

文章编号:1001-4934(2017)04-0052-07

# 物理微发泡微开模注塑成型技术

杨 伟,武力军,李瑞文,于善平,唐永亮

(长春富维安道拓汽车饰件系统有限公司,吉林 长春 130033)

**摘要:**介绍了一种新型的注塑成型技术——物理微发泡微开模注塑成型技术。该技术采用物理微发泡的单相熔体注射到模腔后迅速将模具微开模,使得内部的熔体继续发泡膨胀,最后冷却定型成产品。相对于普通注塑,物理微发泡微开模注塑技术可以减少产品质量 30 个百分点以上,同时其物理性能可满足产品的要求。该技术可以减小产品变形和降低产品内应力,在非外观的汽车内外饰产品中广泛应用。

**关键词:**物理微发泡;开模;壁厚;注塑成型

**中图分类号:** TG 241

**文献标识码:** A

## Injection molding technology of opening mould foaming after Mucell

YANG Wei, WU Li-jun, LI Rui-wen, YU Shan-ping, TANG Yong-liang

**Abstract:** This article introduces a new injection molding technology, viz., the opening mould foaming after Mucell. Firstly, the single-phase melt is injected into the mould, and then the mould is quickly opened with a small distance. The inner melt resin continues foaming and growing with the opening mould and the final product forms when the growing process stops and the inner material cools down. Compared with normal injection process, this new process introduces weight saving up to 30 percentage points, and meanwhile, physical properties of the products can fulfill the corresponding requirements. In addition, the deformation and internal stress of the products are highly reduced with the technology. This process can be widely used in the production of non-appearance parts for automotive, which helps reduce the weight of car and save energy.

**Keywords:** Mucell; mould opening; wall thickness; injection molding

## 0 引言

传统的注塑工艺是将熔融的注塑料直接从加热的料筒注入到注塑模腔内,在模腔内冷却成型。注塑成型可以成型各种复杂结构的制

品,目前应用于各个行业。为了保证在冷却成型过程中产品各部分能均匀冷却,不出现因收缩而产生的外观缺陷或变形问题,传统的注塑工艺要求产品各部分壁厚均匀,筋的厚度相对壁厚的比例要小,否则筋与产品面的结合处因熔体过多,导致冷却时间延长,同时产品表面出

**收稿日期:** 2016-12-31

**作者简介:** 杨 伟(1983—),男,工程师。

现缩坑的现象。此外,由于产品壁厚越大,冷却收缩过程需要补充的料就越多,需要的保压时间也越长,因此会导致注塑料和设备的能源消耗大幅增加。

物理微发泡技术是指将超临界状态下的气体注入到注塑机加热料筒内的熔融注塑料中,形成单相熔体,注入注塑模腔内成型,使注塑件产生微小气孔的注塑成型技术。因为熔胶黏度低,内部压力降小,减少了产品的变形,提高了产品的尺寸稳定性,减少了注塑成型的保压时间,同时极大地提高了产品设计的自由度,目前广泛应用于商业设备、汽车零件以及工业、电子产品中。但受制于单相熔体内部气泡的成长,产品的壁厚不可太大,否则厚壁处的气泡会胀大,劣化产品的力学性能,严重的会导致产品出模后表面鼓包。一般情况下,物理微发泡产品的壁厚不超过 3 mm。

一种新型注塑技术,即物理微发泡微开模注塑成型技术,采用了物理微发泡的注塑方式,单相熔体注入模腔后,快速将模腔打开一定距离,完成熔体内部气核的长大成型,经过冷却定型,形成最终的成型产品。该技术解决了物理微发泡技术产品壁厚不能过大的问题,产品壁厚可以大幅度提升的同时,保证了产品的品质与开模前一致,增加了制件的刚性,同时极大地减少了产品的质量。这种技术的实现,需要综合考虑注塑设备、注塑模具、材料和产品设计等各方面。图 1 为物理微发泡微开模注塑技术成型示意图, $t_0$  为注射开始时产品的厚度, $t_1$  为最终产品厚度。图 2 为普通玻纤材料物理微发泡产品断面,图 3 为物理微发泡微开模注塑成型产品断面。

