

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.05.013

多级注射成型中沙漏效应的工艺分析

姚义

(天亿塑料研究所,沈阳 110041)

摘要:在经验总结的基础上,论述了多级注射成型中沙漏效应的三段(流道段、浇口段、浇口与型腔相连部分)工艺控制理论,介绍了应对沙漏效应的各级注射速度设定的基本原则;剖析了沙漏效应中各段最容易产生的问题和原因,同时也给出了解决这些问题的原则和方法;最后论述了沙漏效应中浇口封闭时间与保压的关系以及流道和浇口尺寸的调整。

关键词:多级注射;沙漏效应;注射速度

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)05-0063-06

Technology Analysis of Hourglass Effects in Multi-stage Injection Molding

Yao Yi

(Tianyi Plastics Research Institute, Shenyang 110041, China)

Abstract : The three section (runner, gate and connection part of gate and cavity) technology controlling theory of hourglass effects in multi-stage injection molding was expounded based on summarizing experience, the basic principles of injection speed setting at each stage for coping the hourglass effects were introduced. The problems and reasons occurred most easily at each section of the hourglass effects were analyzed, the principles and methods for solving these problems were provided. At last, the relationship of the time for sealing off the gate and packing, and the adjustment of runner size and gate size in the hourglass effects were discussed.

Keywords : multi-stage injection molding ; hourglass effect ; injection speed

制品结构设计、模具设计和注射成型工艺设定是影响注塑制品质量的3个主要因素,其中注射成型工艺的设定是决定能否连续化成型合格制品的重要因素之一。现在塑料的注射成型加工,大都采用多级注射成型设备,而在多级注射成型过程中,能否充分利用多级注射成型设备的速度调控工具,是决定能否批量生产合格制品的关键因素。

目前多级注射成型设备正向着智能化、超高速、全电动的方向发展,但无论如何改进,大都离不开速度和压力这两个主题,大多数设备的更新改造都是围绕着速度和压力进行着。虽然多级注射成型设备向着多用途触摸屏和工艺缺陷自动诊断的方向开发,但注射速度的调控一直是多级注射成型工艺中研究的热点和重点。

笔者根据多级注射成型理论及自身的经验,提出沙漏效应的三段工艺控制理论。沙漏效应的三段,主要指浇注系统的上、中、下三段,其中上段是指流道段,中段是指浇口本身,下段是指浇口和型腔相连的部分,如图1所示。

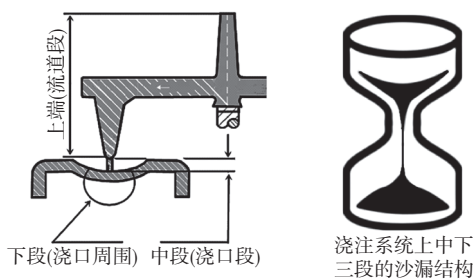


图1 沙漏效应示意图

多级注射成型工艺控制的核心是注射速度以及速度转换位置的设定,它是整个工艺控制的技术关键。由于以往对多级注射成型过程中产生的沙漏效应认识和研究不够,导致在进行多级注射成型时,会产生大量的不合格制品。实践证明,沙漏效应中的速度控制,对整个注塑制品的内在质量、外观、物理和力学性能起到决定性的作用。

笔者依据高分子物理学和浇注系统的设计理

联系人:姚义,高级工程师,主要研究方向为烷基芳香族合成及高分子材料改性加工

收稿日期:2015-03-18

论,对沙漏效应的三段工艺控制理论展开系统讨论,并根据自身的实践对相关经验和工艺技术进行总结,以便为实际生产中多级注射成型工艺的控制提供借鉴。

1 沙漏效应的理论

在多级注射成型过程中,对工艺进行调整的最终目的是使熔融流动的聚合物熔体能以平稳均衡的流速充填到整个型腔。在沙漏效应的三段中,不论是结晶高聚物还是非结晶高聚物,其分子结构均要经过几次重新排列。而成功的工艺控制,就是将其分子排列和分子取向达到理想化^[2]。

