

塑料成型加工新技术丛书

注射 成型新技术

齐贵亮 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

塑料成型加工新技术丛书

注射成型新技术

机械工业出版社

丛 书 序

市场是新技术的孵化器，由于消费市场对塑料制品性能要求的不断提高，促使传统加工技术的革新不止，一些看似“老旧”的工艺融入了高新科技含量，已不可同日而语。此外，随着高新技术在塑料工业中应用步伐的加快，塑料材料研究、制品设计、成型技术、工装设备制造技术均得到快速发展，塑料制品的质量和档次也有了明显的提高，市场上种类繁多、形态各异、色彩斑斓的塑料制品不断满足人们的日常生活需要，在工程和高尖端工业领域，塑料制品的用量也不断增大，应用领域逐步拓展。这些都充分展示了作为新材料、新工艺、新设备等高新技术在塑料成型技术中的强劲的发展势头。在这一系统工程中，除了塑料成型设备、材料外，很大程度上都取决于对塑料制品成型工艺的研究。

为了宣传和推广近年来塑料成型技术的研究成果，我们在广泛收集国内外文献的基础上，结合多年来的研究与实践经验，组织编写了《塑料成型加工新技术系列丛书》，全面介绍塑料成型加工的新技术、新工艺、新材料、新设备。

本套丛书注重先进性、实用性和可操作性，理论叙述从简，实际操作内容从详，用实例和实用数据说明问题，全面反映了塑料成型加工的现代技术水平，并具体介绍了各种成型的工艺技术方法，新颖，实用，且内容翔实，数据准确，语言简练，图文并茂，通俗易懂。是塑料成型加工和制品设计人员良好的指导教材，更是塑料及塑料制品企业、皮革企业、薄膜生产企业、石化企业、化工企业、塑料机械厂、材料厂、包装材料厂、塑料研究机构等从业人员的参考书。相信本丛书的出版发行对我国的塑料加工工业的发展，将具有积极的指导作用。

丛书编委会

前 言

注射成型是塑料制品成型加工中最常用的成型方法，其技术成熟、设备齐全、生产效率极高，几乎适用于所有的热塑性塑料，也可用于成型某些热固性塑料和橡胶，此外还扩展到了陶瓷加工和粉末冶金等领域，产品形式多样，用途十分广泛。近年来，随着汽车、电子、IT、家电等行业的快速发展，人们对注射成型制品的精度、形状、功能、成本等提出了更高的要求。传统的注射成型工艺已难以完全适应，因而发展了一些新的注射成型技术。

为了帮助广大读者比较全面地了解该领域的理论发展与技术进步，我们组织编写了《注射成型新技术》一书，全书共5章，比较详细地介绍了特殊工艺注射成型新技术，如共注射、辅助注射、熔芯注射等；特殊制品注射成型新技术，如精密注射、微注射、高光注射、薄壁注射等；特殊材料注射成型新技术，如热固性塑料注射、结构发泡注射、微孔塑料注射等，共20余种注射成型新技术；简要介绍了CAE技术在注射成型中的应用，以及注射成型中的节能新技术和新设备。对每一种新技术均采用“关键技术”、“参数控制”和“典型实例”的编写格式，语言精炼，通俗易懂，且图文并茂。本书全面介绍了国内外近年来注射成型加工中出现的新技术、新工艺、新材料、新设备等，是塑料研究、产品设计、制品加工、销售、管理和教学人员必读之书，也是塑料成型加工技术人员的良好教材。

在编写过程中我们力求比较全面地介绍塑料注射成型的最新技术，同时兼顾通用性和新颖性，努力做到：在概念、术语以及语言叙述上力求准确、严密、科学；在内容上力求比较全面地反映注射成型加工领域的最新技术和发展趋势；在表达上尽量做到深入浅出，通俗易懂，突出实用性、先进性和可操作性。尽管如此，有些新技术可能漏编，而有些由于正在研究，还没有形成一定的理论体系，介绍得较为简单，敬请读者谅解。

本书内容参阅了部分近年发表在国内外主要期刊上的研究论文和技术资料，同时还参阅了本行业许多资深专家的专著，在此向文献的作者表示衷心感谢！参加本书编写工作的还有杜厚波、付户慧、宋秀敏、孔健、韦亚利等同志。

