



气体辅助注塑成型技术—— 一项向传统注塑工艺挑战的未来技术

梁瑞凤

(中国科学院化学研究所工程塑料国家工程研究中心, 北京, 100080)

提要 气辅注塑成型技术是为克服传统注塑成型和发泡成型的局限性而发展起来、近几年来才开始进入实用阶段的一种新工艺。它利用高压气体在注塑件内部产生中空截面, 实现气体保压, 消除制品缩痕, 完成充填过程。气辅注射成型工艺通过把厚壁的内部掏空, 显示出传统注射成型工艺无法比拟的优点, 被誉为注射成型工艺的一次革命, 开辟了全新的应用领域。国外对气辅技术开展了广泛的研究和实践, 并取得极大的成功。气辅技术研究和应用在国内刚刚起步, 国内的塑料加工工业量大面广, 气辅技术具有巨大的应用市场, 几年内必将有迅猛发展。迅速掌握气辅成型这项塑料加工行业新技术, 促进和推动气辅技术在国内工业界的实践, 对于提高我国塑料加工的水平, 提高我国塑料制品的质量, 降低塑料制品的成本, 有着重要的影响。

关键词 气体辅助注塑成型, 气体注射, 塑料成型新工艺, 聚合物加工

1 何谓气体辅助注塑成型

气体辅助注塑成型(简称气辅)技术的工艺过程主要包括3个阶段。

起始阶段为熔体注射, 把高分子熔体注入型腔, 这 and 传统注射成型相同, 直至熔体充满型腔的60%~95%, 具体注射量随产品而异, 需通过实验确定。

第二阶段为气体注射, 把压缩气体注入熔体芯部, 熔体流动前沿在高压气体驱动下继续向前流动, 直至充满整个型腔。气体可通过注气元件(气嘴)从主流道进入或直接由型腔进入制件, 目前气体控制方式多采用分阶段气体压力控制法。

第三阶段为气体保压, 制件在保持气体压力情况下冷却。在冷却过程中, 气体由内向外施压, 保证制品外表面紧贴模壁, 并通过气体二次穿透从内部补充因熔体冷却凝固带来的体积收缩。

图1是应用气辅技术生产简易塑料衣架工艺过程的计算机模拟结果, 揭示了气体在熔体芯部的穿透情况和气体最后在制件内部的分布情况。图1中所示的衣架充填量为型腔的

65%, 这已得到工艺实验的验证。传统注塑工艺不能将厚壁和薄壁结合在一起成型, 而且制件残余应力大, 易翘曲变形, 表面时有缩痕。结构发泡成型技术的缺点是制件表面的气穴, 往往因化学发泡助剂过分充气造成气泡, 而且装饰性应用时需要喷涂。新发展的气辅技术通过把厚壁的内部掏空, 成功地生产出厚壁、偏壁制品, 而且制品外观表面性质优异, 内应力低、轻质、高强。因此气辅注塑成型, 是传统注塑成型技术的延伸, 是传统结构发泡成型的突破, 是利用高压气体在注塑件内部产生中空截面, 实现气体保压、消除制品缩痕、完全充填过程的一项



梁瑞凤 博士, 1963年8月生于福建, 系剑桥大学留学回国学者, 现任中国科学院化学研究所副研究员、工程塑料国家工程研究中心副主任、中国流变学会秘书。在电流变流体、聚合物加工过程仿真方面

取得了国际先进的科研成果, 曾应邀在第四届国际电流变会议和1995年全国高分子年会上作大会特邀报告, 获中国化学会青年化学家奖。发表中英文论文30余篇, 目前主持聚合物加工流变学前沿研究课题6项, 指导硕士、博士研究生4名。

