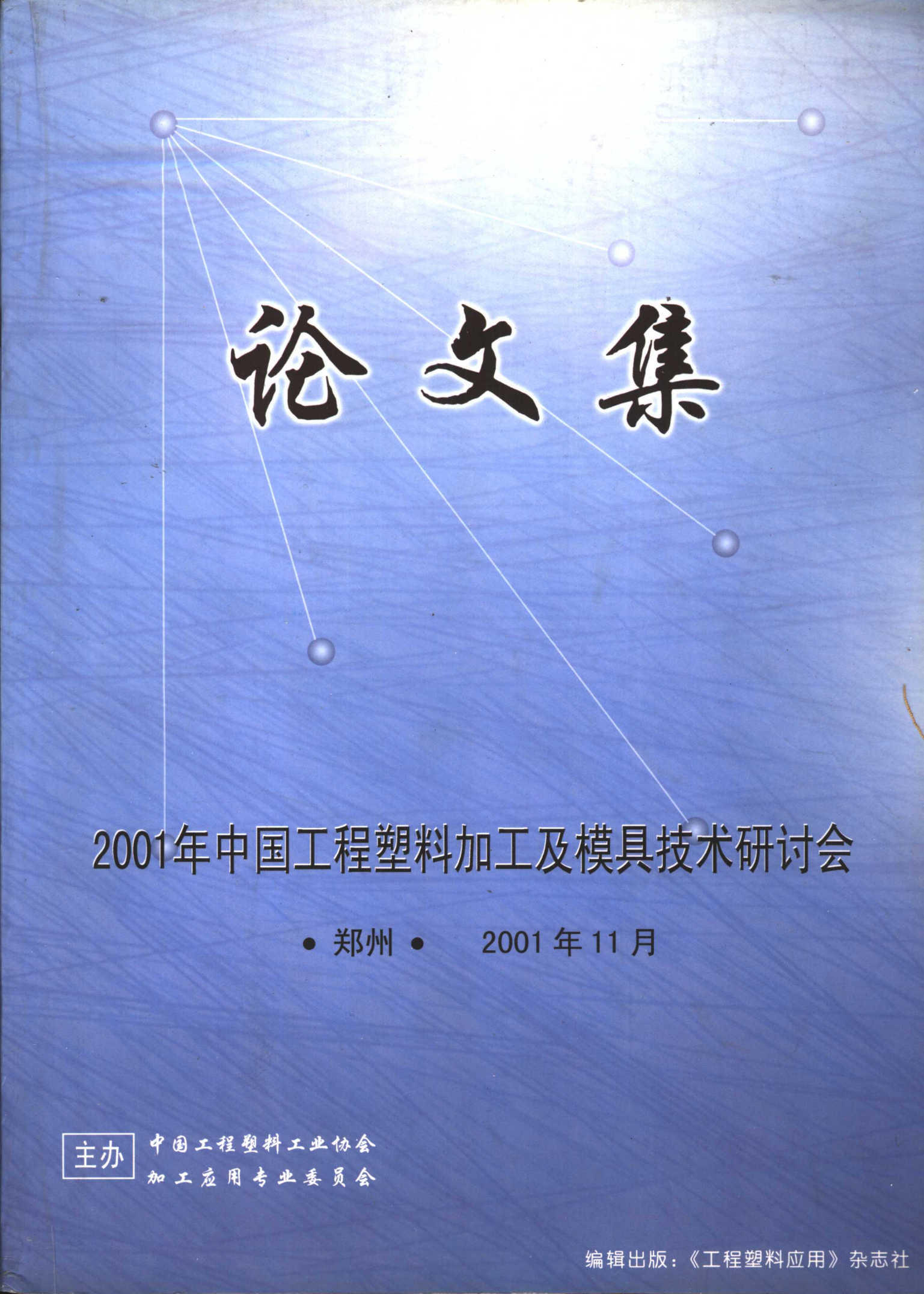




论文集

2001年中国工程塑料加工及模具技术研讨会

• 郑州 • 2001年11月

主办

中国工程塑料工业协会
加工应用专业委员会

编辑出版：《工程塑料应用》杂志社

序 言

材料是技术进步的基础与先导,随着传统工业经济社会向知识经济社会转变,工程塑料以其优异的性能及广泛的用途,已经成为现代社会不可缺少的材料。为了推动我国工程塑料加工及模具技术的进步,面对中国加入 WTO 对工程塑料产业的发展带来的机遇与挑战,加快中国工程塑料工业的发展,中国工程塑料工业协会加工应用专业委员会本着高水平、专业化的方针,组织召开了 2001 年中国工程塑料加工及模具技术研讨会。为配合本次会议,我们特编辑出版了这本论文集。

本论文集总共 80 篇,分两部分:第一部分是本次会议征集的优秀论文,共 40 篇,包括本次会议的特邀报告及工程塑料的加工、应用、模具设计制造、加工设备,以及计算机模拟技术等方面的最新成果;第二部分是从近 3 年中国工程塑料工业协会会刊——《工程塑料应用》上发表的有关工程塑料加工与模具的论文中优选出来的,共 40 篇,其中包括塑料选材与应用讲座 12 篇。这些论文,集中反映了我国工程塑料蓬勃发展的现状,展示了我国工程塑料加工及模具技术的新成果。

本论文集旨在为从事工程塑料加工应用研究、模具研究的技术人员与工程塑料生产、加工企业之间架起一座相互了解、共同发展的桥梁。它将以丰富的内容、详实的资料为工程塑料行业加强交流、互通信息、了解动态起到积极的作用。

让我们携起手来,共同创造我国工程塑料工业的美好明天。

中国工程塑料工业协会加工应用专委会

2001 年 11 月

目次

第一部分:2001 年中国工程塑料加工及模具技术研讨会应征论文

特邀报告

- 基于 CAE 技术的注塑模具设计 申长雨 王利霞 陈静波,等(1)
- 增容剂对 HDPE/PC 共混物性能的影响及评价 杨鸣波 郑学晶 李明忠,等(7)
- 塑料注射成型新工艺 陈静波 申长雨 李 倩,等(12)
- 用 ObjectARX 开发基于 AutoCAD 的塑模标准模架选择及模架零部件图形自动生成系统的研究
..... 吴崇峰 王华山 高雨茁(17)
- PET/MFMB 复合材料的研究 I . 结晶行为、形态结构及退火处理收缩率
..... 陈曼椒 官 瑾 吴文强,等(20)
- PET/MFMB 复合材料的性能研究 II . 力学性能、热性能及熔体流动性
..... 官 瑾 陈曼椒 冯海霞,等(24)
- 论快速成型技术的发展方向 杨占尧(27)
- 石油发酵尼龙 1212 的合成、性能及应用 刘民英 赵清香 王玉东,等(31)
- 聚氯乙烯共混改性研究 方少明 周立明(35)
- 塑料门窗优化下料及抗风压强度设计软件的开发 王亚明 高 峰 尹 波,等(39)
- 聚烯烃接枝马来酸酐的反应挤出研究 张广成(41)
- 芳纶纤维复合材料在天线工程中的应用 靳武刚(45)
- PET 瓶吹塑工艺分析 王备战(49)
- 超高分子量聚乙烯加工与改性技术进展 贾润礼 梁淑君 栗继宏,等(51)
- 聚合物/纳米复合材料研究现状及展望 曾伟丽(54)

模 具

- 热流道结构在注射模具中的应用 赵安民 王文生(57)
- 轿车行业精密塑料件的成型模具设计要点 刘宏彦 时书毅 闫永新,等(59)
- 应用 PLOYFLOW 对线缆包覆口模挤出的数值模拟 胡冬冬 陈晋南(63)
- 机械振动的注射成型工艺及模具设计探讨 李又兵 申开智 张 杰(66)
- 塑件加强筋背面缩陷分析及模具补偿方法 孙利民 申长雨(69)
- 塑料挤出模具设计的分析 吴有章(71)

加 工

- 聚甲醛双齿轮成型加工工艺研究 吴利英(73)
- 同向双螺杆挤出机捏合段三维非等温流动的数值模拟 彭 炯 胡冬冬 陈晋南(75)
- 注拉吹技术生产 PET 小瓶成型工艺探讨 刘士杰(78)
- PVC-U 管件塑化度的控制 马一清(80)
- MPPO 流变性及其注射成型工艺要素探讨 戴志宏(83)
- 塑料棒材挤出冷却过程分析 秦玉廷 黄 锐(86)