由于编者水平所限，不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

丛书序

前言

第1章 概述 1

- 1.1 注射成型技术 1
- 1.2 注射成型设备 2
- 1.3 注射成型模具 3
- 1.4 塑料制品注射成型工艺过程 5
- 1.5 注射成型过程中的控制因素 6
- 1.6 新型注射成型技术的特征 7
- 1.7 注射成型技术的发展趋势 8

第2章 特殊工艺注射成型

新技术 9

- 2.1 共注射成型——多色彩、多
材质塑料制品的成型 9
 - 2.1.1 夹芯注射成型 9
 - 2.1.2 双色注射成型 15
 - 2.1.3 多色注射成型 20
 - 2.1.4 包覆注射成型 27
 - 2.1.5 多组分注射成型前沿技术 28
- 2.2 多级注射成型 30
 - 2.2.1 关键技术 32
 - 2.2.2 参数控制 38
 - 2.2.3 典型实例 40
- 2.3 气体辅助注射成型 (GAIM)
——管状、棒状、大型平板
状等制件的成型 45
 - 2.3.1 关键技术 46
 - 2.3.2 参数控制 59
 - 2.3.3 典型实例 64
- 2.4 水辅助注射成型技术——
用于中空或者部分中空
制品的成型 69

- 2.4.1 关键技术 70
- 2.4.2 参数控制 76
- 2.4.3 典型实例 76
- 2.5 熔芯注射成型——形状复杂的
中空部件的成型 77
 - 2.5.1 关键技术 78
 - 2.5.2 参数控制 85
 - 2.5.3 典型实例——复杂壳体
的熔芯注射成型 86
- 2.6 磁场注射成型——精密复杂
磁体的成型 89
 - 2.6.1 关键技术 90
 - 2.6.2 参数控制 99
 - 2.6.3 典型实例 100
- 2.7 低压注射成型——温度敏感
性部件与复杂形状部件的
成型 106
 - 2.7.1 关键技术 106
 - 2.7.2 低压注射成型工艺 114
- 2.8 排气式注射成型——直接成
型吸湿性材料和含有挥发性
物质的材料 116
 - 2.8.1 排气式注射成型原理与
工作过程 119
 - 2.8.2 排气装置 120
 - 2.8.3 排气注射工艺 124
 - 2.8.4 防污染处理 126
- 2.9 动力熔融注射成型——低温、
低压条件下的注射成型 126
 - 2.9.1 动力熔融注射机的结
构特点 127
 - 2.9.2 动力熔融注射成型技术
的特点 128

2.10 振动技术在注射成型中的应用	129	成型	212
2.10.1 动态注射中施加振动的的方式	129	3.5.1 关键技术	214
2.10.2 动态塑化注射装置	134	3.5.2 参数控制	225
2.10.3 聚合物电磁动态塑化注射成型技术	136	3.5.3 典型实例	227
2.10.4 振动技术对注射成型加工的影响	138	第4章 特殊材料注射成型新技术	231
第3章 特殊制品注射成型新技术	142	4.1 热塑性塑料热流道注射成型——节省原材料, 提高塑件质量的成型方法	231
3.1 精密注射成型——主要用于高精密产品的成型	142	4.1.1 关键技术	231
3.1.1 关键技术	142	4.1.2 热流道系统的故障及其对策	250
3.1.2 参数控制	154	4.1.3 典型实例	254
3.1.3 典型实例——小模数塑料齿轮精密注射成型	161	4.2 热固性塑料注射成型	257
3.2 薄壁注射成型——高精度薄壳类制品的成型	163	4.2.1 一般热固性塑料注射成型	258
3.2.1 关键技术	165	4.2.2 无流道热固性塑料注射成型	261
3.2.2 参数控制	176	4.2.3 热固性塑料无流道注塑成型	265
3.2.3 典型实例——高耐冲击聚苯乙烯(HIPS)电视机外壳的注射成型	179	4.2.4 反应注射成型	268
3.3 微注射成型——应用于微机电系统和微系统领域产品的成型	182	4.2.5 液体注射成型	273
3.3.1 关键技术	184	4.2.6 模塑料注射成型	276
3.3.2 参数控制	198	4.3 结构发泡注射成型——轻质、高强、尺寸稳定的大型结构件的成型	280
3.3.3 典型实例	202	4.3.1 关键技术	281
3.4 高光制品的注射成型——高表面光泽度制品的成型	203	4.3.2 参数控制	286
3.4.1 关键技术	204	4.3.3 典型实例	288
3.4.2 参数控制	206	4.4 微孔塑料注射成型——薄壁大部件、尺寸精度高、形状复杂的小部件发泡制品的成型	293
3.4.3 典型实例——LCD电视机前面壳高光注射成型	208	4.4.1 关键技术	294
3.5 透明制品的注射成型——光学仪器和透明包装制品的		4.4.2 参数控制	302
		4.4.3 典型实例	303
		4.5 粉末注射成型技术——金属或陶瓷等复杂精细零部件的成型	307
		4.5.1 关键技术	309