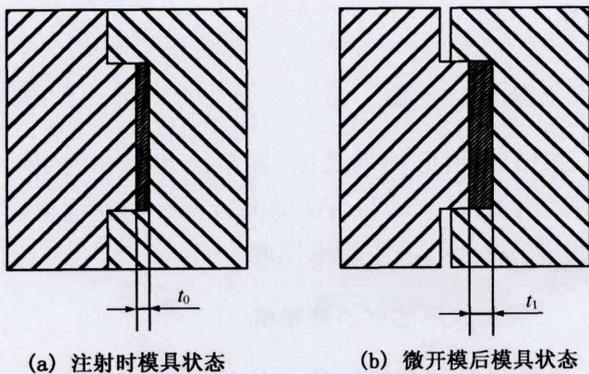


图 1 物理微发泡微开模注塑技术成型示意图

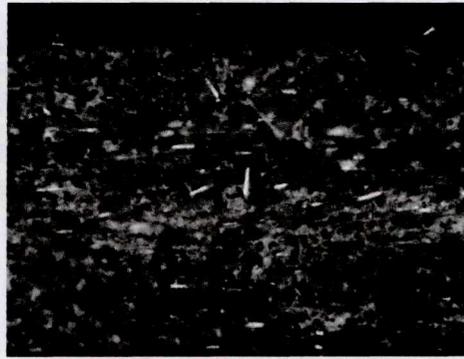


图 2 普通玻纤材料物理微发泡产品断面

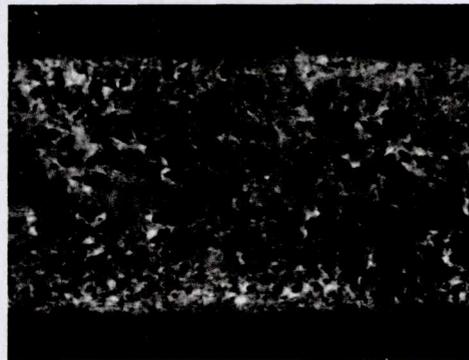


图 3 物理微发泡微开模注塑成型产品断面

### 1 注塑设备

物理微发泡微开模注塑成型技术的注塑设备与普通物理微发泡设备基本一致,包括气体计量系统,以及打气装置、注塑机(采用特殊设计的螺杆和料筒、闭锁式液压喷嘴和经过改造的液压回路),如图 4 所示。

与普通物理微发泡技术不同的是,该技术是注射后先微开模再冷却,有 2 种实现方式:(1)注塑机本身自带精确开模功能,可实现快速开模一段距离;(2)注塑机没有带开模功能,所以设计模具时要考虑其发泡瞬间开模结构。

#### 1.1 超临界流体计量系统(SCF metering system)

同普通物理微发泡的超临界流体计量系统一致,在通过气体计量系统时,对来自于气源的气体( $N_2$  或  $CO_2$ )进行加压,形成超临界流体(SCF)。SCF 是兼具气体与液体特性的流体,使得该物质成为可以被计量混入料筒里的熔体。