在浇注系统中的流道和浇口,尤其是限制性浇口,不论其形状如何变化,都类似图1的沙漏式瓶颈结构。在熔体充填过程中,熔体经过这种结构时,其流动的空间会发生由大变小,又立即由小变大的瞬间转换,这对高速流动的熔体来说,非常容易产生各种工艺缺陷。

熔融树脂充填浇注系统,是熔体流动的初始阶段,而熔体在充填沙漏式瓶颈结构的过程中,是整个流动过程中流速最大和冷却最快的阶段。所以应对沙漏效应的工艺调控将直接影响聚合物分子链重排和重结晶,若工艺调控不好,则会在注射成型过程中有50%以上的几率产生各种不良现象。

综上所述,沙漏效应的浇口段,以及浇口上段和浇口下段的衔接部位,是模具设计和注射工艺控制的关键。

在多级注射成型过程中,需要高速和低速之间的不断转换,以及螺杆位置和压力的协同配合,才能成型高质量的合格制品。因此,沙漏效应阶段的成型工艺控制是关系到能否获得高精密成型制品的关键因素。

2 应对沙漏效应的注射速度设定基本原则

在沙漏式的瓶颈结构中,对浇口段和下段的工艺设定非常重要,也是最关键的一种工艺设定。图2是典型的塑料周转箱的注射速度控制案例,图3则是相应的注射速度和压力设置示意图。图3中速度 V_1 对应的是沙漏效应的上段即流道段, V_2 对应的是浇口段, V_3 对应的是熔体充填90%型腔的过程, V_4 和 V_5 则是阶梯式注射速度的末端; P_0 是注塑压力, P_1 对应一次保压, P_2 和 P_3 对应二次和三次保压。当注塑压力 P_0 对应的过程结束时,螺杆应在 V_5 对应的位置上,这也是 V - P 的切换点,应注意要留出缓冲量用以保压。注射速度会根据不同制品的

结构进行高低变换,而注塑压力经实际的检测是逐渐下降的。

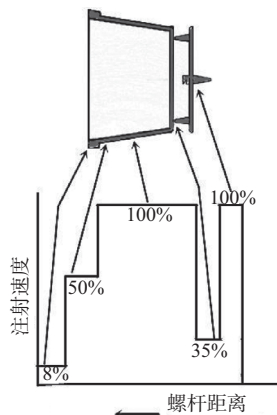


图2 周转箱的注射速度设定案例

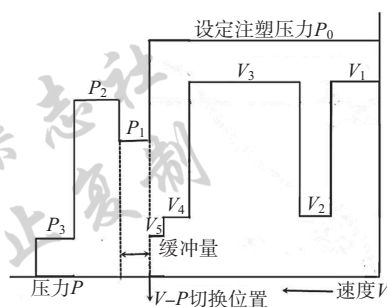


图3 案例的速度和压力设置示意图

多级注射成型工艺中各级速度的设定,主要是根据制品形状,结合沙漏效应的各段,进行速度和相应速度转换位置的调整,以期达到熔体平稳均衡地充满整个型腔的目的。结合图1和图2,重点阐述了多级注射成型工艺中应对沙漏效应的速度设定基本原则^[1]。

(1) 第1级 V_1 的调控。

这一级是沙漏效应的上段,主要针对料筒喷嘴和模具流道部分。这一级速度调控原则是在制品不发生不良现象的前提下,尽量采用高速,缩短成型周期,一般速度的设计值为最大注射速度。

(2) 第2级 V_2 的调控。

这一级是沙漏效应的中段和下段,主要针对浇口和浇口周围部分。这一段速度调控是以低速为原则,一般设计值为最大注射速度的35%。这一段速度控制的好坏,将直接影响到制品是否产生雾晕、波流痕、喷射痕、银丝、表面粗糙等不良现象,这一级还能纠正多型腔的浇口设计不平衡所产生的缺陷。