4.5.2 参数控制	329	5.4 注射成型 CAE 软件功能模 块的应用	387
4.5.3 典型实例	331	5.5 塑料注射成型中常见缺陷的 CAE 分析及解决方案	390
4.6 热塑性弹性体的注射成型	337	5.6 典型实例	393
4.6.1 聚烯烃类弹性体的注 射成型	339	第 6 章 注射成型的节能技术	396
4.6.2 苯乙烯类弹性体 (TPES) 的 注射成型	342	6.1 塑料原料产业中的 节能技术	396
4.6.3 聚酯类弹性体 (TPEE) 的 注射成型	347	6.1.1 高熔体流动速率树脂	396
4.6.4 聚氨酯类弹性体 (TPU) 的 注射成型	350	6.1.2 增强复合塑料	397
4.6.5 聚酰胺类弹性体 (TPAE) 的 注射成型	351	6.2 制品成型的节能技术	398
4.6.6 聚氯乙烯类弹性体 (TPVC、TCPE) 的注射 成型	351	6.2.1 多层注射成型节能技术	398
4.6.7 热塑性弹性体注射成型 中的注意事项及影响因素 分析	352	6.2.2 低压高速注射成型节 能技术	398
4.6.8 典型实例——SBS 防滑 笔杆套	355	6.2.3 微发泡注射成型节能 技术	399
4.7 超高相对分子质量聚乙烯 的注射成型	356	6.2.4 多腔热流道注射成型节 能技术	400
4.7.1 关键技术	359	6.2.5 振动成型节能技术	400
4.7.2 参数控制	365	6.2.6 介质辅助注射成型节 能技术	400
4.7.3 典型实例	366	6.3 注射机的节能技术	401
4.8 橡胶的注射成型	368	6.3.1 注射机能耗特性及节能 特性分析	401
4.8.1 橡胶注射成型设备	369	6.3.2 合模机构的节能	401
4.8.2 橡胶注射成型工艺	374	6.3.3 注射塑化机构的节能	402
4.8.3 橡胶注射成型中的问题及 其对策	378	6.3.4 运动结构的节能	403
4.8.4 典型实例——汽车驾驶员 座椅防尘罩	382	6.3.5 动力驱动系统的节能	404
第 5 章 注射成型 CAE 技术	385	6.4 节能型注射机的创新技术	405
5.1 注射成型 CAE 的基本概念	385	6.4.1 全电动注射机	405
5.2 注射成型 CAD、CAE、CAM 技 术的特点及关系	385	6.4.2 电磁动态注射机	405
5.3 注射成型 CAE 软件的构成	386	6.4.3 变量泵注射机	406
		6.4.4 变频技术的应用	406
		6.4.5 节能元件的应用	407
		6.4.6 永磁同步电动机的开发	407
		6.4.7 超声波在线测控技 术的应用	407
		参考文献	408

第 1 章 概 述

1.1 注射成型技术

塑料注射成型技术是指把粉状、粒状或液状树脂及添加剂等原料放入注射机的机筒内，经过加热、压缩、剪切、混合和输送工艺，加工成具有一定几何形状和使用价值的制品的一种技术。塑料制品性能的优劣及规格多少与成型技术密不可分。注射成型又称注射模塑或注射，是塑料加工中重要的成型方法之一，其技术已发展得相当成熟，且应用非常普遍，注射制品已占塑料制品总量的 30% 以上，在国民经济的许多领域有着广泛的应用。