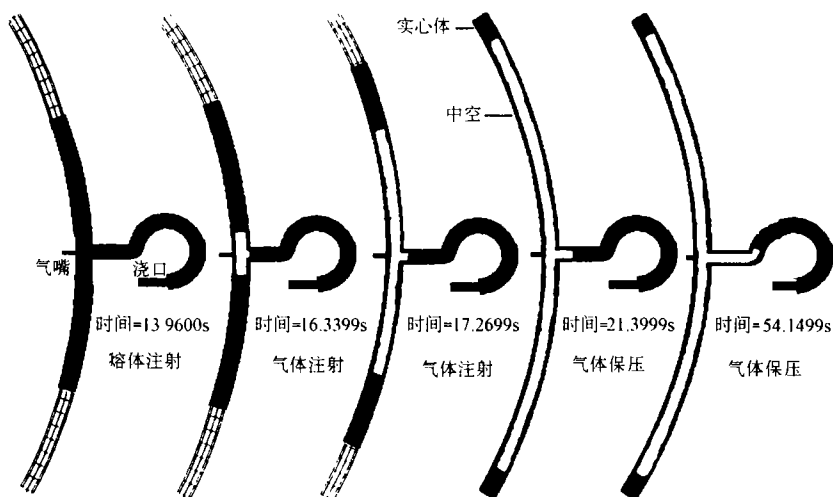


图 1 气辅注塑工艺生产衣架的计算机模拟结果

新颖的塑料成型技术^[1~9]。

受,并称之为塑料加工业的未来技术。气辅成型技术在 80 年代末的几年内得到不断完善和发展并商品化,90 年代才作为一项成功技术开始进入实用阶段。迄今为止,欧洲和美国等发达国家的 10 余家公司拥有气辅设备和工艺的多项专利,主要供应商有英国的 Gas Injection、Cinpres 公司,德国的 Battenfeld、Bayer 公司,奥地利的 Engel 公司,美国的 Nitrojection、Hettinga 公司等。可以预计,到 21 世纪初,气辅注塑将成为塑料加工领域内广泛应用的新兴工业技术。

2 气辅注塑成型技术优势

气辅注塑工艺具有巨大的技术优势。采用气辅注塑技术能带来显著的制件优势,将产生显著的经济效益,如减轻制件重量,可节省原材料用量高达 40%;缩短冷却时间,可加快生产周期高达 30%,生产率大大提高;消除收缩痕迹,提高制品表面质量,产品报废率低;降低注塑压力,锁模力减少高达 60%,注塑机投资成本降低;生产电力消耗降低,操作成本减小;降低模腔内压力,减少模具损伤,降低模具制造成本,甚至某些产品可采用铝合金模具;可采用如粗根、厚筋、连接板等更稳固的结构,增加了模具设计的自由度等。

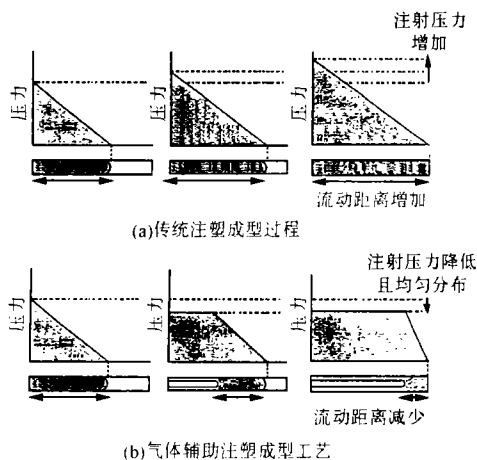


图 2 气辅注塑工艺和传统注塑工艺的熔体注射过程比较

气体辅助注塑成型技术,最早可追溯到 1971 年美国人尝试加气注射成型制造厚中空鞋跟,但以失败告终。后来在 1983 年英国人从结构发泡成型制造机房装修材料衍生出“Cinpres”控制内部压力成型过程,即气辅注塑成型过程。由图 2 可见,气辅注塑工艺过程和传统注塑工艺比较,熔体注射压力大为降低而且均匀分布,该过程在 1986 年德国国际塑料机械展览会上展出后很快就被人们作为新工艺加以接