影响塑料注射成型工艺的主要因素	刘秀娥(90)
医用塑料瓶的选材及成型	刘士杰 胡红杰 王 兵,等(92)
通过工艺调整改善 PVC-U 排水管的冲击性能	范志冠(95)
聚烯烃管材挤出生产线的开发	熊明宇 郭奕崇(97)
注射工艺条件与 PP 成型收缩率的关系	曹民干(100)
计算机模拟技术在聚合物成型中的应用	张延恒 唐 跃(103)
改性聚苯醚雷达天线绝缘环的改进	岳 湘(106)
复合材料的老化研究	张亚娟 齐暑华(109)
石墨纤维/改性环氧复合材料的湿度效应	李志君 李学成 包建文,等(112)
聚氯乙烯增韧改性剂及发展状况	黄卫东 王 兰 王锡臣,等(115)
铸型尼龙成功应用事例	贾春晓 彭永元(120)
聚丙烯/粘土纳米复合材料研究进展	陆玉本 吴兆权 姜苏俊,等(125)
聚烯烃/饱和聚酯共混技术进展	沈玉海(130)

第二部分:《工程塑料应用》加工及模具论文优选

模 具

RTM 成型模具热平衡设计	焦 斌(133)
注塑机锁模机构 CAD 的研究与开发	单 方 陈 璞(136)
软硬质聚氯乙烯共挤模具设计	孔 新 宁海蓉 蒋文才,等(139)
冷却模拟技术在注射模及工艺参数设计中的应用	李 倩 董斌斌 杨明珊,等(142)
连续模块精密注塑模设计及成型条件	沈洪雷(146)
气体辅助注射模具设计及气针选择	李 坤 于同敏(149)
异型材支撑型内筋流道设计	胡益林 董 跃(152)
塑料模具 CAE 技术概况及发展趋势	申长雨 李海梅(154)
PVC-U 塑料异型材挤出模的调试	涂志刚 柳和生 孙燕萍,等(158)
医用化验瓶热流道注射模设计	钱应平 李 尧 陈 洪(161)
注射模具冷却系统设计的计算程序	顾正亮 刘海明(164)
PVC-U 管材模具设计与改进	宗大全 朱弟雄(167)
奥拓轿车前保险杠注塑模浇注系统的 CAE 分析	董祥忠 李年伟 沈洪雷(170)
玻璃纤维毡/聚丙烯复合材料模具	张麟峰 潘 敏 戴千策(174)
热流道叠式注塑模设计	李健心(176)
基于 LOM 原型的“金属树脂”模具材料的研究	刘志力 樊自田 李 焰(179)
聚苯乙烯注射模具点浇口大小的研究	李迎春 申开智(182)
光学塑料注射模具的设计制作与制品的成型工艺	赵继锋(185)

加 工

PVC-U 塑料门窗异型材挤出型坯的成型控制	魏 刚 肖前荣(188)
利用快速成型与硅橡胶模技术远程制造塑料件	杨占尧 杨小兰 赵 英(191)
聚醚酰亚胺成型技术探讨	周坤鲁 刘建柱(194)
酚醛复合材料的 RTM 熔芯成型	张 恒 张 力(197)

点浇口热流道注射成型 PP 圆椅	杨云波 陈 丽 王 欣(200)
精密注射成型技术探讨	胡海青(203)
聚合物熔融挤压堆积成型技术	江开勇(207)
振动力场下填充聚合物挤出过程研究	瞿金平 吴启保 彭响方,等(210)
如何快速生产注射塑料零件	魏礼和(214)
尼龙 11 的注射成型与挤出成型技术	晋日亚 钟国晋 张静婷(217)

讲 座

塑料选材与应用概述	吴智华(220)
建筑用塑料的选材	吕云伟(226)
通讯和家电用塑料的选材	刘 军 顾 宜(230)
交通运输用塑料的选材	杨 其(234)
航空和航天工业用塑料的选材	雷 毅(239)
化工防腐用塑料的选材	谢邦互(242)
电子电气行业用塑料的选材	张雄伟 黄 锐(246)
医用塑料的选材	关 键 顾 宜(251)
包装用塑料的选材	陈晓媛 范五一 王 港(255)
农用塑料的选材	于庆顺 杨鸣波 李忠明,等(260)
文教办公用品和家具用塑料的选材	阮文红(264)
体育设施和运动器械用塑料及复合材料的选材	李忠明 杨鸣波 黄 锐(267)

2001 年中国工程塑料工业加工及模具技术研讨会论文集

主办：中国工程塑料协会加工应用专委会

编辑出版：《工程塑料应用》杂志社

专委会秘书处·《工程塑料应用》杂志社

地址：济南市 108 信箱 邮编：250031

电话：(0531)5816706 转 802,5947355 传真：(0531)5947355

电子信箱：master@engplastics.net 网址：www.engplastics.net

出版日期：2001 年 11 月

基于 CAE 技术的注塑模具设计

申长雨 王利霞 陈静波 刘春太

(郑州工业大学橡塑模具国家工程研究中心 450002)

摘要 简要介绍了注塑模 CAE 技术的基本原理,对模拟结果进行了分析,并通过几个典型例子说明了如何利用 CAE 的分析结果解决注塑模设计中出现的问题。

关键词 注射成型 CAE 技术 模具设计

传统的注射模设计主要靠设计者的经验和直觉,通过反复试模、修模来修正设计方案,缺乏科学依据,具有较大盲目性,不仅使模具的生产周期长、成本高,而且质量也难以保证。随着塑料制品应用的日益广泛,传统的注射模生产方式已不能适应现代社会发展对塑料制品产量、质量和更新换代速度的需求。注射模 CAE 技术的出现,使人们能在设计阶段预测注射成型时塑料熔体在模具型腔中的流动情况及塑料制品在模具型腔内的冷却、固化过程,以便在模具制造之前就能发现设计中存在的问题,修改图纸而不是返修模具。注射模 CAE 技术就是根据塑料加工流变学和传热学的基本理论,建立塑料熔体在模具型腔中的流动、传热的物理数学模型,利用数值计算理论构造其求解方法,利用计算机图形学技术在计算机屏幕上形象、直观地模拟出实际成型中熔体的动态充填、冷却过程,定量地给出成型过程的状态参数(如压力、温度、速度等)。利用注射模 CAE 技术可在模具制造之前,在计算机上对模具设计方案进行分析和模拟来代替实际的试模,预测设计中潜在的缺陷,突破了传统上在注塑机上反复试模、修模的束缚,为设计人员修改设计提供科学的依据。CAE 技术的应用带来的直接好处是省时省力,减少试模、修模次数和模具报废率,缩短模具设计制造周期,降低成本,提高产品质量。

20 世纪 80 年代以来,在国际市场上出现了一些商品化的注射模 CAE 软件,如美国 AC Technology 公司的 C-MOLD、澳大利亚 MF 公司的 Mold-Flow 等,并用于指导实际生产,取得了显著的经济效益。国内是在“八五”期间才开始注射模 CAE 技术的研究、开发工作,近年来也陆续出现了一些具有自主知识产权的实用化注射模 CAE 软件,如郑州工业大学国家橡塑模具工程研究中心开发的 Z-MOLD 等。CAE 软件只是一种辅助分析的工具,因此,和其它工具一样,

能否做到物尽其用取决于用户的使用水平。尽管关于设计注射模和介绍注射模 CAE 技术的文献很多,但如何将 CAE 分析结果用于指导模具设计方面的文献并不多见。以下通过一些典型的 CAE 分析示例来说明如何用 CAE 技术解决模具设计中出现的问题。

1 流动分析及其在模具设计中的应用

流动分析的目的是预测熔体流经流道、浇口填充型腔的过程。通过流动模拟可帮助设计者优化产品和型腔设计,确定合理的浇口和流道,预测所需的注塑压力和锁模力,发现可能出现的缺陷。由于塑料熔体的非牛顿特性和流动过程的非等温、非稳态性,导致熔体充模流动过程模拟相当困难,必须借助于数值方法来实现。

流动分析的方法主要有两种:一种是分支流动法,它以一维流动分析为基础,把三维塑料件从几何上分解成一系列由一维流动单元串联组成流动路径,利用迭代计算,在满足各流动路径的流量之和等于总的注射量条件下使各流动路径压力降相等。这种方法计算时间短,但难以分析形状复杂的塑料件。另一种是流动网络法,它的基本思想是将整个型腔划分为网格,并形成相应于各节点的体积单元,建立节点压力和流入节点体积单元流量之间的关系,得到一组以各节点压力为变量的控制方程,并且根据节点体积单元的充填状况更新流动前沿。目前,流动分析普遍采用广义 Hele-Shaw 流动模型,利用有限元/有限差分法混合来耦合求解控制方程,它基本上采用流动网络法基本思想,利用控制体积法建立压力场求解的有限元方程,并对时间和沿厚度方向差分,建立温度场求解的能量方程,以实现注射模充填过程的动态模拟。

流动分析需要输入的数据主要包括材料的流变性质、物理性质、浇口和型腔的几何信息以及成型工

艺参数等,利用数值分析不仅可以获得诸如充模模式、熔接线和气穴的位置、注塑压力和锁模力大小等重要设计数据,而且可以获得不同时刻、不同位置模具内的温度、压力、剪切速率等物理量的变化和分布。