注射成型技术经历了技术移植、技术成熟、发展创新三个阶段。

1. 技术移植阶段

1920 年以前，早期的塑料注射成型技术是从其他材料的加工方法（如铸造、热成型）中借鉴过来的，成型技术主要是移植改造，使粘弹性高的塑料熔体成型。

2. 技术成熟阶段

1920 ~ 1970 年，随着聚碳酸酯（PC）、聚甲醛（PCM）、聚苯醚（PPO）、聚砜（PSU）、聚酰亚胺（PI）、环氧树脂（EP）、不饱和聚酯（LP）等一大批高性能塑料的出现并相继投入工业化生产，要求塑料成型加工技术向更高的阶段发展。同时，随着塑料成型设备设计和制造技术的不断进步，以及塑料成型加工理论研究的不断深入，为塑料成型加工技术的提高创新提供了条件。往复式螺杆注射机、双螺杆挤出机的出现，使热敏性和高熔体粘度的热塑性、热固性塑料采用高效的成型技术生产出高质量的制品。反应注射技术使聚氨酯（PUR）、EP 和 UP 的液态单体或低聚物的聚合成型成为可能。这一切标志着塑料成型加工已从以改造、移植为主的时期过渡到了技术成熟时期。

3. 发展创新阶段

1970 年以后，是整个塑料工业发展的重要历史时期，从民用塑料开发转向工程塑料是这个时期的主要特征之一。推动这种转变的重要因素是世界能源危机和金属材料价格的上涨。人们大力发展工程塑料，来实现“以塑代木”、“以塑代钢”、以塑料代替其他非金属材料的愿望。在此期间除了对原有工程塑料进行改性外，还开发了许多新型高分子材料，这些新型高分子材料的诞生对注射成型

技术提出了更高的要求。

近年来,随着科技的发展,控制技术、计算机技术的引入,促使塑料制品的生产过程从机械化、自动化进一步向连续化、程序化和自适应控制的方向发展。此阶段的塑料成型加工技术与前一阶段相比,在可加工原材料的范围、制品的范围和制品的质量等方面均有重大突破,不仅使以往难以成型的热敏性、高熔体粘度的原料能方便地加工成制品,而且长纤维增强塑料、片状和团状模塑料也被用作高效成型技术的原材料。同时,随着塑料制品的应用日益广泛,人们对塑料制品的精度、形状、功能、成本等提出了更高的要求,传统的注射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,高的注射压力需要大的锁模力,从而增加了机器和模具的费用;②生产厚壁制件时,很难避免表面缩痕和内部缩孔,塑料件尺寸精度差;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。因此,在传统注射成型技术的基础上,又发展了一些新的注射成型工艺,如热固性塑料注射、结构发泡注射、多组分注射、微孔发泡注射、反应注射、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。

1.2 注射成型设备

注射机是注射成型的主要设备,注射机的技术参数和性能与塑料性能和注射成型工艺有着密切的关系。注射成型设备的进一步完善和发展必将推动注射成型技术的进步,为注射制品的开发和应用创造条件。新型工程塑料的发展和应用对注射成型机械和设备提出了更高的要求,使之向品种多、规格全、高速、高效、高精度、节能和低噪声方面发展。

(1) 注射机向大型化方面发展。在 20 世纪 70 年代中期还被认为是无发展前途的大型注射机,今天又重新崛起。在 20 世纪 70 年代中期锁模力在 600t 以上的注射机占 4%,千吨以上的仅占 2%;目前锁模力为 3 000t 和 5 000t 级的注射机已经很普遍。美国、德国、法国、日本、意大利等都具备生产大型注射机的能力。

(2) 注射机向微型化和超微型化方向发展。为了能够生产具有实用价值的微小零件,许多新兴制造技术随之产生,包括 LIGA 技术(即将光刻、电铸和模铸相结合的一种综合性加工技术)、紫外线光刻、电火花加工、微注射成型、精密磨削和精密切削等。但微结构零件生产面临的问题是如何改善和优化工艺条件,降低加工成本,实现零件的高速、高效、高精度、大批量生产。其中,始于 20 世纪 80 年代的微注射成型技术开创了精密微细结构零件低成本、大批量生产

的新途径,成为世界先进制造技术的研究热点之一,是生产这类零件的主要技术。微注射成型技术的发展依赖于微量注射机的发展,虽然微量注射机的研制发展历史并不长,但它是一个极具发展潜力的技术领域。目前微量注射机最小的螺杆直径为14mm,更小的螺杆在注射过程中容易扭断。注射单元还可以采用柱塞/螺杆复合式,锁模力可小至70kN。