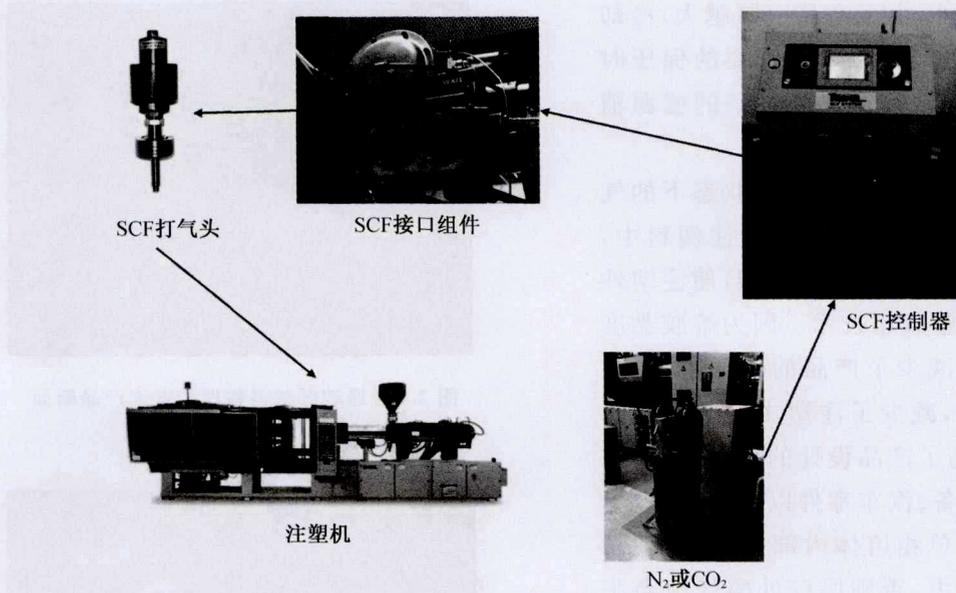


图 4 物理微发泡微开模注塑设备

1.2 超临界流体注射系统(SCF injecting system)

SCF 完全溶解并均匀分散在熔融的聚合物中形成单相熔体,这是微发泡注射前的必要条件。工艺要求 SCF 通过打气装置和精确的计量,并在一定的时间内注入聚合物中。在计量阶段,料筒内部建立起适当的温度、压力,配合螺杆的塑化速度和打气时间,是形成单相熔体的重要工艺条件。

1.3 螺杆和料筒

与普通注塑机不同,该技术对物理微发泡技术的注塑机的螺杆和料筒采用了特殊设计。螺杆分为不同的区段,分别实现:(1)在注入 SCF 之前把塑料熔融;(2)在螺杆转动期间注入 SCF,把 SCF 熔入塑料熔体之中(单相熔体);(3)螺杆混合段把 SCF 切成更微细气泡,并将 SCF 溶解于塑料中。如图 5、图 6 所示。

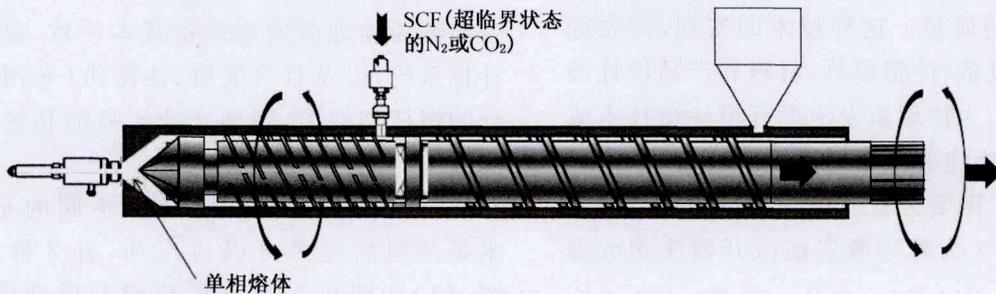


图 5 SCF 注入螺杆

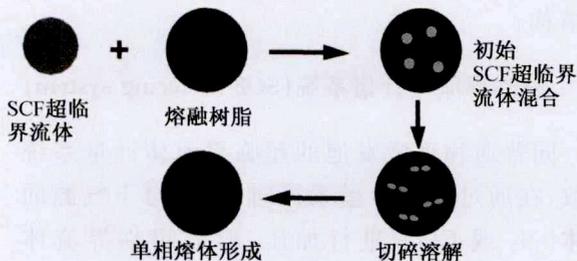


图 6 单相熔体的形成

1.4 液压闭锁喷嘴

在储料期间,喷嘴关闭,在料筒和螺杆的封闭空间内完成 SCF 和熔体的充分混合。在注射期间,喷嘴打开,熔体注入模腔。

1.5 可实现快速注射的注塑机

高的注射速度可以防止塑化好的单相熔体

在注射过程中提前发泡,要求整个注射过程必须在 2~3 s 内注满模具型腔,所以需要注塑机要有极高的注射速度。

一种方案是注塑机可以选择较粗的螺杆,以满足注射速度要求。但是,对于过粗的螺杆,料筒内会储存太多的料,导致料在料筒中停留时间长,存在分解的现象,所以要进行综合考虑。