1.1 注射模流动分析结果的分析

1.1.1 压力

在流动分析中,认为某一点的压力沿厚度方向不变,只是平面位置和时间的函数。沿流动路径中任意两点之间的压力差或压力梯度的存在是流动发生的必要条件,压力和压力梯度的大小取决于聚合物熔体在模具中所遇到的阻力大小,因此,模具中阻碍流体流动的区域如薄壁截面、细流道、长流道等,以及高粘度的聚合物熔体需要很高的充填压力和压力梯度。在充模过程中,希望得到均匀一致的压力梯度分布,非均匀的压力梯度往往意味着滞流、过压(飞边、溢料)、欠压(会引起过大的收缩),因此在充模过程中应尽量避免压力分布的突变。

1.1.2 熔体前沿分布

熔体前沿分布是模具中任意点熔体前沿到达的时间,平衡流动是模具设计中的一个主要的设计准则。对于单型腔模具,平衡流动意味着不允许一个单独的区域最后被充满;对于多型腔模具意味着不同型腔同时被充满,否则,提前充满的区域或型腔会过早冷却而引起过压,制品性能的一致性将无法得到保证。对于单型腔模具来说,可以通过修改浇口位置或制品厚度以得到均匀一致的平衡流动;对于多型腔模具,利用经验和手工往往是无法达到平衡流动的,但借助于流动分析可很方便地通过修改流道的尺寸实现流动平衡。

除此之外,利用熔体前沿分布可方便地确定熔接线和气穴位置,同样可以通过修改浇口位置和尺寸以及制品厚度来优化熔接线和气穴位置,使熔接线处于应力不敏感和非表面区域,使气穴处于易于排气的位置。

1.1.3 体平均温度

在充模过程中熔体温度不仅随时间和位置变化,而且沿厚度方向也发生变化,无法用一个单一的温度分布来描述成型过程中物料的温度变化。目前普遍采用体平均温度来描述温度变化的综合效应。它是温度沿厚度方向的速度加权平均,具有明确的物理意义,表征了一点的能量输送情况。在连续流动的区域,体平均温度较高,在滞流区域或流动停止

区域,体平均温度下降很快。体平均温度分布中的热斑区显示了该区域的剪切热过高,如果体平均温度接近或超过聚合物的降解温度,就必须修改热斑区的制件设计或工艺条件,否则,材料降解就会导致制品变脆、黑斑等成型缺陷(见图 1a)。同时,温差的存在会引起制件的收缩和翘曲,因此希望制件中的体平均温度均匀一致。

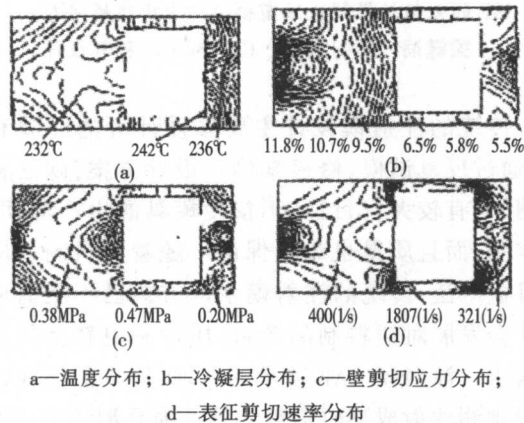


图 1 充模结束后数值分析结果等值线表示

1.1.4 壁剪切应力

壁剪切应力是指熔体/冷凝层或熔体/模壁处的剪切应力,它与该处的压力梯度成正比。对于目前普遍采用的分析理论,在中面处的剪切应力为零,并沿厚度方向呈线性增加,在固/熔界面达到最大,因此,壁剪切应力表征了该截面处最大应力水平。

剪切应力间接表示了分子和纤维的取向程度。剪切应力越高,分子取向越明显,特别是在制件表面,这种影响尤为突出。同时,对于流动稳定性(如熔体断裂行为),一般都通过实验直接与剪切应力水平联系起来,因此,在充填过程中应该限制剪切应力水平,以保证流动的稳定性(见图 1c)。

1.1.5 表征剪切速率

像温度一样,充模过程中剪切速率也沿厚度变化,不同于剪切应力,剪切速率反映了材料的变形程度。任意点处变形程度的描述并不是通过沿厚度方向的加权平均,而是通过壁剪切应力与流速 S 的计算得到,即:

$$\eta_a = h^3/s, \gamma = \tau_w/\eta_a$$

式中: η_a ——粘度;

h ——厚度;

S ——流速;

τ_w ——壁剪切应力;

γ ——表征剪切速率。

表征剪切速率是任意截面上剪切速率水平大小的量度,它可以表征高剪切速率和高粘性热区域,它不允许超过树脂提供的参考值。超过这个值就会引起降解(见图 1d)。

1.1.6 冷凝层分布

冷凝层厚度分布表征了充填过程中任意点处的冷凝状况,充填过程中当对流热和粘性热在某些区域与冷却效应平衡时,冷凝层厚度不变;当流动停止时,冷却将占主导地位,冷凝层就会快速增加(见图 1b)。冷凝层厚度对流动阻力影响很大,流动截面随着冷凝层厚度的增加而减少,当某些截面提前完全冷凝时,就会发生滞流现象或充填不满,特别是当产品中有厚薄差异较大的区域时,薄壁处的塑料熔体将会发生滞流现象。如果塑料熔体停滞时间过长,将会在停滞点完全冷凝,进而造成短射或流动剪切应力急剧上升。而当凝固的熔体被推向制品表面时,将会在表面形成滞流斑。

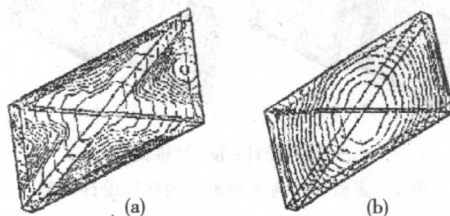
除了这些分析结果外,利用流动模拟还可以得到型腔中的速度分布、熔体前沿速度和面积分布,以及锁模力、熔接线和气穴位置等。对于工程技术人员来说,只有充分认识各种结果的物理意义以及这些结果对模具设计、工艺条件的影响等,才能更好地利用这些知识解决实际生产中遇到的问题。

1.2 流动分析在模具型腔设计中的应用

对于形状复杂的注射模型腔,产品形状及其厚度的变化都会影响到它的充填模式。不同区域的充填信息以及关于缺料、熔接线、气穴位置等信息对型腔设计至关重要。为了得到这些信息,传统的方法都是利用实验模具或真实模具经过一次次的“缺料”注射来得到,而利用流动分析可以在产品的概念设计阶段得到型腔设计中的一些关键信息,如熔接线/熔合线和气穴位置、流动平衡程度、跑道效应、熔体的滞流和加速流动及任一时刻的充填状况等,利用这些分析结果可判断如何修改产品以获得较佳的充填模式。

图 2 为一个带有筋条浅盒制品,侧壁和筋条厚度为 3 mm,底部厚度为 1.5 mm,从底部中心进料,其充填模式见图 2 a,该设计在产品的底部形成了气穴,其原因主要是由于壁厚变化所引起的非均匀流动(跑道效应)收敛所致,如果该处的空气无法排出,会在产品底部形成焦痕,必须在气穴处设计一个顶出销使空气由顶出销孔逸出。改进设计时可通过改变浇口位置或制品厚度,尽量避免气穴出现在模具

内部,而使气穴出现在产品的边缘或分模线处,空气可由模具间隙或外加的排气孔排出,图 2b 为底部厚度增加到 3mm 时的分析结果。由此可以看出,熔体前沿均匀地向前推进,最终将气体全部挤到了产品的边缘,使气体从分型面排出,简化了模具结构。

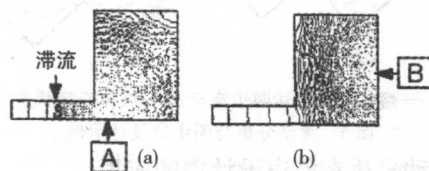


a—一般设计; b—改进设计

图 2 流动分析在型腔设计中的应用

1.3 流动分析在浇口设计中的应用

浇口设计主要包括浇口的数目、位置、形状和尺寸的设计。浇口一般都比较细小,因此阻力很大,细微的变化都会对塑料熔体的充填产生很大的影响。浇口的数目和位置主要影响充填模式,而浇口的形状与尺寸主要影响熔体流动形态。浇口设计一方面应保证提供一个快速、均匀、平衡、单一方向流动的充填模式,另一方面应避免射流、滞流、凹陷等现象的发生。利用流动分析可以发现滞流现象所在位置,通过修改浇口位置来改善这一现象,图 3 为一简单示例。

