

气体辅助注射成型制品气泡形成的实验研究

郑国强, 蒋志辉, 李 倩, 王军锋

(郑州大学 材料成型过程及模具教育部重点实验室 河南 郑州 450001)

摘 要: 气体辅助注射成型(GAIM)制品中,气道壁处的气泡是影响塑料制品力学和光学性能的重要因素.运用定量试验方法,就GAIM工艺参数对塑料制品内壁气泡形成的影响进行了试验研究,探讨了工艺参数与气泡形成规律的关系,并揭示了GAIM制品气道内壁气泡形成原因.结果表明:降低熔体温度、气体注射压力及保压压力,缩短气体保压时间均可以有效地防止气道壁气泡的形成.

关键词: 气体辅助注射成型;工艺参数;气泡形成

中图分类号: O 631.2

文献标识码: A

0 引言

气体辅助注射成型(GAIM)是先将部分熔体注入模具型腔,再向熔体内部注入高压惰性气体以推动熔体充满型腔,经过一定时间保压后产生内部中空制品的一种新技术,与传统注塑成型工艺相比,具有节省材料、降低注射压力、减小锁模力、消除制品缩痕及翘曲变形,使厚薄不均、形状复杂的制品一次成型等优点^[1-2].但是GAIM过程中的工艺参数较多,且存在着气体和熔体两相之间的复杂作用,因此,GAIM工艺是一项复杂的聚合物加工工艺.主要工艺参数有熔体温度、延迟时间、气体注射压力、模具温度、气体保压时间、气体注射时间等.目前对GAIM过程中气指、短射、吹穿、迟滞痕等缺陷与工艺参数的关系研究较多,而对GAIM过程中产生的气泡与各工艺参数关系的试验研究相关报道较少.其中H. Potente^[3]等对GAIM制品中发泡现象的理论和试验进行了分析,建立了有关气体扩散,气泡晶核形成理论和热传导等一些模型. Shin^[4]等对GAIM过程中的气体穿透实验研究表明:在GAIM工艺过程中,温度和压力是产生内壁气泡的根本原因.梁继才^[5]等研究了GAIM制品气泡形成机理,提出在满足生产要求的前提下减少GAIM制件内壁气泡缺陷的产生一些措施.笔者采用定量方法对GAIM主要工艺参数影响气泡的形成进行详细研究,提出减少气道壁气泡形成的有效措施.

1 实验部分

1.1 主要原料

聚丙烯(F401),中石化扬子石油化工股份有限公司.

1.2 主要设备

注塑机:CJ80E(113 g)型,震德塑料机械有限公司;

气体压力控制单元:CinPres PPC3000, Gas Injection Ltd. (GIL);

照相机:FinePix S6500fd, FUJIFILM (China) Investment Co., Ltd.

1.3 试样制备

工艺参数见表1,其它工艺参数分别为预注射量为型腔容积的89%,注射压力80 MPa,气体注射时间2 s,气体延迟时间3.5 s.

每组工艺参数条件注射5个制件,每件制品统一截取中间部分剖开进行统计测量,计算得到单位面积气泡数量即密度,最后取平均值作为试验结果.

2 结果与讨论

2.1 熔体温度的影响

不同熔体温度下GAIM制品气道内壁产生的气泡如图1所示.由此看出,随着熔体温度的升高,气道内壁形成气泡数量增多.统计结果见图2.

收稿日期:2009-05-08;修订日期:2009-07-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50803060);中国博士后科研基金项目(20080430866)

作者简介:郑国强(1977-),河南永城人,郑州大学副教授,博士,主要从事聚合物加工形态结构和性能研究.