另一种方案是增加蓄能器,也可以快速提升注射速度。但需要增加费用,以及在增加蓄能器的同时,也需要对原有注塑机的液压系统进行改造。

### 1.6 自带精确开模功能的注塑机液压系统

自带精确开模功能的注塑机液压系统是区

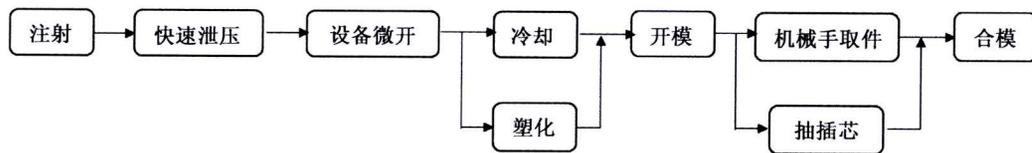


图 7 注塑机自带精确开模功能的物理微发泡微开模注塑技术生产流程

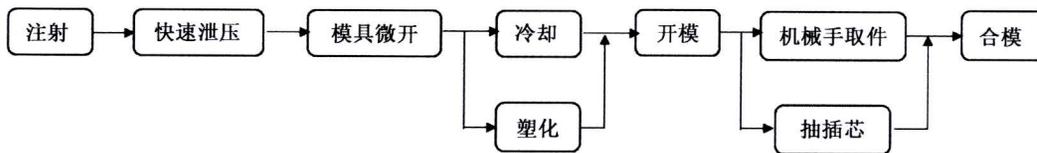


图 8 注塑机不带精确开模功能的物理微发泡微开模注塑技术生产流程

模具上配备拉钩和气压弹簧,注塑机在泄压的情况下,模具通过气压弹簧快速打开并且通过拉钩固定。在开模前,拉钩打开,便可开模。

## 2 注塑模具

### 2.1 模具的分型面设计

由于物理微发泡与开模发泡结合的注塑技术的模具有一个 2 次开模的瞬间动作,使注塑料能在模腔内进行发泡。若分型面采用水平分型,则发泡成型后产品容易出现尖角(见图 9)。所以微发泡模具分型基本都是从产品中间分模,从而实现产品发泡两边均匀(见图 10)。

### 2.2 模具的快速开模结构设计

如前文所述,若注塑机自带精确开模功能,则可按普通微发泡注塑模具注塑成型;若注塑

别于普通物理微发泡技术的设备特点。其生产流程如图 7 所示,注塑机增加了精确开模功能。该功能的实现是通过在注塑机的每个高压锁模油缸的液压回路中增加一个比例阀,同时每个格林柱上装一个位置传感器,可以单独控制每个拉杆的动作,并可得到来自位置传感器的精确反馈。同时,在注塑机的电脑中也增加了精确开模的程序设置,可分阶段设置开模的速度、距离。

### 1.7 可自身迅速开模的模具

当注塑机没有带精确开模功能时,设计模具要考虑其发泡瞬间开模结构,其生产流程如图 8 所示。

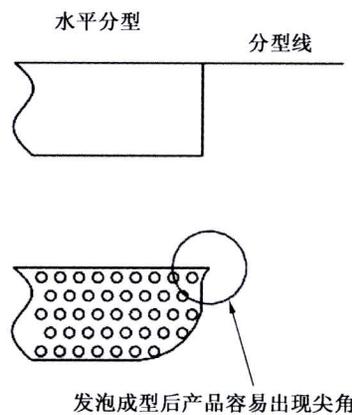


图 9 分型面水平分型的产品

机没有自带开模功能,在设计模具时则需要设计快速开模结构。在模具上需要配备拉钩和液压顶出机构,注塑机在保压完成后泄压,模具通过油缸顶出打开(1~2 mm),并且通过拉钩限制最终的位置,此时完成模腔内熔体的发泡,如图 11 和图 12 所示。