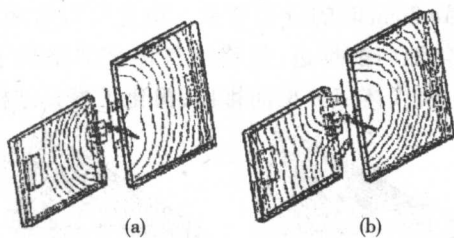


a—产生滞流的浇口; b—避免滞流的浇口

图 3 流动分析与避免滞流的浇口设计示例

流动平衡要求所有流动路径在同一时间被充满,否则会由于欠压或过压引起非均匀取向而产生残余应力;浇口位置和数目对流动平衡影响很大,对于复杂制件,我们往往无法确定合适的浇口位置和数目以保证型腔内的流动平衡,利用流动分析可很快地预测到不同浇口位置和数目对流动平衡的影响。图 4 为一模两腔的洗衣机盖板。初始设计(图 4 a)时考虑到大盖板充填体积大,在大盖板上设置了两个浇口,小盖板上一个浇口,试模时发现大盖板已发生胀模而小盖板还未充满。利用流动分析也充分验证了这一点,究其原因小盖板的结构复杂,流动阻力较大,充填困难,导致两个型腔中流动不平衡。根据流动分析结果,在小盖板上设置两个扇形

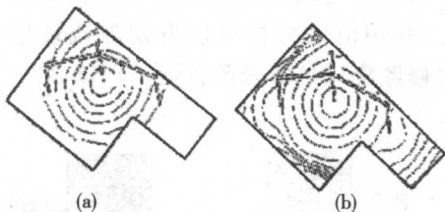
浇口,而在大盖板上只设置一个浇口,使流动达到了平衡并使注塑压力大大降低,如图 4 b 所示。



a—初始设计; b—改进设计

图 4 流动分析与平衡流动的浇口设计示例

在多浇口型腔模具中,经常会出现流动不平衡,熔接线位置不易改变等问题,利用阀浇口可以控制每一浇口打开的时间,因此可以改变充填模式和熔接线位置。利用流动分析可以帮助设定不同阀浇口的打开时间以获得较好的充填模式和熔接线位置。图 5 给出了利用阀浇口设计来消除多浇口型腔模具中熔接线应用实例,图 5 a 为开始时只有中心浇口打开,当熔体前沿到达两边浇口(图 5 a 状态)时再打开两边浇口,这时中心浇口可以关闭也可继续充填,图 5 b 为最后充满状态。



a—熔体前沿到达两边浇口; b—熔体充满状态

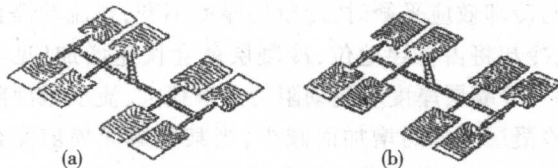
图 5 流动分析与阀浇口设计示例

1.4 流动分析在流道设计中的应用

流道主要用来将塑料熔体输送到各浇口,流道的截面尺寸和长度将影响其流动阻力的大小。如果流动阻力太大,会使注塑压力大部分浪费在流动内而降低型腔内压力降所占的比例;但如果减小流动阻力而任意增大流道截面尺寸,则会延长冷却时间,增加材料消耗。利用流动分析可以了解流道内的压力降与流量变化,从而确定适当的流道尺寸。

流道的布置一般可以分为自然平衡流道布置和非自然平衡流道布置两类。对于自然平衡流道布置,可以利用流动分析,按照流道设计原则通过改变各流道段的长度和截面尺寸,调整流道系统内的压力损失,使得充模压力最优。对于非自然平衡流道布置,利用流动平衡分析,调整主流道和各分支流道的长度和截面尺寸,使各型腔基本上同时充模以达到人工平衡布置。图 6 为一模八腔非自然平衡流道

设计示例。如图 6 所示,在各分支流道和流道采用了相同的截面尺寸,当注射速率较低时,由于熔体在首先遇到的浇口处发生滞流,导致最外边的型腔将首先充满。而当注射速率较高时,最里面的型腔将首先充满,如图 6 a,在给定的工艺条件下,利用流动平衡分析可以直接给出合理的浇道尺寸而使每个型腔同时充满,见图 6 b。



a—非平衡充填; b—改变流道尺寸后的平衡充填

图 6 多型腔模具的流动平衡分析

1.5 流动分析在模具设计中的其它应用

流动分析还能够得到其它许多有用的信息如流动前沿面积(MFA)、锁模力、剪切应力和剪切速率等,这些信息也能够对模具设计提供很大的帮助。MFA 是指任意时刻熔体前沿面积的总和,浇口位置、流道尺寸等都会因影响充填而改变 MFA。因此 MFA 可以用来检验流动平衡程度,流动愈平衡,则 MFA 变化愈小。对于给定的复杂制件模具,可以利用流动分析得到的 MFA 曲线来帮助设计者比较不同流道及浇口设计,以找到最佳的平衡充填设计方案。

锁模力的计算是将型腔内各部位的熔体压力乘以该部位在开模方向的投影面积叠加而得到。要降低锁模力的最大值,可利用流动分析来修改型腔、流道、浇口的设计以设法降低充填所需压力。另外,熔体流动性愈好,需要的锁模力也就越小。

剪切应力和剪切速率的大小反映了熔体在流动过程中的分子受力大小以及分子取向程度,分子承受过大的力,将会使分子链断裂而影响制品的力学性能,分子取向过大会产生残余应力而造成制品变形。利用流动分析可以检查剪切应力是否超过上限值,而改善设计使剪切应力最小也是模具设计的基本原则。

2 冷却分析及其在注射成型及模具设计中的应用

冷却过程中模具型腔温度的高低及均匀性直接影响到塑料件的生产效率和质量。注射模的温度状态受多种因素所影响,但其控制和调节主要靠冷却系统来完成。一个高效、均衡的冷却系统可以缩短

冷却时间,提高成型效率,并减少塑料件的残余应力,保证塑料件的尺寸精度和稳定性,提高塑料件质量。

注塑模冷却过程是一个瞬态不稳定的导热过程,模具内任一点的温度和热流受冷却系统中各几何参数和物理参数所影响,需要用具有周期性的边界条件的三维热扩散方程来求解。但由于计算起来太复杂,不可能实际应用,因此,考虑到当模具稳定运转后,一个周期内模具内任一点的温度随时间的变化一般较小,可以用稳态冷却代替瞬态过程。模具的三维温度场计算最终归结为对 Laplace 方程的求解。常用的解法为有限差分法和有限元法,但它们都需离散整个区域,而模具三维温度分析关心的只是模具型腔表面的温度,因此不适用。边界元法只需离散区域边界,适用于模具温度场分析。但由于注射模的结构特点,模具内部尺寸相差悬殊,离散时会产生畸形单元,导致边界元法无法计算,或需将单元划分得很小,计算量很大。为此,可采用断裂力学中“处理裂纹问题的方法”将两个在空间基本重合的面用一个中面来代替,中面上的物理量为原来两个面上物理量的差或和;对冷却管道而言,冷却管道的温度沿轴向变化较大,而周向温度变化较小,借鉴处理含有圆孔的二维区域的处理方法将冷却管道处理为线源,只需沿其轴向进行一维离散,避免了周向离散。通过上述处理,冷却过程的分析在保证计算稳定性和精度的前提下,计算量大大减少。

对注射模进行冷却模拟需要输入的数据有几何参数(包括型腔的形状、尺寸及冷却孔的位置、尺寸和连接关系等),材料性能参数(包括模具材料、塑料材料和冷却液的密度、比热容、热导率及冷却液的粘度等)和成型工艺参数(包括塑料熔体的注射温度、脱模温度、冷却液的流量及温度等)。利用冷却分析软件可预测出冷却介质的流动状态、模壁的温度和热流分布及冷却时间等,为设计人员评估设计方案、优化冷却系统设计提供了先进实用的工具。

2.1 注射模冷却分析结果的分析

2.1.1 冷却时间

冷却时间是指塑料件从注射温度冷却到指定的脱模温度所需的时间。根据塑料件的冷却时间分布,设计人员可以知道塑料件的哪一部分冷却得快,哪一部分冷却得慢。理想的情况是塑料件的所有区域同时达到脱模温度,而且塑料件总的冷却时间最短。

2.1.2 模具型腔与型芯的温差

模具型腔与型芯的温差反映了模具冷却的不平衡程度,是由于型腔和型芯冷却的不对称造成的,是导致塑料件产生残余应力和翘曲的主要原因。对于温差较大(大于 10°C)的区域,应修改冷却系统设计或改变成型工艺条件(如冷却液温度等),减小模具在此区域冷却的不平衡程度。