表 1 主要工艺参数

Tab. 1 The main processing parameters

熔体温度/℃	气体注射压力/MPa	气体保压时间/s	气体保压压力/MPa
220	9	1	19
230	10	2	20
240	12	3	21
250	15	5	22
260	17	9	23

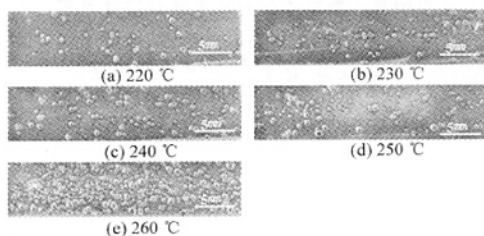


图 1 不同熔体温度下 GAIM 制品气道内壁气泡照片

Fig. 1 Photographs of foam on the gas channel wall under different melt temperature

由图 1 可知,在熔体温度 250 ℃ 以下时,随着熔体温度的升高,气道内壁单位面积气泡数量近似线性增加,当熔体温度在 250 ℃ 以上时,气道内壁单位面积内形成气泡数量增长速度加大,此时气道内壁单位面积气泡数量 69 个(图 1(d)),当温度达 260 ℃ 以上时,单位面积气泡数量增加到 214 个(图 1(e)). 在 GAIM 气体充填和气体保压阶段,气体和高聚物熔体两相接触必然使得 N_2 分子向熔体中扩散,在随后的冷却过程中,随着气体保压压力的释放,扩散在高聚物中的 N_2 逐渐处于过饱和状态,从而导致热力学不稳定,溶解在熔体中的 N_2 析出成核长大,最终形成气泡. 根据高聚物熔体中低势能点发泡成核机理^[6],形成大量气泡必须满足聚合物熔体中同时存在大量热点和大量过饱和气体的条件,从微观角度讲,温度升高时,分子动能增加而势能下降,有利于熔体中热点成核数增多,而从宏观角度看,随着熔体温度升高,熔体的粘度和表面张力下降. 在 GAIM 过程中, N_2 扩散系数增大,有利于 N_2 在熔体中的溶解度提高,使熔体中存在的过饱和气体增多且容易从此热点析出形成气泡核,从而导致气泡形核数越多,最终单位面积内产生气泡数量增多. 当熔体温度达到 250 ℃ 以上时,气泡数量增加速度加大,原因为在此温度以上时,高聚物熔体自由体积很大导致气体发生自由体积成核^[6],并且 GAIM 过程中熔体温度越高对气体横向穿透的阻力越小,可能导致气体横向与熔体混合直接产生

气泡,从而导致气泡数量急剧增多.

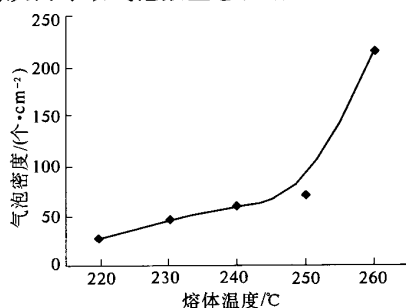


图 2 熔体温度对气泡密度的影响

Fig. 2 Effect of melt temperature on foam density

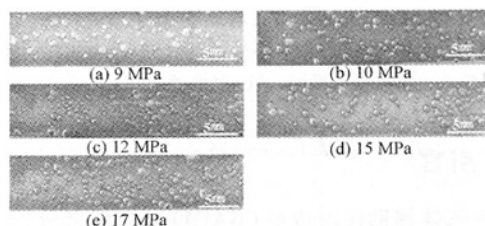


图 3 不同气体注射压力 GAIM 制品气道内壁气泡照片

Fig. 3 Photographs of foam on the gas channel wall under different gas injection pressure

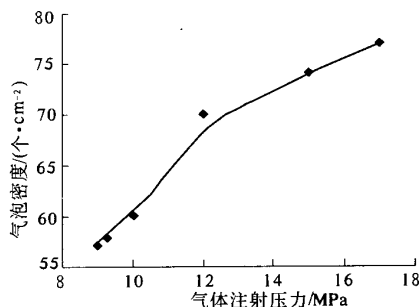


图 4 气体注射压力对气泡密度的影响

Fig. 4 Effect of gas injection pressure on foam density

2.2 气体注射压力的影响

图 3 为不同气体注射压力下的气道内壁发泡的照片. 可以看出随着气体注射压力的升高,气道内壁形成气泡数量增加,但是增加幅度并不大. 图 4 表明随着气体注射压力提高,单位面积气泡数量增多,由气体注射压力 9 MPa 时气道内壁单位面积气泡数量 57 个增加到气体注射压力 17 MPa 时的 77 个,图 4 还显示气泡数量与压力近似线性关系. 主要原因为:一方面在 GAIM 工艺过程中,高压 N_2 达到了超临界状态(N_2 的超临界点温度和压强值分别为 -147. 2 ℃ 和 3. 35 MPa^[5]),超临界流体具有良好的溶解性,几乎可以与所有聚合物熔体互溶,并随着压力的升高,超临界流体在聚合物熔体内的溶解度急剧增大,导致最