特别强调的是,因为第2级 V_2 与第1级 V_1 关系极大,且浇口尺寸又很短小,所以从第1级到第2级的螺杆位置转换的精准控制,是工艺调控的关

键技术,需要大量的经验和技術积累。当成型如聚氯乙烯(PVC)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚碳酸酯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料等高黏度塑料时,第2级 V_2 的控制对浇口附近的质量将起到决定性的作用,这段速度的调控应以低速为原则;如果成型的是低黏度树脂,则以亚高速为主。

(3) 第3级 V_3 的调控。

这一级针对的是熔体充填的主要阶段,这一级速度调控的原则是不分树脂黏度高低,应尽量采用高速,一般设计值为最大注射速度。高速可以缩短成型周期和减小型腔内树脂熔体黏度的变化,同时可以提高制品表面的光洁度。

(4) 第4级 V_4 的调控。

这一级主要针对熔体充填的末端,这一级的速度调控主要是由高速向超低速进行转换,应以中速为原则,一般设定值为最大注射速度的50%以下。这样设置可以控制和避免由于制品壁厚和浇口不平衡而引起的飞边、溢料等现象。

(5) 第5级 V_5 的调控。

这一级主要针对熔体充填的最末端,应以超低速为原则,一般设定值为最大注射速度的8%左右。这一级也是保压的开始,所以速度转换位置的设定非常重要。浇口和型腔充填结束后保压开始的螺杆位置控制,是成型工艺中最基本的控制技术。这一级的速度调整可防止发生短料、飞边、烧痕、翘曲等不良现象,确保制品的尺寸精度和外观^[3]。

3 沙漏效应的解析

沙漏效应大都发生在多级注射中的第1级和第2级,成型过程中虽然注射时间很短,只有几秒或十几秒的时间,但所有的工艺包括注射段和保压段的工艺控制,均要通过流道和浇口来实现,这是沙漏效应中非常重要的工艺控制环节。实际实践中需根据不同原料、不同制品结构,灵活调整工艺条件。对于沙漏瓶颈结构的三段,每一段工艺调控不当,制品都会产生一系列不良缺陷。

3.1 沙漏效应的上段分析

沙漏效应的上段主要指流道部分。由于料筒内的熔体通过料筒的喷嘴注入到模具流道中,所以上段也是聚合物分子结构被打乱后的第一次重新排列,这种重排与流道的长短和设计结构有关。相对来说沙漏瓶颈的上段效应比较平稳,熔体在经过喷嘴和流道时,流动速率的过渡基本平稳,所以这段速度的设定,大都采用最高注射速度,以达到缩短成型

周期的目的。

这段工艺调整的重点是从流道到浇口这一段距离的螺杆准确定位。沙漏效应的每段工艺控制,没有标准公式和具体数据定位值,笔者阐述的也是基本原理和通用原则。实际操作中,需以制品和模具设计为基础,再根据原料特性和成型中出现的问题进行微调。

如果上段注射速度转换的位置不准,流道中的高速会延续到浇口段,也就是沙漏效应的中段,这会失去多级注射成型的意义,同时也可能发生沙漏效应下段的所有不良现象。这一级速度的设定和切换位置调控,需要大量的实践经验和技术积累。经验证明,在对注射速度进行调控时,需尽量在流道到浇口之间留足高速的缓冲量,以避免将高速延续到浇口段,这样才能保证进入型腔内的熔体流速平稳和均一。

多级注射中的第1级与第2级关系极大,流道和浇口接触点的转换位置,是极其重要的位置,由于浇口的尺寸即瓶颈部分又很短小,所以第1级到第2级螺杆位置转换的精准度,是最关键的工艺控制要点。

3.2 沙漏效应的下段分析

沙漏瓶颈结构的下段,是熔体从浇口细颈段向型腔的充填阶段,它是由小空间突变成大空间的过程,由于型腔空间瞬间扩大的缘故,熔体的流动是由高速突变成低速。这种空间大小不断的转换,最容易发生波流痕、翘曲、银丝、熔射、冷斑等工艺缺陷,这些现象通常也都发生在浇口附近。

当熔融树脂为高黏度熔体时,制品容易产生波流痕和翘曲。如果产生此种缺陷,则在工艺调整设定时,就需要考虑第1级应以慢速开始,然后以阶梯式上升的方式进行速度控制,使熔体进入型腔内的速度达到均匀一致,这样才能防止此类现象发生,具体的速度调控示意图如图4所示^[1]。