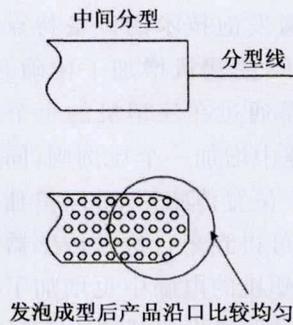


图 10 分型面中间分型的产品

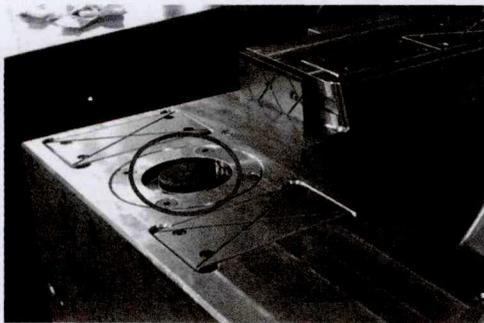


图 11 带液压顶出装置的模具

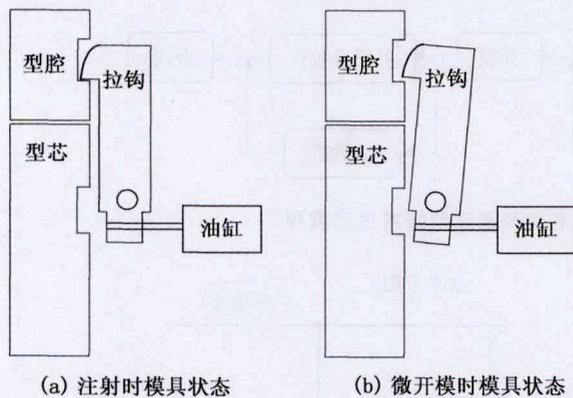


图 12 拉钩动作示意

### 2.3 热流道设计

由于发泡剂在模腔内的发泡过程是瞬间完成的,所以对产品的填充时间有很高的要求,需要在 $2\sim 3\text{ s}$ 内完成整个产品的填充。热流道设计时需要充分考虑快速进胶,通常采用多点阀式直浇口,不通过冷流道,如图 13 所示。

### 2.4 模具的冷却设计

对于高速注塑且成型周期极短的产品,其生产加工过程需要快速冷却,所以模具的冷却系统极为重要。在模具设计时必须考虑产品各处均匀冷却,否则局部的热点会导致产品在开

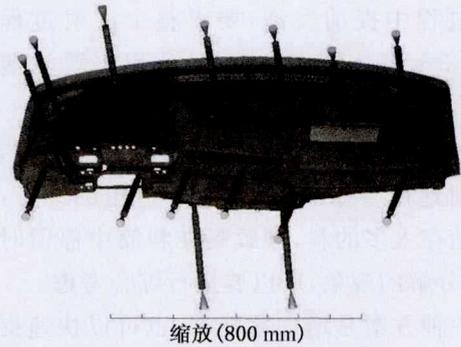
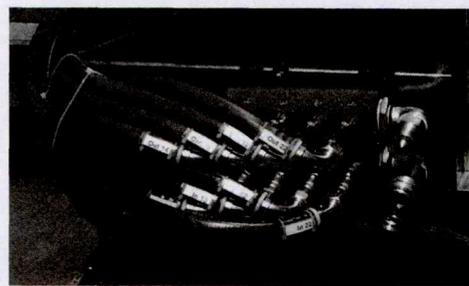


图 13 多点阀式直浇口热流道填充仪表板骨架

模后出现吹破现象。对于产品形状复杂的深腔结构,传统水路无法布置,可以采用冷却效果好的铍铜类材料,内部设计水路能保证产品在该区域的冷却效果(见图 14)。传统的集水器方案为一进多出,因各组水路的流动阻力不一致,会出现一组集水器对应的多组水路流速不一、冷却不均匀的现象。采用直进直出的方案就可确保流量的一致,如图 15 所示。