终成型制品气泡数量增多^[7];另一方面在剪切流场中,熔体中存在速度梯度,使高分子产生取向.高分子取向改变了熔体中空穴的分布情况,使熔体中空穴大小接近,从而对气泡成核过程产生影响.高分子取向度越大,越有利于得到高的气泡密度^[8].因此在 GAIM 气体注射阶段,随着气体注射压力增大,与气体接触的熔体层受气体剪切作用越大,熔体中高分子取向度越大,气泡成核数越多.

2.3 气体保压压力的影响

在 GAIM 中,气体保压阶段的压力对制品气道内壁产生气泡影响较大,在相同的熔体温度,不同的饱和压力释压后所得到的发泡 PP 照片如图 5 所示.很明显可以看出:气体保压压力增大,气泡数量增多,但是随着气体保压压力增大,气泡数量增大趋势不同;由图 6 可知,保压压力低于 22 MPa 时,随压力的升高,气泡数量近似线性增加;当气体保压压力达到 23 MPa 时,单位面积气泡数量增大程度明显大大增加,由 22 MPa 时每平方厘米 59 个增加到 260 个.由文献[5]知,当气体保压压力高于 N_2 流体的超临界压力(3.35 MPa)时,随着压力的增大,超临界 N_2 流体在聚合物熔体中的溶解度急剧增大.因此当饱和压力较低时,溶解在聚合物中的气体较少,当压力突降释放时,气体有成核的趋势小,成核点少,所以形成的气泡少且不均匀.当饱和压力增加时,溶解在 PP 中的气体量增加,释压时自身(均相)成核的趋势增大,在压力释放时气泡成核数目增加,从而形成的气泡数量也增加,当压力达到 22 MPa 以上时气泡数量明显增多(图 5(e)).

2.4 气体保压时间的影响

图 7 为不同保压时间下 GAIM 制品气道内壁气泡照片,由照片可知保压时间的延长,气道内壁气泡数量不断增多.气体保压时间与气泡密度的关系如图 8 所示,可以看出,保压时间低于 5 s 时,保压时间延长,气泡数量增多并且增长速度较大,近似线性增长,保压时间为 9 s 时,气泡数量最多,并且在气道壁纵向有一定深度(图 7(e)).由菲克第二定律可知:扩散的浓度与扩散时间有很大关系,时间越长,气体扩散越充分.当保压时间短时,气体向熔体中扩散时间短,不利于气体成核的时间条件,从而形成气泡数量少而不均,相反保压时间越长,气体扩散到熔体多,气体溶解在熔体中浓度越高,且随着时间延长,熔体温度越低,黏度越大,瞬间卸压后使过饱和气体逸出阻力越

大,从而使得气泡形成数量更多.

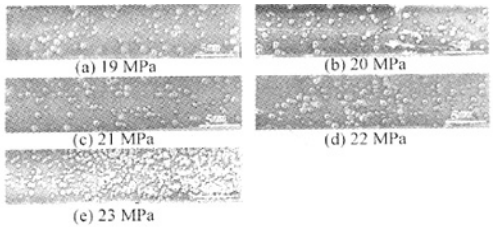


图 5 不同保压压力 GAIM 制品气道内壁气泡照片
Fig.5 Photographs of foam on the gas channel wall under different holding pressure

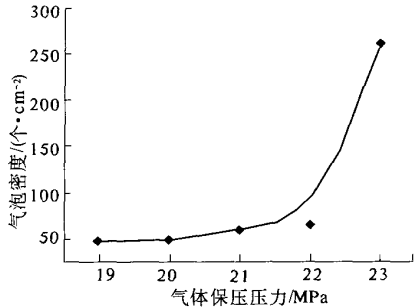


图 6 气体保压压力对气泡密度的影响
Fig.6 Effect of holding pressure on foam density

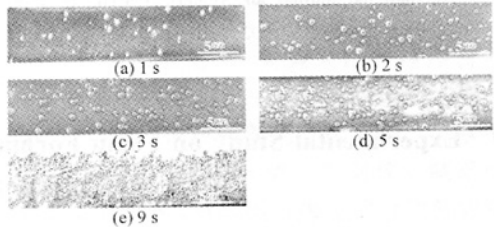


图 7 不同保压时间 GAIM 制品气道内壁气泡照片
Fig.7 Photographs of foam on the gas channel wall under different holding times