表 1 是作为典型气辅小制件的玩具小锤的气辅注塑工艺和常规注塑工艺的对比。由表 1

表 1 小制件气辅注塑工艺和常规注塑工艺对比

测试项目	常规 注塑工艺	气辅 注塑工艺	效益评估
塑化时间/s	4.1	2.8	减少 31.71%
填充时间/s	3.5	1.8	减少 48.57%
生产周期/s	77.7	55	缩短 29.21%
锁模力/MPa	8.0	2.9	降低 63.75%
料头质量/g	4.46	3.67	减少 17.71%
锤子质量/g	81.06	52.60	减少 35.11%
总质量/g	85.52	56.27	减少 34.20%
成本价格/元	1.40	0.90	降低 35.71%
收缩情况	严重	没有	制件质量提高

可见,和常规注塑工艺对比,采用气辅注塑工艺塑化时间减少 31.71%,填充时间减少 48.57%,生产周期缩短 29.21%,锁模力降低 63.75%,制件质量减少 35.11%,制件质量提高。制件成本价格从传统注塑的 1.40 元降至气辅注塑的 0.90 元,降低了 35.71%。

在大型复杂制件方面的应用所产生的经济效益更为显著。日本利用气辅工艺生产松下(Panasonic)大型电视机外壳(74cm)取得了巨大成功,模塑厂家东北宗形(Tokoku Munekata Co.)充分利用气辅工艺可选择制件厚、薄壁可结合在一起成型的优势,设计出和传统模具有很大差异的电视机外壳气辅模具,不但模具制造费用和机器成本降低,而且得到了令人难以相信的气辅工艺效果。电视机外壳平均壁厚从 0.36cm 减少至 0.254cm,导致质量减少 35%,注模时间减少 50%,生产周期大为缩短。表面缩痕、凹陷彻底避免,产品外观、内在质量和合格率大大提高。因设计自由度增大,完整电视机外壳所需的管子支撑和外部装饰部件的数量从常规注塑工艺的 17 个减少至 8 个,装配时间减少一半,产品总成本有很大降低。

3 气辅注塑成型技术应用领域

气体辅助注塑成型技术因显示出传统注塑成型工艺无法比拟的优点,被誉为注塑成型工艺的又一次革命,受到各国工业界的极大关注。国外工业界对气辅技术开展了广泛的研究与实践,取得极大的成功^[3,6,10]。气辅技术在家电、汽车、家具、日常用品、办公用品等几乎所有塑料制件领域已经得到应用,而且为塑料成型开辟了全新的应用领域。当前主要集中在下列两类制品。

(1)厚壁、偏壁、管状制品:如手柄、挂钩、椅撑。制品中空结构的采用,可在不影响制品功能和使用性能前提下,节省 40% 的树脂材料,却反而能加强制品的强度。

(2)大型平板件:如汽车门板、格栅及商用机器的外罩。采用气辅技术可以减少成型的锁模力,缩短成型周期,减少翘曲变形。同时,由于成型所需的注射压力的降低,从而可在较小的注射机上成型较大的制品。

气辅注塑技术在航天、航空、航海、交通、军事和国防等领域的应用则具有重要的战略意义。在表面上看,气辅技术的优势源于利用高压气体把厚壁的内部掏空。从工程力学的原理上看,气辅技术的应用改变了材料在制品断面上的分布,大大提高制件断面的二次矩,制件刚性和强度得以改善,承载力增加。这将在汽车、飞机、船舶等交通工具的轻量化方面显示出强大而且诱人的应用优势和前景。

4 气辅注塑成型技术在国内的应用

气辅注塑技术近几年来在亚洲地区得到迅速传播,在韩国、台湾省、香港地区都得到了成功应用。台湾省早在 2 年前一次就从英国进口了 6 套气辅设备。在我国,90 年代初期,当此技术在国外开始应用,国内塑料加工行业和研究部门就密切注视着它的成熟和发展。杨惠娣^[7]、马玉录、茅晓东、何曼君^[8]和蔡军辉、许元泽^[9]曾撰文介绍这项新工艺。国内气辅工艺的研究与应用刚刚起步^[11,12]。中国科学院