2.1.3 冷却液的流量、雷诺数(Re)分布及温升

冷却系统中冷却液的流量分布及流动状态直接关系到冷却系统的冷却效果。冷却液若以层流的流动状态流动,模具内的热量在冷却孔的径向只能以热传导的方式进入冷却液中,冷却效率低。而紊流时冷却液在孔径方向有热量传递,热量可以以热传导和对流的方式有效地从孔壁传入冷却液中,冷却效率高。因而如何确保冷却液在紊流状态下工作就显得十分重要。通常用雷诺数(Re)来判断冷却液是处在层流状态还是处在紊流状态。当 $\text{Re} < 2\,300$ 时为层流状态;当 $2\,300 < \text{Re} < 10\,000$ 时为过渡流; $\text{Re} > 10\,000$ 时为紊流状态。为使冷却液处于紊流状态,冷却液的流速(流量)应达到一定值,实际生产时一般应使 $10\,000 < \text{Re} < 30\,000$ 。

冷却液的温升是指冷却液出口温度与进口温度之差,如果温升小于零,则表明冷却液放热,即加热模具。好的冷却系统设计应该使冷却液的温升小于 2.5°C ,如果温升过大,则应增大冷却液流量。

2.1.4 模壁的温度及热流

模壁(型腔和型芯表面)的温度分布反映了模壁温度的均匀性。高温区域(热斑)通常是由于模具冷却不合理造成的,应当避免。模壁温度的最大值与最小值之差反映了温度分布的不均匀程度,不均匀的温度分布可以产生不均匀的热残余应力从而导致塑料件翘曲。

模壁(型腔和型芯表面)的热流分布反映了模具冷却效果和塑料件放热的综合效应。对于壁厚均匀的制品来说,热流小的区域冷却效果差,应予改进;对于壁厚不均匀的制品来说,薄壁区域热流较小,厚壁区域热流较大。

2.2 冷却分析在模具设计中的应用

图7为蓄电池盒(材料为PP)注射模的冷却系统几何模型。该蓄电池盒底部和侧壁厚度为 5 mm ,中间隔板厚度为 2.5 mm 。该产品模具为3板双分型面结构,从产品3个空腔底部的中心进料,模具材料为P20。该模具冷却系统由4条冷却水道组成,

型腔上 3 条(环绕侧壁 2 条,底部 1 条),型芯上 1 条(有 3 个翻水孔)。所需的工艺参数为熔体温度 240℃,冷却水温度 40℃,冷却水流量 10 L/min,脱模温度 110℃。图 8 和图 9 分别为由冷却分析得到的塑料件壁厚方向的温差分布及冷却时间分布。

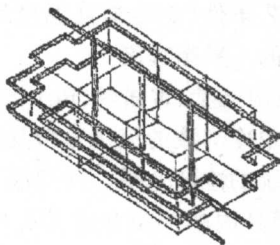


图 7 蓄电池盒注射模冷却系统几何模型

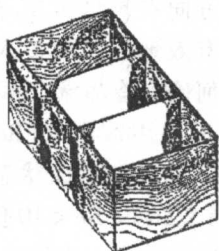


图 8 塑料件壁厚方向的温差分布(最大 57℃,最小 0℃)

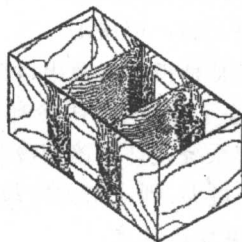


图 9 塑料件壁厚方向的冷却时间分布(最大 96 s,最小 75 s)

由图 8 可看出,该设计方案中,型芯与型腔的冷却并不均衡,每个空腔的角上温差最大,由此产生的不平衡力矩将可能导致塑料件翘曲。由于型芯冷却水管中的 Re 已超过 10 000,冷却介质已处于紊流状态,增大型芯上翻水孔中的流量不能明显改善冷却效果。为改善冷却不平衡程度,只能在型芯上增设翻水孔或增大翻水孔直径并使翻水孔顶端靠近模壁,冷却介质的流量也应增加,以维持冷却介质的紊流状态,保证有效的换热。从图 9 可以看出,由于制

品厚度的差异,中间隔板较四周和底部冷却得快,收缩较小,冷却速率不同产生的收缩应力可能导致隔板变形。此外要使箱体的底部和四周得到足够冷却,必须延长冷却时间。为减小和避免隔板变形,应减小不同部分冷却速率的差异,可通过减小箱体四周和底部的厚度来实现。如用加强筋的办法在满足塑料件刚度要求的条件下将厚度比从 2:1 减小到 1.5:1,这样既可改善产品质量,又可明显缩短冷却时间,提高成型效率。

3 结语

尽管 CAE 技术的出现使注射模设计从传统的经验和技艺走上科学化的道路,在一定程度上改变了注射模传统的生产方式,但目前 CAE 技术并不能代替人的创造性工作,只能作为一种辅助工具帮助人们去判断设计方案是否合理,还难以提供一个明确的改进方向和尺度,仍需通过反复交互分析(分析-修改-再分析)才能将设计人员的正确经验体现到模具设计中去,而设计方案的确定在很大程度上仍需依靠设计人员的经验和水平。随着 CAE 技术的深入研究,人们正在致力于将优化技术与 CAE 技术有机结合起来,实现注射模的自动、优化设计,但目前尚无实用化的软件。

注射成型过程中,塑料熔体在模具型腔内的流动、传热过程是非常复杂的物理过程。在对模具充填过程和冷却过程进行数值模拟时,需作适当简化,否则会无法求解,或者即使能求解但由于计算量太大,耗时过长,仍无法在工程实际中应用。为了充分地用好 CAE 软件,用户应尽可能多了解一些 CAE 软件所作的简化和假设,以正确判断和解释分析结果。

参考文献

- 1 Manzione L T. Applications of Computer-Aided Engineering in Injection Molding. New York: Hanser Publisher, 1987.
- 2 申长雨,等. CAE 技术在注塑模设计中的应用. 模具工业, 1998(3)
- 3 申长雨,等. 注塑模充填过程 CAE 技术 II—工程应用. 模具工业, 2001(3)
- 4 申长雨,等. 注塑模冷却过程 CAE 技术. 模具工业, 2001(4)

DESIGN OF PLASTIC INJECTION MOLD BASED ON CAE TECHNIQUE

Shen Changyu, Wang Lixia, Chen Jingbo, Liu Chuntai

(Zhengzhou University of Technology, APPT NERC 450002)

ABSTRACT In the paper, CAE technique of the plastic injection molding are presented and the simulation results are explained and analyzed. The paper illustrates how to use CAE results to optimize injection mold design with some typical examples.

KEYWORDS injection molding, CAE technique, mold design

增容剂对 HDPE/PC 共混体系性能的影响及评价

杨鸣波 郑学晶 李忠明 冯建民

(四川大学高分子科学与工程学院,成都 610065)

摘要 介绍了增容剂(LDPE-g-DABPA)对高密度聚乙烯(HDPE)/聚碳酸酯(PC)共混体系性能的影响,并系统研究了增容剂对 HDPE/PC 共混体系形态及拉伸性能、冲击性能、热性能、流动性能的影响。结果表明,增容体系与未增容体系相比,拉伸强度基本持平,冲击强度变化极大,耐热性能略有下降,流动性能改善较多。其中,在 HDPE/PC/LDPE-g-DABPA 为 85/15/16 时,体系拉伸强度没有变化,而冲击强度由 13.86 kJ/m 增加到 55.31 kJ/m,提高了 3 倍, MFR 由 1.65 g/10 min 增加到 2.16 g/10 min。用裂纹扩展功(G_{IC})评价 LDPE-g-DABPA 的增容效果。测定 HDPE/PC/LDPE-g-DABPA 的 G_{IC} ,结果表明,加入增容剂后,体系的 G_{IC} 由原来的 0.0955J 增加到 0.2025J,提高了 1 倍多,说明 LDPE-g-DABPA 的加入的确增强了 HDPE 与 PC 的界面作用力,起到了良好的增容效果。

关键词 HDPE/PC 共混物 增容剂 裂纹扩展功 评价

1 前言

随着科技的进步、社会的发展,人们对材料的要求越来越多样化,要求材料既耐高温又易于成型加工;既有较高的韧性又有较大的刚度;既有较好的持久性又要求材料价格低廉。显然,单一的聚合物材料难以达到这些要求。将两种或两种以上的聚合物进行共混改性是开发新型高分子材料的一个重要途径,这也是聚合物工业的一种发展趋势。其中,将大品种聚烯烃进行共混改性,使其可作为工程塑料或结构材料使用是许多研究者感兴趣的研究方向。

聚烯烃(PO)价廉、成型加工性能优异、耐化学腐蚀性能好,是产量最大的通用塑料。但 PO 分子链化学结构决定了它热力学性能较差,不能满足人们对材料高强度、高模量的要求。双酚 A 型聚碳酸酯(PC)具有突出的冲击韧性、优良的电绝缘、较宽的使用温度范围及优异的尺寸稳定性,是一种综合性能良好的工程塑料。但 PC 易应力开裂、对缺口敏感、加工流动性较差,使应用范围受到限制。将 PC 与 PE 等聚烯烃进行共混改性,不但可以使各组分性能互补,还可根据实际需要进行材料设计,以期得到性能优异的新材料。