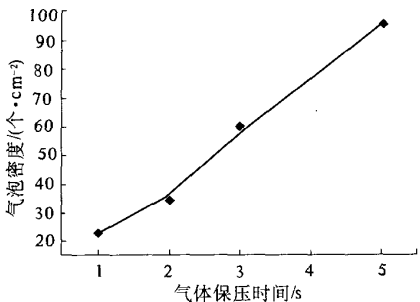


图 8 气体保压时间对气泡密度的影响
Fig.8 Effect of holding time on foam density

3 结论

本文就 GAIM 工艺主要参数对塑料制品气道内壁气泡的形成影响进行了试验研究,得出主要结论如下:

(1)降低气体注射压力和缩短保压时间可以减少气辅成型气道内壁气泡形成,从而提高最终产品质量.气道壁气泡数量随气体注射压力升高及保压时间延迟近似呈线性增加.气体注射压力9 MPa升高到17 MPa时,气道内壁单位面积气泡数量57个增加到77个,而保压时间由1 s延长至5 s时,气道内壁单位面积气泡数量23个增加到96个.

(2)熔体温度250℃以下,气道内壁单位面积气泡数量随熔体温度的升高而近似线性增多,26个增加到69个.当熔体温度达260℃时,单位面积气泡数量急剧增多,增加到214个.

(3)保压压力在22 MPa以下时,气道内壁单位面积气泡数量随保压压力升高呈线性增加,46个增加到59个,保压压力增加到23 MPa时,单位面积气泡急剧增加到260个.

参考文献:

- [1] ILINCA F, HLETU J F. Three - dimensional finite element solution of gas - assisted injection molding[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2002, 53:2003 - 2017.
- [2] 李倩,王小峰,申长雨,等.气辅成型过程气体穿透行为[J].化工学报,2007,58(7):1847 - 1848.
- [3] POTENTE H, MORITZER E, OBERMA CH. Foam formation in gas - assisted injection molded parts: theoretical and experimental considerations[J]. Polymer Engineering and Science. 1996, 36 (16): 2163 - 2171.
- [4] SHIN J W, ISAYEV A I. Experimental study of gas penetration in gas - assisted injection molding [J]. Journal of Injection Molding Technology, 2002, 6(4): 314 - 330.
- [5] 梁继才,周东辉,李义.气辅注射成型制品气泡缺陷形成机理[J].吉林大学学报:工学版,2006,136(5):727 - 730.
- [6] 吴舜英,马小明.泡沫塑料成型机理研究[J].材料科学与工程,1998,16(3):31 - 32.
- [7] 郑国强,刘春太,张雷.超临界流体在聚合物加工中的应用[J].现代塑料加工应用,2006,18(2):49 - 51.
- [8] 滕建新,吴舜英,田森平.剪切流场对塑料发泡成核行为的影响[J].材料科学与工程,2000,8(1):66 - 69.

Experimental Study on Foam Formation on Gas Channel Wall in Gas - Assisted Injection Molded Parts

ZHENG Guo - qiang, JIANG Zhi - hui, LI Qian, WANG Jun - feng

(The key Laboratory of Advanced Materials processing & of Ministry of Education, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In the gas - assisted injection molding, foaming structure in the gas channel region is a key factor affecting the mechanical and optical performance of the GAIM part. An experiment was carried out to study the effects of the processing conditions on foam formation in the gas - assisted injection molding, using quantitative analysis method. The relationship between the processing parameters and foam formation on the gas channel wall was discussed and the reasons leading to foam was analyzed. The results reveal that foam can be avoided by lowering the melt temperature, reducing the gas injection pressure and the holding pressure as well as the holding time.

Key words: gas - assisted injection molding; process parameter; foam formation