(3) 注射机向节能、精密成型、超精密成型、低噪声和高级自动化方向发展。所谓节能是指注射机要节省泵的动力,节约电力,少做无用功;精密成型是指生产制品尺寸精度的范围为0.01~0.001mm;超精密成型是指生产制品尺寸精度的范围为0.001~0.0001mm;低噪声是指注射机能在平稳无撞击和无振动下工作,按确定方位,在距离机器1mm左右的地方所测得的噪声值低于70dB;高级自动化是指注射机能远距离操作或无人操作,保证制品的精度、注射工艺条件的稳定性和再现性。注射机具有能实现自动输送、快速调机、视频显示、工艺储存、监测注射机正常工作和诊断等程序,这就对注射机的机械、电器、液压、自动化仪表和微机应用等提出更高的要求;为实现对系统压力、流量和计量的多级或无级控制,必须采用比例阀、伺服阀、数字阀和各种位移、压力、速度、温度传感器,以实现闭环控制。

(4) 注射成型设备另一方面的发展是一些特种注射机和专用注射机的发展。由于注射的物料十分广泛,而这些具有高聚物特性的物料,其分子结构差异很大(是指在注射过程中所表现出来的物理化学性能、流变性能、热性能等有很大区别),对注射成型工艺提出了一些特殊要求,于是推出了一些特殊的成型工艺和相应的成型设备,主要有热固性塑料注射机、结构发泡注射机、多组分注射机、反应注射成型设备、排气注射机等。此外,还有多模回转注射机、多模连续注射机、多喷嘴注射机、多料缸注射机、电动注射机、无拉杆注射机、动力熔化注射机以及注吹机组和注拉吹机组等多种注射成型设备。

1.3 注射成型模具

注射模具的结构形式有很多种,没有统一规定分类方法。按制品原料分,有热塑性塑料成型用模具和热固性塑料成型用模具;按制品注射成型精度分,有普通制品成型用模具和精密制品成型用模具;按制品的质量大小分,有微型注射模具(制品质量小于5kg)、小型注射模具(制品质量为5~100kg)、中型注射模具(制品质量为100~2000kg)和大型注射模具(制品质量为2~20t);按模具的分型结构分,有两开模式模具、三开模式模具、四开模式模具和侧向抽芯型模具结构。

无论哪种类型的注射模具,其结构组成一般可分为下列几部分:注射制品的

成型部分,合模导向部分,制品的推出部分,型芯抽出部分,模具体的加热和冷却部分,成型模具体的支撑部分和浇注熔料道、排气孔等。

(1) 注射制品的成型部分,是模具组装合模后直接形成塑料制品的型腔部分,组成零件有凸模、凹模、型芯、杆或镶块等。

(2) 合模导向部分,是为了使动、定模具合模时能正确对准中心轴线而设置的零部件,有导柱、导向孔套或斜面锥形件等。

(3) 制品的推出部分,是把成型的注射制品从成型模具腔中推出用的零部件,有顶出杆、固定板、推板和垫块等。

(4) 型芯抽出部分,是注射成型带有凹坑或侧孔的塑料制品脱模时,先抽出凹坑、侧孔成型用的型芯机构零件,如经常应用的斜导柱、斜滑块和弯销等抽芯机构。

(5) 模具体的加热和冷却部分,是指适应塑料制品注射成型工艺温度的控制系统,如电阻加热板、棒及其电控元件,冷却部分用循环冷却水管等。

(6) 成型模具体的支撑部分,是指为了保证模具体能正确工作的辅助零件,如动、定模垫板、定位圈、吊环和各种紧固螺钉等。

(7) 浇注熔料道,是指能把经喷嘴注入的熔料引向成型模具空腔的流道,通常可分为主流道、分流道、衬套口(浇口)和冷料槽等部分。

(8) 排气孔,是指能使模具腔内空气排出的部分。由于快速填充模具的缘故,模具必须让气体排出,多数情况下只是模腔中的空气。如果空气不能排出,就会被熔融压缩,使温度上升,引起塑料燃烧。排气孔须设立于料流接缝处及最终注射部分附近。一般排气孔为6~13mm宽,0.01~0.03mm深的槽,通常设于其中一个半模的分模面处。一般小型制品可不用专设排气孔,型腔内的空气可从各配合件的间隙中排出;对于大型注射制品用模具,则一定要设置排气孔。

设计注射模具时,既要考虑塑料熔体流动行为等塑料加工工艺要求方面的问题,又要考虑模具制造装配等模具结构方面的问题,归纳起来大致有以下几个方面。

(1) 了解塑料熔体的流动行为,考虑塑料在流道和型腔各处的流动阻力、流动速度,校验最大流动长度。根据塑料在模具内的流动方向(即充模顺序),考虑塑料在模具重新熔合和模腔内原有空气导出的问题。