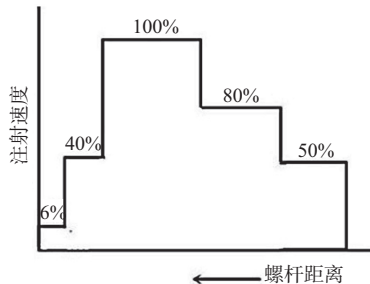


图4 防止波流痕和翘曲等缺陷的速度控制示意图

当熔融树脂为高黏度材料时,熔体会产生熔射

即瞬间的喷射现象。有时还会伴随高剪切或者瞬间产生的摩擦热,导致热敏性树脂因熔体过热而分解产生有害气体,或玻璃纤维增强复合材料中的玻璃纤维被切断。分解产生的气体会导致制品表面出现雾晕和银丝等不良现象。

这种现象解决方法是,第1级速度的设定值不再设为最大注射速度,同时还要降低浇口段的速度,当浇口周围形成一定表皮层后,再提高注射速度。调控的关键是要找准和微调浇口的速度转换位置,具体的速度调控示意图如图5所示。需要注意的是,如果采用的低速段过长,而且没有准确定位浇口段的位置,制品就会产生波流痕。

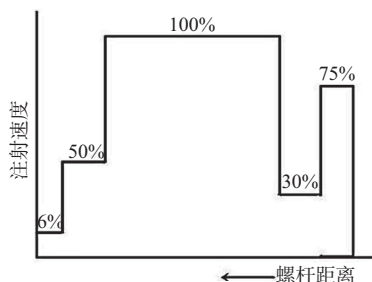


图5 防止雾晕、银丝、熔射、冷斑等缺陷的速度控制示意图

如果在这一段采用低速注射,熔体的流动也相对变慢,因为熔体经过喷嘴和模具流道时要散热,熔体容易形成冷料,当冷料强制进入型腔后,就会在浇口附近产生冷斑。尤其成型如PVC类易分解的塑料时,喷嘴部位就更容易发生冷斑现象。这时调控速度的方法,正好与解决熔射现象的方法相反,需要采用高速注射,这样才能消除喷嘴和浇口附近的冷斑,从而提高制品外观质量。实际生产中,应根据每个制品、每种原料以及所发生的不良现象,具体问题具体分析,选择不同的速度调控方法。

3.3 沙漏效应的中段分析

沙漏效应的中段即浇口段,它是影响熔体充填、分子排列、制品性能、保压工艺等极重要的因素,也是导致制品性能下降、制品外观缺陷等一系列不良现象的根源。通常设定这段工艺时,都以降低注射速度为原则,以换取熔体流动速率的平稳过渡。但浇口段的位置转换比较难于控制,尤其是限制性浇口类。

以往在生产实践中,由于对沙漏效应认识上的不足,有的将沙漏效应的三段都按相同的速度来设定,从而出现严重的质量和外观问题。生产实践证明:沙漏效应中的这三段采用相同速度,对通用塑料影响不太明显,但对于特种工程塑料来说,不但影

响制品的外观,还会降低制品的性能指标。由于浇口段的实际转换位置很难进行控制,推荐的经验是将在浇口段转换的位置从浇口前移到沙漏效应中上段,螺杆前移距离大约为浇口尺寸的长度。

针对浇口段的工艺控制比较困难的问题,笔者以某汽车尾灯为例进行相关说明。

汽车尾灯所用原料是PMMA,一模四腔,采用护耳形浇口,制品总质量 $=86 \times 4 = 344$ g,总投影面积 $149 \times 4 = 596$ cm²。该制品虽然也通过多级注射进行成型,但注射速度的设定为二级,由于设定时没有考虑到沙漏效应,导致制品的透镜部位发生了波流纹,有时在浇口附近还发生喷射痕,使光学性质发生了变化,废品率较高。