图 14 局部用铍铜类材料做镶件的冷却水路



(a) 一个集水器对应多组水路



(b) 一对一的直进直出

图 15 不同的水路方案

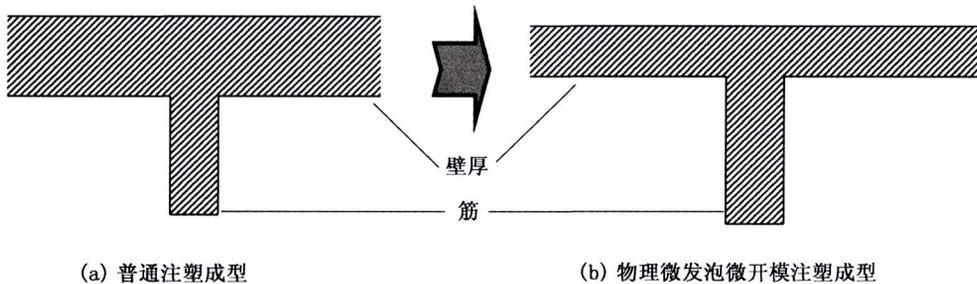
### 3 产品设计

由于模腔融胶内的微泡持续膨胀的保压效果,物理微发泡微开模注塑成型技术可避免缩痕现象,可注塑成型筋和壁厚比值等于 1 的产品。图 16 所示为普通注塑成型与物理微发泡微开模注塑成型设计的壁厚与筋比例区别。

对于普通物理微发泡技术,产品壁厚差别不可太大,否则在壁厚厚的区域,因材料中间保

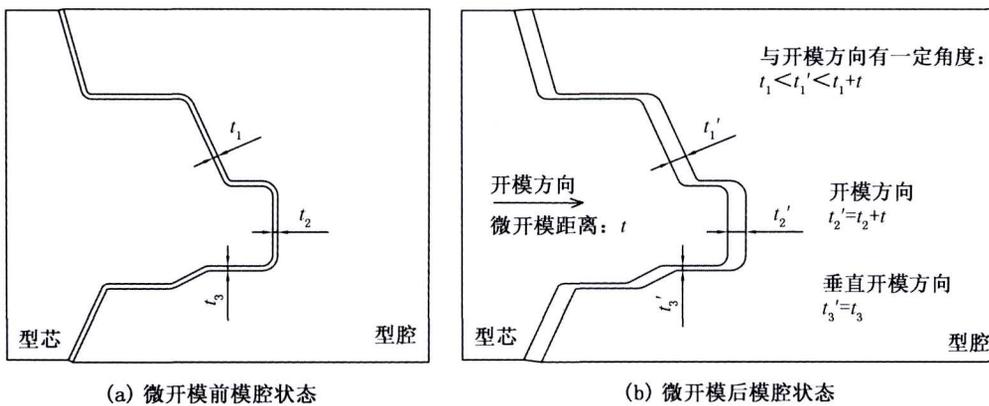
持较高的温度,在脱模以后,壁厚厚的部分会持续膨胀,出现产品吹破的现象。由于塑料,特别是发泡的塑料的导热率很低,改变模具温度无法解决产品吹破问题。对于物理微发泡微开模注塑技术,在开模过程中熔体压力得到进一步释放,产品吹破现象有了一定的改善。

因为开模只在模具的开模方向上进行,故此方向上的壁厚为开模前的原始壁厚加上开模的行程。与开模方向呈一定角度的产品型面,其壁厚就表现得并不一致(见图 17)。



(a) 普通注塑成型 (b) 物理微发泡微开模注塑成型

图 16 普通注塑成型与物理微发泡微开模注塑成型设计的壁厚与筋比例区别



(a) 微开模前模腔状态 (b) 微开模后模腔状态

图 17 微开模前、后模腔状态

普通注塑工艺的模具设计理念很多细节上不适用于物理微发泡微开模注塑技术,对一些产品上的倒扣区域,需要认真分析,具体情况具体对待。同时,该技术并不适用于所有形状的产品。

物理微发泡微开模注塑技术需要 2 套塑料件产品数据:

(1) 用于设计模具的产品数据,不含发泡工艺,如图 17(a)所示;

(2) 微开模后理论上应当达到尺寸的产品数据,即最终产品数据,如图 17(b)所示。

### 4 注塑材料

并不是所有的注塑材料都可应用在此技术中。为了保证在微开模过程中熔体不至于破裂,其注塑材料需要有很好的熔体强度。熔体强度高的材料成型泡孔完整,如图 18 所示;熔体强度不足的材料成型时泡孔被拉裂,如图 19 所示。