(2) 考虑冷却过程中塑料收缩及补缩问题。

(3) 通过模具设计来控制塑料在模具内结晶、取向和改善制品的内应力。

(4) 进浇点和分型面的选择问题。

(5) 制件的横向分型抽芯及顶出的问题。

(6) 模具的冷却或加热问题。

(7) 模具有关尺寸与所用注射机的关系,包括与注射机的最大注射量、锁

模力、装模部分的尺寸等关系。

(8) 模具总体结构和零件形状要简单合理, 模具应具有适当的精度、表面粗糙度、强度和刚度、易于制造和装配。

1.4 塑料制品注射成型工艺过程

塑料制品注射成型的工艺过程, 对不同的注射机有所不同, 但基本过程相同。下面以螺杆式注射机为例, 说明如下。

1. 合模和锁模

通过合模机构使模具先以低压快速进行闭合, 当动模板与定模板快要接近时, 动模板便以低压低速前进, 在确认模内没有异物时, 再以高压将模具合拢锁紧。

2. 注射系统前移和注射及保压

模具锁紧后, 注射系统前移, 使喷嘴和模具贴合, 螺杆在注射油缸活塞的作用下, 快速前进, 以高压高速将机筒前端的熔料注入模腔。当熔料充满模腔后, 开始冷却收缩, 为了补充熔料, 当熔料注满模腔后尚需保持一定的压力, 即为保压。

3. 制品冷却定型和塑化

熔料注入模腔内开始冷却, 冷却到一定程度, 当熔料从浇口不能回流时, 注射保压即可卸去, 使注射系统后移, 喷嘴脱离模具。制品在模具内继续冷却定型, 同时螺杆传动, 使通过上料器装入料斗的料粒或粉料向前输送, 并在热作用下, 使物料塑化, 当机筒前端堆积一定量熔料后, 对螺杆产生一定推力, 使螺杆后退。当螺杆退到一定位置, 即熔料计量合格, 螺杆停止转动, 准备下一次注射。制品的冷却和螺杆的塑化是同时进行的。

4. 开模机和取出制品

当模具的制品冷却定型后, 开模, 动模板后退, 同时利用顶出机构把制品顶出模具或用工具从模腔内取出制品。有时工人不用工具, 直接用手取出制品, 这是非常危险的操作, 很容易轧掉手掌或手指。

上述过程是循环进行的。可按先后次序绘成如图 1-1 所示的塑料制品注射成型工艺过程循环图。

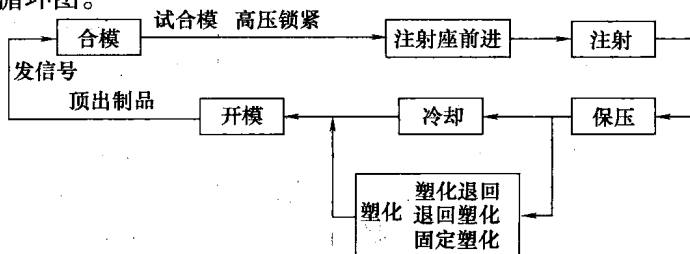


图 1-1 塑料制品注射成型工艺过程循环图

1.5 注射成型过程中的控制因素

要生产质量优良的塑料注射制品，必须要有原材料的选择、制品设计、设备条件、模具结构、工艺条件的控制等多方面的配合。当原料、加工的设备、模具这些条件确定以后，工艺条件的控制就显得十分重要，其中最重要的是温度、压力和时间。

1. 温度

在注射成型过程中，要控制的温度有机筒温度、喷嘴温度和模具温度。其中机筒温度和喷嘴温度关系到塑料的塑化；模具温度关系到塑料成型。

(1) 机筒温度。机筒温度以保证塑料塑化良好，能顺利地进行注射，又不引起塑料的分解为原则。塑料的种类不同，机筒温度也不一样，一般控制在该塑料的粘流温度 T_f 与分解温度 T_d 之间为宜。对 $T_f \sim T_d$ 区间狭窄的塑料，机筒温度可稍低些，可接近 T_f 温度。对 $T_f \sim T_d$ 范围较窄的塑料，机筒温度可适当高些或比 T_f 更高些。热敏性强的塑料如聚甲醛 (POM)、聚氯乙烯 (PVC)，除严格控制机筒温度外，还应注意塑料在机筒中的驻留时间，时间过长会引起分解。另外如采用螺杆式注射机，则机筒温度可比柱塞式低 10°C 左右。在实际生产过程中，判断料温是否适合，可采取低压注射以观察料流状态，以料流均匀、光滑、无气泡、色泽均匀为好；如料流毛糙、有气泡、分段、变色均为不适，最好还应用点温计测量塑料熔体的实际温度。