汽车尾灯是一个凸透镜的结构,成型第一要素就是再现凸透镜设计原型。根据沙漏效应分析,如果塑件产生冷斑皱纹,则是由浇口段的速度过慢所造成。如果出现波流痕和喷射痕现象,则说明浇口段的速度过快。

根据这些现象,将浇口段的速度降低到最大注射速度的30%,当低速通过浇口后,立即提高注射速度到最大注射速度的80%,末端以缓慢下降的速度梯度结束。这样在注塑压力、料筒及模具温度不变的情况下,很好地解决了上述问题,确保了凸透镜的光学效应,具体的速度调控示意图如图6所示。对于这种护耳形浇口,在制品壁厚转变的浇口部位,要特别注意速度和转换位置的点,不能出现位置调整不准确的现象^[1]。

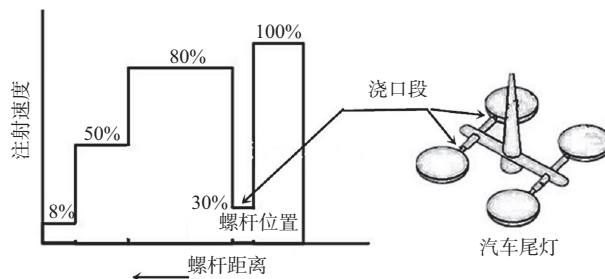


图6 汽车尾灯的速度控制示意图

4 沙漏效应中浇口封闭时间与保压的关系

沙漏效应中段的工艺控制,不仅与注射速度有关,还与浇口大小和封闭时间紧密相连,它也是影响制品性能好坏的因素之一。浇口封闭时间与保压和多级注射的最末端有直接关系,还因浇口大小、浇口部位的制品厚度以及成型条件的不同而不同。

沙漏效应中工艺控制的三要素是速度、位置、压力,一般设定注塑压力的原则是:注塑压力是从

V_1 所对应位置开始一直要保持到充填末端 V_5 所对应的位置,如图 2 所示。这期间注塑压力不做调整, V_5 对应的位置是 $V-P$ 切换的最重要节点,在这个节点上的注塑压力要迅速切换到保压模式。

目前多级注射成型设备中,有将保压设计成一次保压、二次保压、三次保压的模式,但不论哪种模式和几次保压,主要针对的都是浇口段,所以沙漏效应中浇口段的速度和保压相互调整就显得更加重要。

保压的基本原则是保压到浇口完全封闭时应立即停止。当浇口完全封闭时,熔体进入型腔的通道已经封闭,这时任何的速度和压力都不起作用。

如果浇口没有完全封闭时就停止保压,那么对制品性能会产生极大影响,将直接引起制品的收缩、变形以及质量、冲击强度、尺寸等变化。如果浇口封闭后继续保压会造成过保压,这样即浪费资源又会对设备造成损伤。

综上所述,浇口封闭时间与保压密切相关,表 1 是聚甲醛 (POM) 塑料浇口封闭时间的实验测定数据,其中 POM-1 是纯 POM, POM-2 是在 POM 中添加了质量分数为 25% 的玻璃纤维。表 1 虽然是 POM 塑料的浇口封闭时间的测定数据,但对其它工程塑料沙漏效应中的浇口段以及保压的工艺控制,具有指导和借鉴意义^[1]。