化学研究所认识到气体辅助注射成型工艺的強大技术优势和广泛应用前景,1995 年初在国内率先引进了气体辅助技术的全套设备,前期已成功生产出充气效果理想的塑料衣架和转椅扶手,正在进一步利用气体辅助注射成型工艺进行工程塑料复杂制件的自主开发,并于 1996 年 3 月在北京成功地和英国气体辅助注塑公司 (Gas Injection Ltd.) 联合举办了第一届“气体辅助注塑技术研讨会”^[12]。四川长虹、青岛海信、深圳康佳等集团公司都相继引进了气辅技术用于电视机外壳的生产。据悉在家电、汽车等行业,国内已经少量引进了国外的气辅制件来提高产品的质量,不少厂家准备引进气辅注塑成型设备及模具进行新产品研制。

气体辅助注射技术为塑料制品生产带来了低消耗、高质量、新结构等优点,为广大塑料产品厂家所瞩目,并且要求塑料厂采用此技术提供高档次、高质量的塑料制件的呼声日益高涨。加强和重视气体辅助注塑装置、模具和工艺应用技术的开发,对推动我国气辅注塑成型技术的应用、提高我国注塑产品的档次具有十分重要的意义。

5 气辅注塑成型工艺的实现

在材料选择方面,气辅注塑成型工艺适用

于热塑性塑料、一般工程塑料及其合金和其他用于注塑成型材料。与传统注塑工艺的接口方面,气辅注塑成型仅要求注塑机使用弹弓射嘴以防止熔体倒流,并通过螺杆行程配备的位移触发器(电子尺)触发气体压力控制单元。在模具方面,气嘴和模具通过螺纹结合,安装简单方便,而且一套模具可安装单一或多个气嘴,气嘴体积小,应用灵活,通过气嘴可把气体直接注入模腔或流道。因此气辅注塑成型适应性广,应用方便。

典型气辅注塑成型设备如图 3 所示。来自氮气制备装置的高压氮气通过控制单元进入气辅模具,而保压阶段结束后的高压氮气从气辅模具也经过控制单元设备予以回收,实现循环使用。传统的注塑成型机则通过与螺杆行程连在一起的电子尺和气体压力控制单元相连接以控制进气时间。高压气体被注入型腔后,选择高温、低粘、阻力小的流动方向而沿模具内预留的气道穿透,并驱动塑胶熔体流动前沿向前流动充满整个型腔。继而进一步利用气体的传压、保压特性,制件在保持气体压力情况下冷却。因气体在制件内均匀地由内向外施压,使得制品外表面紧贴模壁,并通过气体二次穿透从内部补充因熔体冷却凝固带来的体积收缩,从而保证制件表面质量完好。