(2) 喷嘴温度。喷嘴温度一般均低于机筒温度，过低会堵塞机筒，通常以低 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 为宜。

(3) 模具温度。模具温度高低决定于塑料的特性、制品尺寸与结构、工艺条件等因素。通常非结晶型塑料采用低模温，高粘度结晶型塑料采用高模温。

2. 压力 注射成型过程中的压力包括塑化压力和注射压力，均关系到塑料的塑化和充模成型的质量。

(1) 塑化压力。塑化压力实际上就是螺杆的背压。螺杆预塑时，由于喷嘴较小，易产生反压力，用背压阀调节螺杆后退的阻力称为塑化压力。背压高，螺杆退回时间延长，塑化能力就下降，但有利于排气，使塑料密实；但过高的背压加上较大的转速，会影响塑化质量，如摩擦热的增加会引起塑料分解，特别是对 PVC、POM、PC 等材料，尽量采取低背压低转速为宜。

(2) 注射压力。注射压力是在充模阶段，使熔融塑料通过喷嘴，经模具浇口、流道、分流道、内浇口进入型腔的力。由此可知，注射压力的大小取决于塑料品种、注射机的类型、模具结构、制件形状、浇注系统设计及工艺条件等因素。注射完毕之后，不能马上卸压，还应保持一定时间的注射压力，这主要是为

补料,防止注入型腔中的塑料在没有凝固之前的外流现象。通常注射压力的控制原则为粘度较低、形状不复杂、精度不高的制品,注射压力控制在70~100MPa,如PS、PE料;粘度中等或较高、精度有要求、形状较复杂的制品,注射压力控制在100~130MPa,如PC、ABS、PP料;粘度高、薄壁、精度高、形状复杂的制品,注射压力控制在130~160MPa。但要注意的是,注射压力一定要与闭模压力匹配,否则,大的注射压力对小的闭模压力,会产生制品起厚、缺料及流延现象。

3. 时间

(1) 注射时间。注射时间指开始充模到模腔充满所需的时间。一般要加工完好制品,注射时间都控制在3~10s,这时的注射速率约80~120mm/s。快速注射虽然充模快,熔接缝强度大,但极易产生定向和内应力,使制品变形;慢速注射则充模压力低,易产生接缝线。

(2) 保压时间。保压过程有补料作用,通常模具浇口小、保压时间短,因为浇口易凝封;浇口大,则保压时间长。一般保压时间控制在20~120s。

(3) 冷却时间。冷却时间即塑料在模内凝固成玻璃态的时间。通常塑料玻璃化转变温度高的,冷却时间短;结晶型塑料,冷却时间短;模温较低时,冷却时间也短,但模具温度必须低于塑料的玻璃化转变温度。

4. 塑料的干燥 在塑料的注射成型中,若所用的成型材料吸湿或表面吸附水分,会使制品质量受到影响,如产生银丝、气泡、透明性差及熔接痕现象,更甚者如聚碳酸酯等塑料因吸湿而产生水解反应,而使相对分子质量降低,制品的强度尤其是冲击韧度下降。另外,从塑料预干燥的效果来看,有两方面的好处,一方面可以稳定工艺操作,另一方面可以缩短成型周期。成型材料的预干燥方法可采用热风循环烘箱、料斗干燥器或沸腾干燥器。

1.6 新型注射成型技术的特征

为了实现形状更复杂制品的成型,实现对制品材料的聚集态、相形态、组织形态等方面的控制,或实现对制品进行异质材料的复合,以最大限度地发挥高分子材料的特性,达到制备高性能制品的目的,注射成型新技术的发展主流一般以多种方式的组合为基础,具有如下技术特征。