表 1 POM 塑料制品侧浇口和点浇口的封闭时间

模具温度 / ℃	80 mm POM 正方形平板				50 mm POM 正方形平板			
	制品厚度 /mm	侧浇口尺寸 / (mm × mm)	浇口封闭时间 / s		制品厚度 /mm	点浇口直径 /mm	浇口封闭时间 / s	
			POM-1	POM-2			POM-1	POM-2
40	1	2 × 1	4		1	0.5	3.4	2.8
		2 × 1	9	6		1.0	3.4	2.8
	2	4 × 2	9	6	2	1.0	8.6	6.2
		2 × 1	11	10		1.5	9.0	6.4
	3	4 × 2	17	10	3	1.5	13.8	10.6
		6 × 3	20	11		2.0	15.8	11.2
		2 × 1	14	11				
	4	4 × 2	20	15				
		6 × 3	26	16				
		2 × 1	4					
	2	2 × 1	10	6	1	0.5	3.8	2.8
		4 × 2	10	7		1.0	3.8	2.8
60	2	4 × 2	10	7	2	1.0	9.8	7.0
		2 × 1	14	10		1.5	10.6	7.8
	3	4 × 2	19	12	3	1.5	16.6	12.8
		6 × 3	21	12		2.0	18.2	12.8
		2 × 1	15	13				
	4	4 × 2	22	17				
		6 × 3	31	18				
		2 × 1	5	3				
	1	2 × 1	11	7	1	0.5	4.2	3.4
		4 × 2	12	7		1.0	4.2	3.4
	2	2 × 1	17	14	2	1.0	11.8	7.8
		4 × 2	22	14		1.5	12.6	9.0
80	3	4 × 2	22	14	3	1.5	19.2	15.8
		6 × 3	24	15		2.0	20.6	16.8
		2 × 1	18	16				
	4	4 × 2	27	20				
		6 × 3	34	21				
		2 × 1	5	3				
	1	2 × 1	11	7	1	0.5	4.2	3.4
		4 × 2	12	7		1.0	4.2	3.4
	2	2 × 1	17	14	2	1.0	11.8	7.8
		4 × 2	22	14		1.5	12.6	9.0
	3	4 × 2	22	14	3	1.5	19.2	15.8
		6 × 3	24	15		2.0	20.6	16.8

5 沙漏效应中流道和浇口尺寸的调整

沙漏效应中的流道和浇口尺寸通常是采用称重法来设计。图 7 和图 8 是断面为圆形的流道和浇口尺寸经验概算数据,这是以模具设计手册和实践经验总结的数据,针对每种塑料都可以根据此图中的数据在设计时对流道和浇口进行微调整。在计算流道直径或浇口直径时,均可采用图 7 所示的方法来进行。在多型腔模具设计时,其设计原则是用流

道来调整充填平衡,目的是使树脂熔体同时充满各型腔^[4]。

6 结语

在经验总结的基础上,论述了多级注射成型中沙漏效应的 3 段工艺控制理论,以及多级注射成型中各级速度设定的基本原则。剖析了沙漏效应中各段最容易产生的问题和原因,同时也给出了解决这些问题的原则和方法。最后论述了沙漏效应中浇口