对聚烯烃/工程塑料共混体系,所查文献表明,研究者开发了一系列用于 PO/PA 体系的增容剂,如 乙烯/甲基丙烯酸/甲基丙烯酸盐离聚物, 乙烯/甲基丙烯酸/丙烯酸异丁酯三元共聚物, 马来酸酐接枝苯乙烯/乙烯/苯乙烯嵌段共聚物(SEBS-g-MAH)等,得到了较好的增容效果。这些增容剂不仅能与 PA 发生化学反应,而且能与 PA 的酰胺基形成氢键。近年来的研究热点之一是离聚体(ionomer),这是不同

组成的 PE 和马来酸酐的无规共聚物,其酸被锌、钠等不同程度地中和。如 Willis 在 PE/PA 体系中只加入 0.5% 离聚体作增容剂便明显改善了两相间的粘接情况,使分散相尺寸减小到 1/3。用 FTIR 研究发现,PA 的胺基和离聚体的羧基间形成了一定程度的氢键,这种特殊相互作用大大增加了二者间的相容性。适用于 PE/PET 共混体系的增容剂主要有 PE-g-MAH, PE-g-MI(马来酰亚胺), PE 接枝甲基丙烯酸甲酯等。但适用于 PE/PC 共混体系的增容剂并不多见。文献中报道的主要有苯乙烯/乙烯/丁二烯嵌段共聚物(SEBS)和 乙烯/甲基丙烯酸/甲基丙烯酸盐离聚体等^[1~5]。

在所查文献中,关于不相容共混体系形态研究的报道很多,而事实上,共混物作为材料使用,人们更关心的是其性能如何。所以,对材料的研究,形态和性能缺一不可。文献中,对 PE/PC 共混体系,行之有效的增容剂并不多见,评价增容效果的方法也仅停留于形态及热、力学性能的定性比较,而如何表征与控制界面性能以及深入了解界面行为与材料总体性能的关系成为共混改性的重要研究方向之一。

笔者介绍了 HDPE/PC 共混体系的增容剂(LDPE-g-DABPA)^[6,7]对共混体系性能的影响,系统研究了增容剂对 HDPE/PC 共混体系形态及拉伸性能、冲击性能、热性能、流动性能的影响。并用裂纹扩展功(G_{IC})评价 LDPE-g-DABPA 的增容效果。

2 实验

2.1 主要原料

HDPE:5000 s,燕山石化公司;

PC:k1300,日本帝人化成公司;

LDPE:18D,大庆石化公司;

二烯丙基双酚 A:化学纯,华东理工大学;

二甲苯:分析纯,湖北石首化学试剂厂;

过氧化二苯甲酰:分析纯,成都市鸿鹤化工试剂厂。

2.2 主要仪器和设备

单螺杆挤出机: SJ-20A $\times$ 25, 上海轻机模具厂;

精密注射机: PS40E5ASE, 日本日精树脂公司;

英斯特朗万能材料试验机: 4302, 美国 INSTRON 公司;

扫描电子显微镜: X-650, 日本 HITACHI 公司;

红外光谱分析仪: NP-1, 中科院沈阳科学仪器厂;

差示扫描量热仪: DSC-2, 美国 PERKIN-ELMER 公司;

X-射线光电子能谱: NP-1, 中科院沈阳仪器厂。

2.3 主要工艺条件

(1)挤出共混条件 温度设定(由加料段至口模段)($^{\circ}\text{C}$):140,190,230,265,275,270;螺杆转速:60 r/min, 加料螺杆转速:15 r/min, 切料机牵引速度:5.5 r/min。

(2)注射制样条件 温度设定(由料斗至喷嘴)($^{\circ}\text{C}$):190,250,270,260;注射速率(%):15,15,15,50;注射压力(%):40,40,40

2.4 性能测试

拉伸性能:按 GB1040-79 进行,拉伸速率 50 mm/min;

缺口冲击强度:按 GB1043-79 进行;

熔体流动速率:按 GB3682-89 测试;测试温度 270 $^{\circ}\text{C}$,负荷 2.16 kg;

DSC 测试:升温速率 20 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$, N_2 气氛;

维卡软化点:按 GB1633-79 测试,介质为硅油,升温速率 120 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$,负荷 1000 g;

形态观察:电镜,试样液氮脆断,断面喷金。

3 结果与讨论

3.1 增容剂最佳用量的确定

增容剂能改进共混效果的主要原因是降低了共混物两组分之间的界面张力,促进相分散更加均匀、稳定,增加界面结合力,这一效果类似于乳化剂在油水体系中的作用。正如乳化剂在油水体系中有一最佳用量一样,增容剂在共混体系中也有一最佳用量。当增容剂用量太少时,界面没有足够多的增容剂将两相拉在一起,故增容效果难以体现。当增容剂用

量过多时,增容剂分子链易于在界面处相互缠结,自成一相。而由于增容剂本身的热、力学性能低于体系的性能,故过多的增容剂反而使共混物性能下降。故本实验首先考察了不同增容剂用量对 HDPE/PC 75/25 体系性能的影响。图 1 为共混体系拉伸强度和冲击强度随增容剂含量变化的关系。

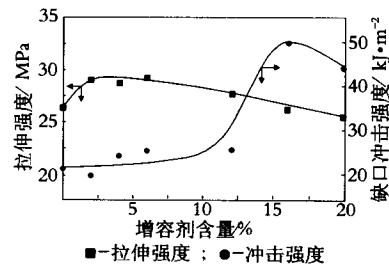


图1 LDPE-g-DABPA 含量对 HDPE/PC = 75/25 体系拉伸和冲击强度的影响

从图 1 可以看出,随着增容剂用量的增加,体系拉伸强度先是略有上升,然后略有下降,但均未低于未增容体系的拉伸强度。增容剂使体系冲击强度发生较为显著的变化。在增容剂含量较少时(<12%),体系冲击强度增加不多;当增容剂用量高于12%时,体系冲击强度迅速增加,并在用量为16%处达到最高值,其冲击强度由未增容体系的 16.91 kJ/m^2 增加到 48.46 kJ/m^2 ,提高了近 2 倍。由于增容剂含量为 16% 时,体系拉伸强度没有降低而冲击强度提高了近 2 倍,故选取 16% 为增容剂最佳含量。

3.2 增容剂对体系拉伸性能的影响

图 2、表 1 分别为 HDPE/PC 与 HDPE/PC/LDPE-g-DABPA 的拉伸强度及断裂伸长率与 PC 含量的关系。加入增容剂后,体系拉伸强度略有下降,但相差不多,断裂伸长率也相差不多。由于增容剂本身的拉伸强度低,且添加量较大,而材料的拉伸强度主要取决于连续相的性质,所以增容体系的拉伸强度下降。但由于增容剂可以使两相作用力增加,使 PC 能承担更多的拉伸应力,使共混体系的拉伸强度下

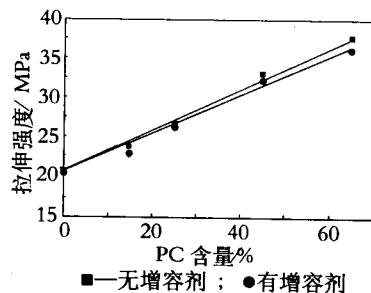


图2 PC 含量对有无增容剂的 HDPE/PC 共混物拉伸性能的影响

降得不多。

表 1 PC 含量对有无增容剂的 HDPE/PC 共混体系断裂伸长率的影响

项 目	HDPE/PC 配比			
	85/15	75/25	55/45	35/65
断裂伸长率/%				
无增容剂	340	280	120	40
有增容剂	330	200	100	70

3.3 增容剂对体系冲击性能的影响

图 3 为 HDPE/PC 与 HDPE/PC/LDPE-g-DABPA 的冲击强度与 PC 含量的关系。

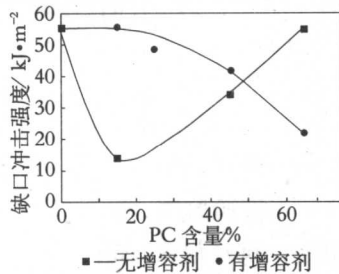


图 3 PC 含量对有无增容剂的 HDPE/PC 共混物冲击强度的影响

由图 3 可见,增容剂的加入使共混体系冲击性能发生了极大的变化,不仅冲击强度值差异极大,而且两曲线随 PC 增加的变化趋势改变。增容剂的加入使体系在 PC 含量较低时冲击强度大大增加。其中,PC 为 15% 时,增容体系冲击强度由未增容时的 13.86 kJ/m² 增加到 55.31 kJ/m²,提高了 4 倍多;PC 为 25% 时,体系冲击强度由原来的 26.40 kJ/m² 增加到 48.46 kJ/m²,提高了近 1 倍,这是因为 LDPE-g-DABPA 能增加 HDPE/PC 两相的界面作用力,降低界面张力,使材料受外力作用时应力能更好地在两相间传递,使 PC 承担更多的应力,使界面抵抗裂纹扩展的能力增加,故体系冲击强度大大增加。当 PC 进一步增多时,体系冲击强度没有增加,反而降低得较多。这是因为自制增容剂的接枝率比较低,DABPA 形成的支链比较少,又由于 DABPA 活性小,所形成的支链也比较短。PC 含量高时所添加的增容剂不能提供足够多的 DABPA 与 PC 相作用,增容效果不能体现,反而由于 LDPE-g-DABPA 粘度低,进一步加大了两相粘度比,更加不利于两相的分散,使体系冲击强度降低。当 PC 含量高时,必须加大增容剂用量才能使体系冲击强度增加,但这必将对体系拉伸强度、耐热性等性能产生不利影响。在 PC 含量低于 50% 时,增容体系冲击强度高于未增容体系,这已经达到了我们用 PC 改性 HDPE 的目的。

