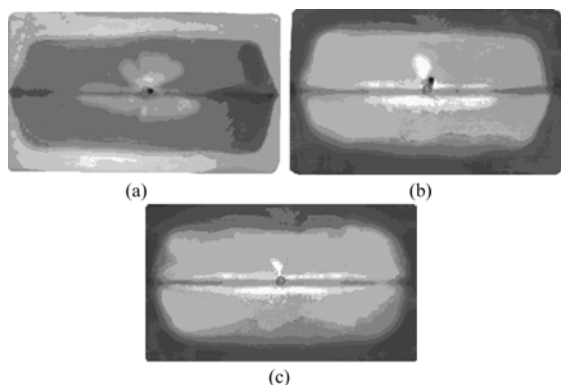
因此,在气辅共注射成型中,首先应保证足够的总注射量,避免气体进入薄壁区域,影响制件的力学性能,然后通过调整芯皮层熔体的注射量来获得较为理想的材料分布,并保证气体只在芯层熔体中穿透。

2.3 注气延迟时间对气体穿透的影响

气辅共注射成型过程中,在芯层熔体注射完之后、气体注射之前有一段延迟时间,该时间的长短也会影响到气体在熔体中的穿透距离,因为该时间的长短会影响到熔体的冷却凝固程度,而熔体的冷却凝固程度则直接影响到气体在熔体中穿透的难易程度。

以 LDPE 为芯层、HDPE 为皮层,各自的注射量为 48%、50%,按照表 1 的成型工艺条件进行气辅

共注射实验。图4示出在注射温度(喷嘴处) 173℃下不同气体注射延迟时间对气体穿透的影响。



a—延迟 40 s; b—延迟 120 s; c—延迟 200 s

图4 不同气体注射延迟时间对气体穿透的影响

由图4可看到,在相同的工艺条件下,气体注射延迟时间为40 s时,气体主要在注气口附近穿透,薄壁穿透得很严重(见图4a);当气体注射延迟时间为120 s时,气体沿加强筋穿透,但穿透距离较短,并且已穿透薄壁(见图4b);在气体注射延迟时间为200 s时,气体沿加强筋穿透的距离较长,基本没有穿透薄壁(见图4c)。

图4表明,在气体注射延迟时间较短的情况下,无论气道还是薄壁区域的熔体基本都处于熔融态,高压气体在薄壁区域和气道区域都能较容易地穿透,因而薄壁穿透得很严重;气体注射延迟时间越长,也就是注气前熔体的冷却时间越长,在薄壁区域的熔体基本完全冷却,而在气道区域由于其截面较大,中心的熔体还保持着熔融状态,因而气体只在气

道中心穿透。在相同的气体可充填体积下,气体注射延迟时间越长,气体在熔体中的可穿透截面就越小,气体穿透距离也就越长。

值得注意的是,气体注射延迟时间相对于实际生产要长得多,这是因为受现有单料筒注塑机的限制,由于芯层熔体注射后模具温度较高,需要较长的时间进行冷却。

3 结论

(1) 气辅共注射成型工艺要求芯皮层材料具有较好的相容性。

(2) 气辅共注射成型工艺要求芯皮层熔体具有合适的粘度比。若粘度比过高会使得芯层材料堆积在浇口附近;而粘度比过低则易导致芯层突破。

(3) 芯皮层注射量的多少是影响材料分布的重要因素。皮层注射量多,芯层在皮层中的穿透距离则短;皮层注射量少,芯层在皮层中的穿透距离则长,易导致芯层突破。

(4) 熔体的总注射量和气体注射延迟时间直接影响到气体在熔体中的穿透程度,必须合理加以控制。

参考文献

- 1 周国发.聚合物多相分层流动成型理论及其数值模拟研究:[博士论文].南昌:南昌大学,2002.
- 2 匡唐清,柳和生,周国发,等.气体辅助共注射成型的发展现状.中国塑料,2003,17(9):1
- 3 McRoskey J J. Introduction to co-injection molding. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1999.
- 4 Stevenson J F. Innovation in Polymer Processing Molding. New York: Hanser Publisher, 1996.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON GAS-ASSISTED CO-INJECTION MOLDING PROCESS

Kuang Tangqing¹, Liu Hesheng², Zhou Guofa³, Li Guijin⁴

(1. School of Mechanical & Electornical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. Shangrao Normal College, Shangrao 334001, China;

3. School of Enviroment Science & Engineering, Nanchang University, Nanchang 330029, China;

4. Jiangxi Bluesky University, Nanchang 330029, China)

ABSTRACT Experimental investigation on gas-assisted co-injection molding process, an innovative plastic injection molding process, is conducted based on the improved equipments. The influences of the rheological properties, injection content and delay time of gas injection on material distribution and gas penetration are investigated. Experimental results show that material distribution is influenced mainly by viscosity ratio of core melt to skin melt and injection content of them. Gas penetration is influenced by the total injection content of melt and delay time of gas injection. Some conclusions which can be used to guide practical applications are drawn.

KEYWORDS gas-assisted co-injection molding, experimental investigation, plastics

今年美塑料包装将超过纸包装

据 Freedonia 集团咨询公司发布的专题研究报告预测,2006 年美国包装市场中,塑料消费量将在 17 个分市场中超过纸,消费总量达 490 万 t。该报告指出,纸质包装仅能在运

输袋和熟食品包装市场继续保持优势,而塑料将在灌装包装薄膜和运输桶等硬质容器包装领域显示出技术优势和使用的方便性。塑料包装具有易加工、生产速度快和可回收等特点,提升了其市场竞争力。(文君)