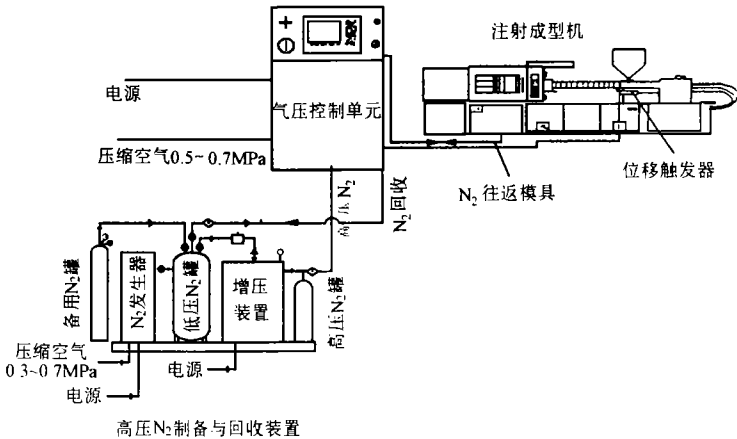


图 3 典型气辅注塑成型设备示意图

和传统注塑成型工艺流程相比,气辅注塑成型工艺流程中只增加了相对独立的气辅技术构成要素(见图4),并且气辅技术构成在整个工艺流程中作用显赫,既是选型产品和结构设计

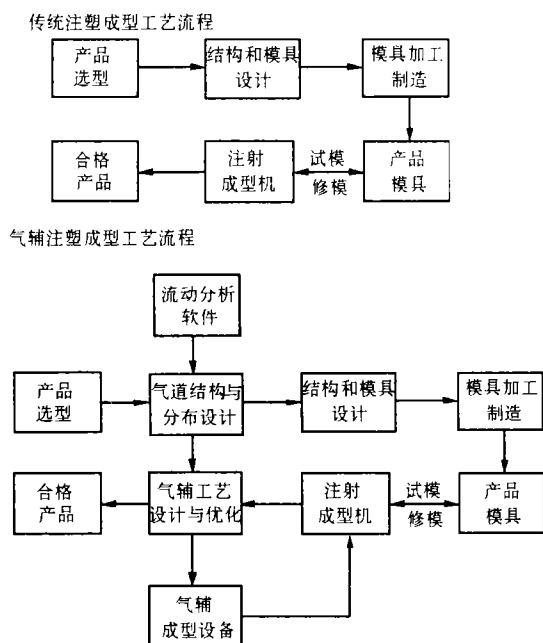


图4 传统注塑成型工艺流程和气辅注塑成型工艺流程比较

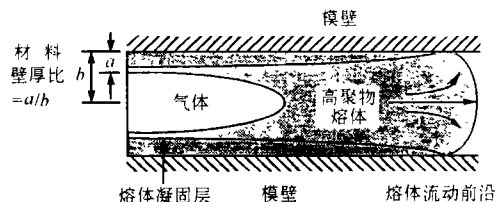


图5 气体辅助注塑工艺熔体和气体两相流动示意图

计与模具设计间的关键环节,又是注射成型机和合格产品间的重要纽带。气辅注塑成型新工艺技术含量高,所有不同于传统注塑成型的显著优势来自于气辅注塑技术自身的特殊性和复杂性。气体辅助注塑成型工艺过程本身相当复杂,涉及高分子熔体和高压气体的气液两相流动问题。典型的气辅成型熔体和气体两相流动

示意图见图5。这使设计参数成倍增加,工艺设计要求更高。在制件开发过程中,对气辅成型过程的正确理解和准确描述使进行正确的结构设计和工艺设计成为发展和应用这一技术的关键,并在很大程度上限制了这一新技术的推广应用,如日本马自达公司历经4年才开发成功汽车保险杠的气辅工艺^[6]。台湾省从英国引进6套气辅设备时,同时要求英国公司为前28件制品提供流动分析结果并协助进行模具和工艺开发,足以证明气辅注塑工艺开发的复杂性。目前,可靠的复杂新产品结构设计、模具结构设计和过程工艺优化还处于初始的发展阶段,落后于气辅硬件的发展水平。

6 气辅注塑成型过程的计算机仿真

有效的计算机辅助分析提供了解决气体辅助注塑工艺问题的真正手段^[13~16]。计算机辅助分析的本质就是建立并求解一组能够描述物料在加工过程中所遇到的热力学历程的理论方程,即与物料诸参数(如热力学性质、流变性质)和加工成型参数(如加工温度、注射压力、模具几何尺寸等)相关联的数学方程式,包括:

连续方程…确保物料在加工过程中质量守恒

运动方程…建立物料在加工过程中受力运动的关系

能量方程…建立物料在加工过程中能量变化的关系

物性方程…物料热力学性质在加工过程中的变化关系

流变方程…描述物料在加工过程中应力、应变的关系

由于模具几何形状、物流变行为及成型加工条件的复杂性,以上联合方程组只能采用有限差分法或有限元法进行数值求解。

国内外市场上已有上百种商品化聚合物成型加工流动分析软件,适用于挤塑、注塑、吹塑、热成型、反应加工和混炼等各种成型加工工艺。仅少数软件对气辅注塑成型新工艺具有描述能