同时,微开模的距离也需要经过试验的验证,与材料发泡过程密切联系:微开模距离越小,模具型腔内的释压空间越小,扩散到材料表

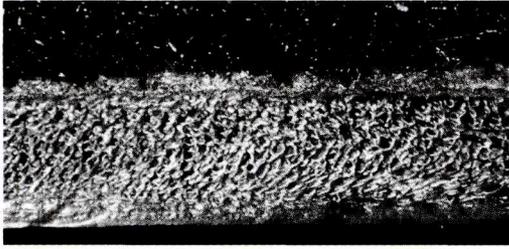


图 18 熔体强度高的材料的产品状态

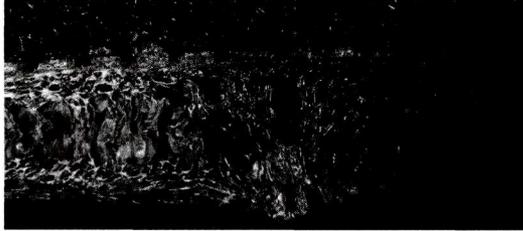


图 19 熔体强度不足的材料的产品状态

面气体分子几率增加,体系的发泡过程越易自发进行,体系泡孔尺寸细小而均匀;微开模距离越大,扩散到材料表面气体分子几率减小,基体材料内部泡孔增多,在泡孔表面张力作用下合

并趋势明显,泡孔尺寸逐渐变大且不均匀<sup>[1]</sup>。过大的开模距离有可能导致熔体破裂,过小的开模距离又失去了开模发泡的意义,经济价值不明显。在微开模过程中,产品的壁厚可能大幅度提升,对产品自身的刚性有很大的改善,但是冲击强度等性能可能会降低,为此在试验中需要加以验证。

用于物理微发泡微开模注塑成型技术的常用材料有以下 3 种:

- (1) 加滑石粉的改性 PP;
- (2) 玻纤增强 PP;
- (3) ABS。

## 5 经济效益

一项基于 PP-T30,即含有 30%滑石粉的聚丙烯(PP)材料,其微开模距离为壁厚的 15%的微开模发泡注塑产品与普通注塑产品的性能对比如表 1<sup>[2]</sup>所示。

表 1 微开模发泡与普通注塑产品的性能对比

试样	拉伸强度/MPa	缺口冲击强度/(kJ·m <sup>-2</sup> )	密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	弯曲强度/MPa
普通注塑产品	32.3	2.78	0.904 5	35.09
微开模发泡注塑产品	24.3	6.26	0.771 7	41.97

从表 1 中可以看出,与普通注塑相比,虽然微开模发泡产品拉伸强度有所下降,但缺口冲击强度、弯曲强度都提高,尤其是缺口冲击强度提高得较大,提高了 125 个百分点。缺口冲击强度的提高与空洞增韧机理有关。密度下降了 15 个百分点。微开模发泡产品的综合性能比普通注塑的 PP 材料好<sup>[2]</sup>。

在开模过程中降低了熔体的内应力,减少了产品变形,提升了产品的尺寸稳定性。对于和微开模发泡后最终产品同样壁厚的普通产品,冷却时间大幅降低,模腔压力降低,提高了模具寿命,降低了设备能耗。

## 6 结论

物理微发泡微开模注塑成型技术是物理微发泡技术的一种技术拓展,它通过单相熔体在

模腔内的充分发泡,优化了物理微发泡技术对产品设计中壁厚变化的要求,可以实现不均匀壁厚的塑件成型。在产品质量减少的前提下,有效地满足了产品强度的要求,是一种轻量化、环保和高效的制造技术,给设计师们提供一种新的设计理念。同时通过微开模,释放了熔体内部的压力,解决了内应力对变形的影响,并且对分子取向引起的变形也有一定的优化,提升了注塑产品的质量。

## 参考文献:

- [1] 龚维,何颖,张纯,等. 二次开模距离对微发泡聚丙烯材料发泡行为的影响[J]. 塑料科技,2011,39(4):38-41.
- [2] 张纯,罗筑,于杰,等. 二次开模注射成型微孔发泡 PP 工艺及其性能研究[J]. 中国塑料,2005,19(8):67-70.