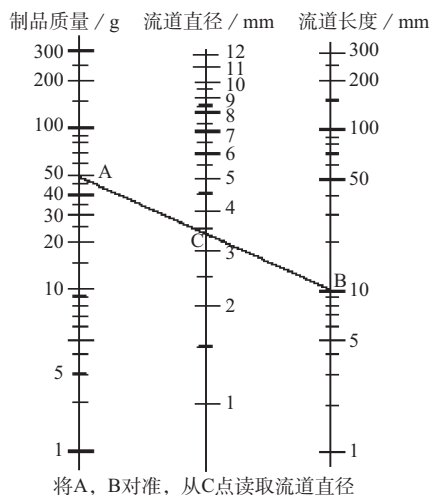


图 7 流道直径概算图

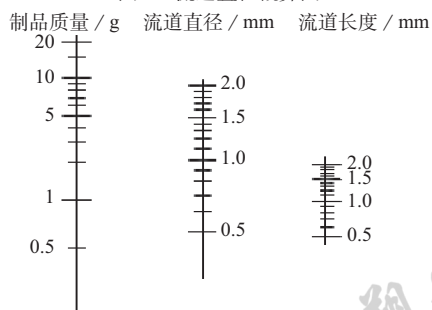


图 8 浇口直径概算图

封闭时间与保压的关系以及流道和浇口尺寸的调整。以上分析和研究对从事成型精密塑料制品的人员具有一定指导和借鉴意义。

参考文献

- [1] 姚义,姚远.注射成型现场实用手册[M].北京:化学工业出版社,2014:99-122.
Yao Yi, Yao Yuan. Practical handbook of injection molding field[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2014:99-122.
- [2] 殷敬华,郑安呐,盛京,等.高分子材料的反应加工[M].北京:科学出版社,2008:472-473.
Yin Jinghua, Zheng An' na, Sheng Jing, et al. The reaction processing of polymer materials[M]. Beijing:Science Press, 2008:472-473.
- [3] 格林纳,弗里多.精密注射成型工艺、材料和应用[M].谢鹏程,李琳,杨为民,等,译.北京:机械工业出版社,2013:20-21.
Greener J, Wimberger-Friedl R. Technology, materials and application of precision injection molding[M]. Xie Pengcheng, Li Lin, Yang Weimin, et al, translate. Beijing:China Machine Press, 2013:20-21.
- [4] 张维合.注塑模具设计实用手册[M].北京:化学工业出版社,2011:278-279.
Zhang Weihe. Practical handbook of injection mould design[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2011:278-279.

性能优异的乙烯-乙酸乙烯酯共聚物薄膜

以叔丁醇等为反应介质,以过氧化物或偶氮化合物为引发剂,在压力为 30.4~40.5 MPa、温度 150~250℃条件下,使乙烯和乙酸乙烯酯共聚,可以得到乙烯-乙酸乙烯酯塑料(EVAC)。EVAC 可以用吹塑法或 T 型机头挤出成膜,主要用于生产收缩薄膜。

EVAC 的性能与乙酸乙烯酯含量和熔体流动速率(MFR)关系很大。当 MFR 一定时,乙酸乙烯酯含量提高,其弹性、柔韧性、相容性、透明度等均有所提高;乙酸乙烯酯含量降低时,性能接近于聚乙烯,刚性增大,耐磨性及电绝缘性能上升。当乙酸乙烯酯含量一定时,随 MFR 增加,软化点下降,加工性能和表面光泽改善,但强度有所降低。反之,随着 MFR 降低,冲击强度和耐应力开裂性能提高。

EVAC 薄膜与低密度聚乙烯薄膜相比具有如下特点:(1)热封温度低;(2)冲击强度高;(3)弹性好;(4)耐环境应力开裂性能好;(5)对湿气和空气阻隔性好;(6)耐低温性好;(7)爽滑性较差,摩擦系数较大;(8)可用高频热封合,但所需功率大于聚氯乙烯;(9)印刷性较好。

乙酸乙烯酯含量接近 7%~8% 时,薄膜可以被看作是改性低密度聚乙烯膜;但乙酸乙烯酯含量为 15%~20% 的薄膜更类似于柔韧的聚氯乙烯膜,但由于没有聚氯乙烯薄膜的增塑剂迁移问题,这种柔韧性能够长久保持。EVAC 薄膜可用作农膜、包装用膜和工业用膜。

(环塑网)

模塑聚苯乙烯泡沫塑料行业现状分析

模塑聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)是目前使用最多的一种缓冲材料,它以聚苯乙烯树脂为主体,加入发泡剂等添加剂制成。

我国 EPS 的生产企业约为 2000 家,主要集中在东北、江浙及北京、天津、河北,且其中以中小型企业为多,大型企业数量较少。目前,我国 EPS 生产势头良好,产品质量不断提高。

我国的绝热材料市场起步较晚,特别是有机类的绝热材料市场开发更是滞后。近十年来,国家积极倡导发展节能建筑,降低能源消耗,使得膨胀聚苯乙烯薄抹灰外墙外保温技术得到广泛的应用,绝热用 EPS 需求量不断增加,带动了 EPS 生产企业的快速发展。

当 EPS 板密度不足时,如果用于建筑外墙保温将导致其拉伸强度低,满足不了保温系统自重及饰面荷载对其剪切强度的承载要求,容易使 EPS 板中部被拉断;同时 EPS 板密度不足也会导致保温性能降低、吸湿性增加,影响建筑的保温效果,将起不到建筑节能保温的作用。

国家在 2007,2008,2010,2011,2012 年分别进行了 5 次绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料监督抽查,产品合格率分别为 95.1%,96.3%,97.5%,97.5%,97.8%。产品质量稳中有升,但还存在一定的问题,主要问题集中在表观密度、氧指数、燃烧分级等方面。

(环塑网)