力,其中具有较强竞争力的是经由美国 AC Technology 公司开发的 C-MOLD 软件^[17]和澳大利亚 Moldflow 公司开发的 Moldflow/Gas 软件^[18]。

计算机仿真模拟技术被应用于气体辅助注塑成型过程流动分析,进行新产品气道结构和模具的设计,并在计算机上完成修模、试模仿真过程,预测熔体及气体在型腔内的流动及穿透、优化产品和模具设计、改进气道布局、优化成型工艺参数,使气辅注塑技术得到进一步的发展,提高了气辅技术应用的可行性和可靠性^[4,13~16]。

因此,从较完整的意义上说,气辅注塑成型技术包括气辅成型设备、气辅流动分析软件及工艺开发和应用技术3大部分,见图6。气辅设备一般包括氮气发生器、增压装置、控制单元

和进气元件,可由不同厂家提供。气辅流动分析软件通常自常规注塑成型的计算机分析软件发展而来,由不同模块组成,如建模模块、充模模块、注气模块等,目前主要有 Moldflow 软件和 C-Mold 软件。气辅注塑成型应用技术和新产品气辅注塑工艺开发是气辅注塑技术构成中最为核心的内容,有待用户进行自主开发。目前主要由气辅设备供应商协助用户进行制作工艺开发,用户购买气辅硬件设备的同时可以委托供应商进行产品模具和工艺设计的分析,甚至同时引进气辅模具和成型工艺。国内气辅成型技术市场量大面广,必须发展国内气辅注塑技术应用和工艺开发的能力,以进行新产品的自主研制和开发,既满足国内塑料成型加工市场的急需,又摆脱国外企业对国内市场与技术的垄断。

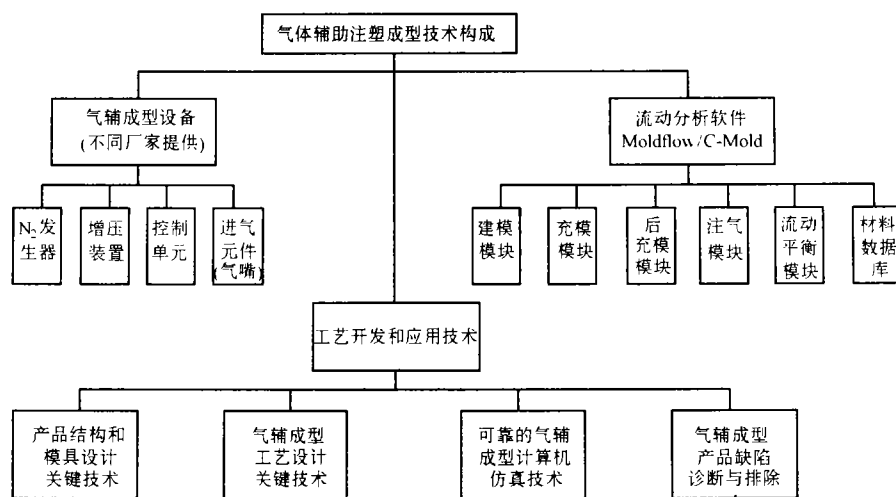


图6 气体辅助注塑成型技术构成

7 气辅注塑成型应用技术关键

7.1 气辅产品结构和模具设计方面

在进行产品结构和模具设计时要考虑气道的设计和分布,所涉及到的技术关键是改变传统模具设计方式。如允许结构壁厚的不均匀,可增加必需的加强肋,要合理选择气嘴的位置,基本结构元件如弯位、圆角、分叉的设计和基本气道结构的设计,气道尺寸、位置和联结方式的