3.4 增容剂对体系流动性能的影响

图 4 为 HDPE/PC 与 HDPE/PC/LDPE-g-DABPA

的熔体流动速率(MFR)与 PC 含量的关系。

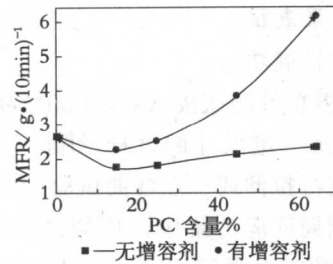


图 4 PC 含量对有无增容剂的 HDPE/PC 共混物 MFR 的影响

由图 4 可见,增容剂的加入使体系 MFR 增加较多,改善了体系加工性能。这是因为增容剂使两相界面结合力增加,又由于增容剂 LDPE-g-DABPA 本身的流动性好,带动了 PC 的流动,且增容剂易于迁移至共混物和容器壁之间,减小了共混物与容器壁的摩擦,故体系 MFR 提高。

3.5 增容剂对体系热性能的影响

表 2 为 HDPE/PC 与 HDPE/PC/LDPE-g-DABPA 的维卡软化点与 PC 含量的关系。由表 2 可见,增容剂的加入降低了体系耐热性。这是因为增容剂本身的耐热性差的缘故。

表 2 PC 含量对有无增容剂的 HDPE/PC 共混物维卡软化点的影响

项 目	HDPE/PC 配比			
	85/15	75/25	55/45	35/65
维卡软化点/℃				
无增容剂	132	132	136	147
有增容剂	128	129	130	142

3.6 增容剂对体系形态的影响

图 5a、b 分别为 HDPE/PC/LDPE-g-DABPA 95/5/0 及 95/5/16 在流变仪混炼器中共混后试样的液氮脆断面形貌。

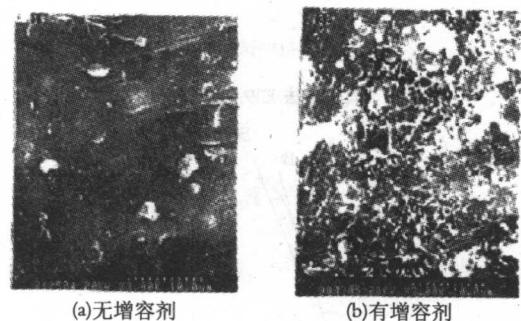


图 5 HDPE/PC 共混体系在有、无增容剂时的 SEM 照片

图 5(a) 中 PC 粒子大小不均,形状不规则,基体 HDPE 断面平滑,与 PC 粒子无粘结。图 5(b) 中 PC 已成规则球状粒子,试样断面粗糙,显示出 HDPE 基体与 PC 粒子间已发生了较强相互作用,说明 LDPE-g-DABPA 的加入改善了两相界面情况,起到良好的

增容效果。

3.7 增容效果表征

(1) 裂纹扩展功

裂纹扩展功的测试按 ASTM D5045-93 执行。该实验方法是先将一定尺寸的试样预制一个尖锐的裂纹,将试样进行拉伸或三点弯曲试验,则在应力作用下,裂纹前端局部应力集中而使裂纹沿着界面迅速扩展。用临界应力强度因子 K_{IC} (裂端应力分析观点) 和裂纹表面扩展功 G_{IC} (能量观点) 来表征材料的韧性。

G_{IC} 的物理意义为: 当裂纹有微小扩展时, 每扩展单位面积, 加载系统提供的可以用来扩展裂纹的能量, 又称为可用能率。对于高聚物共混物, 可用裂纹扩展所消耗的能量来定量地表征共混物界面粘接情况。若两相界面光滑, 作用力弱, 则裂纹很容易沿界面发展成破坏性的裂纹; 若两相界面作用力强, 则裂纹扩展时需消耗更多的能量, 即 G_{IC} 和 K_{IC} 更大。由于增容剂的加入可以降低界面张力, 增加两相作用力, 故本实验中可以用 G_{IC} 值来表征增容剂的增容效果。

K_{IC} 和 G_{IC} 的求法如下:

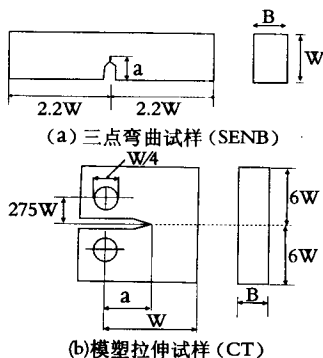


图 6 试验方法 E399 中的试样形状

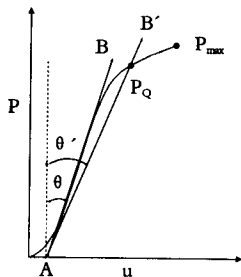


图 7 C 和 PQ 的测定

将单位缺口弯曲试样 (SENB) (图 6a) 或模塑拉伸试样 (CT) (图 6b) 进行三点弯曲试验或拉伸试验, 得负荷-应变曲线。绘出曲线起始部分直线 AB, 曲

线初始线性段的斜率 C 为相对柔度, $C = \tan \theta$ 。绘出直线 AB', AB' 的斜率为 AB 斜率的 1.05 倍。如果最大负荷值 P_{max} 在直线 AB 与 AB' 之间, 用 P_{max} 计算 K_{IC} ; 如果 P_{max} 在直线 AB 与 AB' 之外, 用直线 AB' 与负荷-应变曲线的交点 PQ 计算 K_{IC} , 如图 7。

临界应力强度因子 K_{IC} 的求法为:

$$K_{IC} = (P_Q B W_{1/2}) f(x) \quad (1)$$

$$f(x) = 6x^{1/2} \frac{1.99 - x(1-x)(2.15 - 3.93x + 2.7x^2)}{(1+2x)(1-x)^{3/2}} \quad (2)$$

$$x = \frac{a}{W} \quad (3)$$

式中, P_Q —— 负荷, kN;

S —— 实验跨距, cm;

B —— 试样厚度, cm;

W —— 试样宽度, cm;

a —— 裂纹总长度, cm。

裂纹表面扩展功 G_{IC} 的求法有公式法和积分法。

$$\text{公式法: } G_{IC} = \frac{(1-\nu)2K_{IC}^2}{E} \quad (4)$$

式中, G_{IC} —— 裂纹扩展功;

ν —— 材料泊松比;

K_{IC} —— 临界应力强度因子;

E —— 材料温度下的杨氏模量。

积分法: 直接在负荷-应变曲线上积出求 K_{IC} 时所用的负荷值与对应应变的曲线阴影部分面积。

一般, 推荐采用积分法。

本实验采用单面缺口弯曲试样 (SENB), 用面积积分法求 G_{IC} 。实验过程如下: 将物料 HDPE/PC/LDPE-g-DABPA 75/25/0 = 75/25/16 在双螺杆挤出机中共混, 注射成型, 截成 $W \times B \times L$ 为 $10 \times 4 \times 44$ (mm) 的样条。在样条一侧先用 V 型铣刀后用锐利刀片预制一个裂纹, 裂纹总长度为 $a = 5$ mm, 实验跨距 $S = 40$ mm。将试样置于万能材料实验机上进行三点弯曲试验, 压头运动速率为 10 mm/min , 实验温度为室温 16°C 。得到两种材料的负荷-应变曲线, 如图 8a、8b。

HDPE/PC/LDPE-g-DABPA 75/25/0 的裂纹扩展功 $G_{ICa} = 0.0955 \text{ J}$, 75/25/16 的裂纹扩展功 $G_{ICb} = 0.2025 \text{ J}$ 。即增容体系的两相界面作用力强于未增容体系, 使得裂纹扩展时受到阻力大, 所以增容体系抵抗裂纹扩展的能力大大提高, 说明 LDPE-g-DABPA