优化,流道平衡,要设计气体引导槽,浇道和浇口的不同设计,需考虑塑料流动的引导和溢流井等。

7.2 气辅注塑工艺设计方面

对于传统注塑成型,主要工艺条件就是影响熔体塑化、流动和冷却的压力(注射压力)、温度(熔体温度、模具温度)和相应的各个作用时间(充模时间、保压时间、冷却时间)。而对于气辅注塑成型,技术成败关键在于正确理解这些

工艺参数同时对高分子熔体和高压气体二相复杂流动过程的影响,工艺设计的难度大大增加。进行工艺设计时,主要技术难点包括:

- (1)确定熔体和气体的最佳注射量、注射压力和充填时间;
- (2)确定注入熔体和氮气的切换时间;
- (3)确定注入氮气的压力控制分布曲线;
- (4)预测熔体在型腔内的流动及气体的穿透情况;
- (5)防止困气、吹穿、气体进入薄壁;
- (6)计算所需的锁模力和保压时间。

7.3 气辅注塑过程计算机仿真技术方面

虽然气辅注塑成型技术日趋成熟,但气辅注塑成型过程的计算机仿真技术则尚处于发展阶段,有待进一步完善和提高。可靠的计算机仿真结果首先决定于计算机软件自身的科学性和有效性,其次来自于使用分析软件的正确性。必须对计算机仿真结果进行可靠性评价。有关这方面的技术关键问题有:

- (1)气体辅助注塑的基本物理过程及其描述;
- (2)高分子熔体与高压气体二相流的物理模型和数学模型;
- (3)联立数学方程组的数值计算方法;
- (4)准确地设计和建立产品模型;
- (5)材料流变本构方程的选择和表征;
- (6)应用材料数据库的建立;
- (7)复杂边界条件的选择和简化;
- (8)仿真结果与工程试验结果的有效对比。

7.4 气辅注塑产品缺陷诊断方面

气辅成型是一种新的成型加工技术,影响气辅成型的设计参数较传统注塑成型多,但可供借鉴的设计经验却很少。常见气体辅助注塑成型制品缺陷包括表面凹陷、表面流痕、表面低光泽、爆破、银波线、特殊熔合线(位置及大小)、困气、气体进入成品薄壁、气体充填不平均、气体竞争效应、气体冲破成品表面、因气体注入时引起塑料熔体流动前沿流动缓慢而造成成品表面不光滑、漏气或无法进气或无法排气等。必

须针对气体辅助注塑成型产品制造过程中各种成型不良现象,分析其产生原因并找到技术上解决的方法,确保气辅注塑成型技术的成功应用。

8 气辅注塑成型技术的应用前景

气辅注塑技术作为 90 年代初刚刚进入实用阶段的一项革命性技术,在美、日、欧等发达国家正日益得到人们的广泛应用,短短几年,该技术用于注塑制品成型的模具配套率已达 10%,即每 10 套模具中有 1 套气辅模具。随着时间的推移,在市场竞争极为激烈的条件下,将会更加完善的气辅技术一定会为更多的塑料制品制造商所接受。国内的塑料加工业量大面广,气辅注塑技术具有巨大的潜在市场,几年内必将有迅速发展,国外气辅设备和工艺提供商正在雄心勃勃地加紧对中国巨大市场的争夺和垄断。气辅技术在国内的应用首先体现在壳类制品和轿车内饰件等家电、汽车、仪器仪表、家具等行业,诸多产品可采用气辅注塑成型代替传统的成型方法,这些行业的塑料制品及零部件的大量需求,要求很多的塑料成型厂采用气辅技术。专家预计,“九五”期间气辅技术将逐年在塑料加工行业推广使用,行业内现有设备配套率将达 3%~5%,使现有产品节省原料 10%~30%,产品档次提高,经济效益将相当可观,社会效益更是无法估量。以目前全国注射机拥有量 10 万台计算,若年增 1 万台,其中 3%配气辅成型装置,则将有 300 台注塑机采用气辅成型工艺生产制件。