的加入的确增加了两相的界面作用力,起到了增容效果。

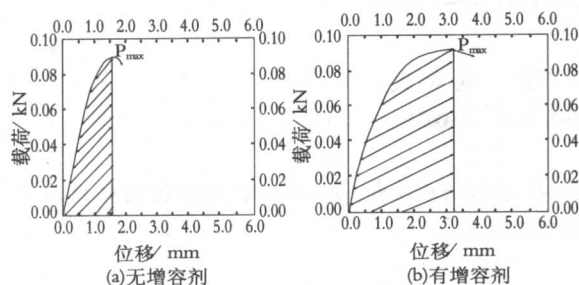


图8 有无增容剂的三点试样的应力—应变曲线

(2) 裂纹扩展起始期试样断面形貌

图9a、9b分别为 HDPE/PC/LDPE-g-DABPA = 75/25/0 和 75/25/16 试样进行裂纹扩展功试验的裂纹起始扩展部分的 SEM 照片。

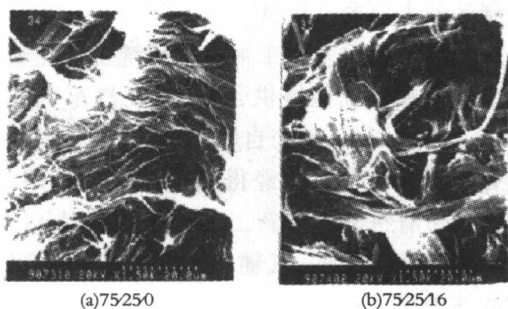


图9 三点弯曲试验后有无增容剂的共混物 SEM 照片

两图断面中有很多丝状物,呈典型的韧性断裂。

(b)图中的丝状物比(a)图中更加粗壮,说明试样 b

在受外力时基体和分散相能发生更大的形变,而这种大的形变正是建立在两相界面粘结良好的前提下发生的。

4 结论

LDPE-g-DABPA 是 HDPE/PC 共混物有效的增容剂,它使体系拉伸强度基本持平,冲击强度变化极大,耐热性能略减,流动性能改善。其中,在 HDPE/PC85/15 体系中,增容剂的加入使冲击强度由 13.86 kJ/m² 增加到 55.31 kJ/m²,提高了 3 倍多;PC 为 25%时,体系冲击强度由原来的 26.40 kJ/m² 增加到 48.46 kJ/m²,提高了近 1 倍。

裂纹扩展功 G_{IC} 可表征增容剂的增容效果。HDPE/PC 共混体系中,增容剂的加入使裂纹扩展功 G_{IC} 由原来的 0.0955 J 增加到 0.2025 J,提高了 1 倍多,说明 LDPE-g-DABPA 的加入的确增强了 HDPE 与 PC 的界面作用力,减小了界面张力,起到了良好的增容效果。

参考文献

- 1 Favis B.D, et al. Polym Eng Sci, 1987, 27(20):1591
- 2 Abdelleh A, et al. Polym Eng Sci, 1996, 36(12):1574
- 3 Boutevin B, et al. Polym Eng Sci, 1996, 36(6):879
- 4 Favis B D. J Appl Polym Sci, 1990, 39:285
- 5 Mekhilef N, et al. Polym Eng Sci, 1992, 32:894
- 6 李忠明. 硕士学位论文. 四川联合大学. 1996
- 7 杨鸣波,等. 中国塑料, 2000, 14:4

INFLUENCE OF COMPATIBLIZER ON HDPE/PC BLEND AND EVALUATION

Yang Mingbo, Zheng Xuejing, Li Zhongming, Feng Jianmin

(Department Of Polymer Materials Science and Engineering Chengdu Sichuan 610065)

ABSTRACT This paper introduced the blending system of HDPE/PC compatibilized by LDPE-g-DABPA. The effects of compatibilizer on morphology and properties of HDPE/PC blends were studied systematically. The results showed that LDPE-g-DABPA was effective compatibilizer of HDPE/PC blends, which increased notched impact strength and melt flow rate (MFR) with little loss in tensile strength and heat property. In HDPE/PC 85/15 systems, notched impact strength was increased from 13.86 kJ/m² of uncompatibilized blend to 55.31 kJ/m² of compatibilized one, MFR was increased from 1.65 g/10 min to 2.16 g/10 min. Critical strain energy release rate G_{IC} , was used to value the effect of compatibilizer for the first time, which was toughness parameter based on energy required to fracture. The experimental results showed that G_{IC} increased from 0.096 J to 0.20 J with compatibilizer in the HDPE/PC 75/25 blends. Experiment proved that LDPE-g-DABPA could intensify interface action, blend decrease interface tension, which was what we want compatibilizer did.

KEYWORDS HDPE/PC Blend, Compatibilizer, G_{IC} , Evaluation

塑料注射成型新工艺

陈静波 申长雨 李 倩 刘春太

(郑州大学橡塑模具国家工程研究中心 450002)

摘要 简要介绍了气体(水)辅助注射、模具滑动注射、熔芯注射、受控低压注射、注射-压缩、剪切控制取向注射、推-拉注射、层状注射、微孔发泡注射等注塑成型新工艺的原理及特点。

关键词 塑料加工 注塑成型 新工艺

注射(注塑)成型能一次成型外形复杂、尺寸精确的塑料制品,且成型过程自动化程度高,在塑料成型加工中有着广泛的应用。但随着塑料制品应用得日益广泛,人们对塑料制品精度、形状、功能、成本等提出了更高的要求,传统的注塑成型工艺已难以适应这种要求,主要表现在:(1)生产大面积结构制件时,高的熔体粘度需要高的注射压力,高的注射压力要求大的锁模力,从而增加了机器和模具费用;(2)生产厚壁制件时,难以避免表面缩痕和内部缩孔,塑件尺寸精度差;(3)加工纤维增强复合材料时,缺乏对纤维取向的控制能力,基体中纤维分布随机,增强作用不能充分发挥。因而,在传统注塑成型技术的基础上,又发展出了一些新的注塑成型工艺,如气体辅助注射、剪切控制取向注射、层状注射、熔芯注射、低压注射等,以满足不同应用领域的需求。笔者拟对上述成型新工艺做一简要介绍。

1 气体(水)辅助注射成型^[1-3]

气体辅助注射成型是自往复式螺杆注塑机问世以来,注塑成型技术最重要的发展之一。它通过高压气体在注塑制件内部产生中空截面,利用气保压,减少制品残余内应力,消除制品表面缩痕,减少用料,显示出传统注塑成型无法比拟的优越性。气体辅助注射的工艺过程主要包括三个阶段:

起始阶段为熔体注射,把塑料熔体注入型腔,与传统注射成型相同,但使熔体只充满型腔的 60%~95%,具体的注射量随产品而异。

第二阶段为气体注入,把高压惰性气体注入熔体芯部,熔体前沿在气体压力的驱动下继续向前流动,直至充满整个型腔。气辅注塑时熔体流动距离明显缩短,熔体注射压力可以大为降低。气体可通过注气元件从主流道或直接由型腔进入制件。因气体具有始终选择阻力最小(高温、低粘)的方向穿透的特性,所以需要在模具内专门设计气体的通道。

第三阶段为气体保压,使制件在保持气体压力的情况下冷却,进一步利用气体各向同性的传压特性在制件内部均匀地向外施压,并通过气体膨胀补充因熔体冷却凝固所带来的体积收缩(二次穿透),保证制品外表面紧贴模壁。

气辅技术为许多原来无法用传统工艺注塑成型的制件采用注塑成型提供了可能,在汽车、家电、家具、电子、日常用品、办公自动化设备、建筑材料等几乎所有塑料制件领域已经得到了广泛地应用,并且作为一项带有挑战性的新工艺为塑料成型开辟了全新的应用领域。当前,气辅技术尤其擅长于以下几方面的注塑制品:

(1)管状、棒状制品 如手柄、挂钩、椅子扶手、淋浴喷头等。采用中空的结构,可在不影响制品功能和使用性能的前提下,大幅度节省原材料,缩短冷却时间和生产周期。

(2)大型平板制件 如汽车仪表板、内饰件格栅、商用机器的外罩及抛物线形卫星天线等。通过在制件内设置内置式气道,可以显著提高制品的刚度和表面质量,减少翘曲变形和表面凹陷,且大幅度地降低锁模力,实现在较小的机器上成型较大的制件。

(3)厚、薄壁一体的复杂结构制品 如电视机、计算机用打印机外壳及内部支撑和外部装饰件等。这类制品通常用传统注塑工艺无法一次成型,采用气辅技术提高了模具设计的自由度,有利于配件集成,如松下 29 英寸电视机外壳所需的内部支撑和外部装饰件的数量从常规注塑工艺的 17 个减少至 8 个,可大幅度缩短装配时间。水辅助注射成型是 IKV 在气体辅助注射成型技术基础上开发的新技术,是用水代替氮气辅助熔体流动,最后利用压缩空气将水从制件中压出。与气体辅助注射成型相比,水辅助注射成型能够明显减少成型时间和制品壁