气辅技术的最大应用领域是家电产品,就日本电视机行业来说,64cm 以上大屏幕彩电几乎 90%以上采用气辅成型技术。韩国和台湾、香港等地区近 2 年也在电视产品上广泛使用气辅技术。目前,全国年产电视机 2500 万台,其中彩电 1200 万台。在彩色电视机份额中,占 20%左右的 64cm 以上大屏幕彩电有 240 万台,而且大屏幕彩电的数量随市场的需求正逐年递增。气辅成型技术的应用将带来不可估量

的经济效益。

塑料家具的生产是气辅技术的一个重要应用领域。仿硬木家具在外观上需要模拟木质材料比较粗大的圆柱或立方结构,而普通塑料加工中必须采取的扁平的板片结构具有冷却速度慢、材料收缩不易控制、制品翘曲变形严重等难以克服的障碍及料量大、成本高等缺点,传统的注塑工艺很难解决这些问题,采用气辅注塑则迎刃而解。

从塑料产品发展的趋势来看,家电、汽车、民用、建筑、仪器仪表行业将争相使用气辅技术,以此提高产品在市场的竞争力,并参与国际产品质量和档次上的竞争。这场技术革命的到来,将把中国的塑料工业发展推向崭新的阶段,也将成为“九五”期间塑料工业发展的重要组成部分。

9 参考文献

- 1 Rusch K C. *Plastics Engineering*, 1989(7):35~38
- 2 Theberge J. *Plastics Engineering*, 1991(2):27~31
- 3 Shah S. *SPE Tech Papers*, 1991, 37:1494~1506
- 4 Lake T. *European Plastics News*, 1994(10):31~32
- 5 Gaspari J de. *Plastics Technology*, 1994(4):44~49
- 6 Smith C. *亚洲塑胶工业通讯*, 1995(5/6):14
- 7 杨惠娣. *现代塑料加工应用*, 1993(2):37~41
- 8 马玉录,茅晓东,何曼君. *高分子材料科学与工程*, 1994(6):120~125
- 9 蔡军辉,许元泽. *塑料*, 1995, 24(6):35~40
- 10 Shah S, Hlavaty D. *Plastics Engineering*, 1991(10):21
- 11 蔡军辉. 具有喷泉效应的注塑、气辅注塑充模流动的数值模拟:[博士学位论文]. 北京:北京大学, 1996
- 12 梁瑞凤. *高分子通报*, 1996(3):
- 13 Potente H, Hansen M. *International Polymer Processing*, 1993, 8(4):345
- 14 Turng L S. *Plastics Engineering*, 1993(9):27~30
- 15 Barton K S, Turng L S. *SPE Tech Papers*, 1994, 40:421~425
- 16 Turng L S. *Advances in Polymer Technology*, 1995, 14(1):1~13
- 17 Gas - Assisted Injection Molding, C - Mold User's Guide. AC Technology Inc, 1995
- 18 Moldflow/Gas User Manual, Moldflow Pty. Ltd. 1993

Gas - Assisted Injection Molding—A New Technology with Innovation and Challenge

Liang Ruifeng

(National Engineering Research Center of Engineering Plastics, Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Summary Gas - Assisted Injection Molding (Gaim) is an innovative molding technology where the compressed gas is introduced into the mould to create hollow sections, to pressurize plastics during cooling, to eliminate shrinkage and to complete mould filling. Compared with a conventional injection molding, Gaim process presents many advantages and benefits such as reducing the moulding weight, reducing the molding circle, avoiding the sink marks. This technology has been widely used in abroad in the field of TV sets and other appliances, cars, furniture, etc. However, gaim process concerns within the mould with a two - phase complex flow of molten polymer and pressurized gas. Computer aided flow analysis is very important in achieving successful applications with the complications in part, mould and process design.

Key words Gas - assisted injection molding, Gas injection, New plastics molding technology, Polymer processing

作者感谢中国科学院化学研究所所长基金对课题“气辅注塑成型基本物理过程研究”的支持。