(1) 以组合各种不同材料为特征的注射成型方法,如镶嵌成型、夹心成型、多材质复合成型、多色复合成型、多层复合成型等。

(2) 以组合惰性气体为特征的注射成型方法,如气辅成型、微发泡成型等。

(3) 以组合化学反应过程为特征的注射成型方法,如反应注射成型、注射涂装成型等。

(4) 以组合压缩或压制过程为特征的注射成型方法, 如注射压缩成型、注射压制成型、表面贴合成型等。

(5) 以组合混合、混配过程为特征的注射成型方法, 如直接(混配)注射成型等。

(6) 以组合取向或延伸过程为特征的注射成型方法, 如磁场成型、注拉吹成型、剪切场控制取向成型、推拉成型、层间正交成型等。

(7) 以组合模具移动或加热等过程为特征的注射成型方法, 如自切浇口成型、模具滑合成型、热流道模具成型等。

1.7 注射成型技术的发展趋势

在传统注射成型技术基础上进行创新或融合其他先进技术, 利用“杂交优势”出新, 仍是注射成型技术发展的主流。新技术使制品用料更省, 性能更高。“水辅助注射成型”、“薄壁注射成型”、“金属粉末注射成型”等这些似乎尚有些陌生的术语, 已在企业中得到了应用。塑料成型加工技术的发展仍在继续, 其近期发展趋势如下:

(1) 由单一性技术向组合性技术发展, 如注射-拉伸-吹塑成型技术和挤出-模压-热成型技术等。

(2) 由常规条件下的成型技术向特殊条件下的成型技术发展, 如超高压和高真空条件下的塑料注射成型加工技术。

(3) 由基本上不改变原有性能的保质成型加工技术向赋予塑料新性能的变质成型加工技术发展, 如发泡成型、借助电子束与化学交联使热塑性塑料在成型过程中进行交联反应等。

(4) 为提高加工精度、缩短制造周期, 在模具加工技术方面更广泛地应用仿形加工、数控加工等。

(5) 广泛应用模具新材料。模具材料的选用会直接影响到模具的加工成本、使用寿命以及塑料制品的成型质量等, 因此国内外已开发出许多具有良好应用性能、加工性能, 热处理变形小的新型塑料模具钢, 如预硬钢、新型淬火回火钢、马氏体时效钢、析出硬化钢和耐腐蚀钢, 经过试用, 均取得了较好的技术和经济效果。

(6) CAE 技术将在注射领域发挥越来越重要的作用, 其本身也随着注射技术的发展要求而更加完善、实用、方便。

第2章 特殊工艺注射成型新技术

2.1 共注射成型——多色彩、多材质塑料制品的成型

共注射成型技术也称多组分注射成型技术，最早出现于1963年。当时在德国K展览上出现了第一台多组分注射机，主要用于打字机和收银机的按键生产。随后，20世纪70年代出现了较为成熟的多组分注射成型生产工艺，并得到了较为广泛的应用。随着汽车工业的进一步发展，该技术主要用于汽车多色尾灯的生产。这种多组分注射成型技术与单组分注射成型技术在成型设备和注射过程上有着极大的区别。由于多组分注射成型技术需要特殊结构的注射设备，模具的设计与制造较复杂，成本较高，并且要有协调它们动作步骤的自动控制装置，这些因素在很长一段时期内限制了它的广泛应用。后来，随着人们对注射制品质量要求的提高，以及注射机械工业和自动控制技术水平的发展，这种成型工艺的应用越来越广泛。目前，这项技术已经取得了长足的发展，新设备、新技术层出不穷。在我国，这种注射成型工艺也受到了极大的重视，得到了极大的发展。

共注射成型的种类很多，有夹芯注射成型（也称芯层注射成型）、双色注射成型、多色注射成型及包覆注射成型；而按照各组分在其成型过程中结合方式的不同，又可以分为顺序注射成型和叠加注射成型。其技术关键和参数控制大同小异。

2.1.1 夹芯注射成型

夹芯注射成型是最简单，也是最早应用的多组分注射成型工艺，是由英国的ICI公司于20世纪70年代首先提出的，并取得了包括基础理论、生产产品及机器设备等几项专利。它主要是按照一定的次序控制不同数量的异种材料通过一个喷嘴注射成型，成型后的产品外壳由“皮肤”材料成型得到，而内部是由“内核”材料成型而成。

夹芯注射成型的机构非常类似于典型的单组分注射成型机构，其模具与普通的注射模具相同，只是通过一个复合喷嘴将两个注射腔连接起来。两个机筒分别负责注射外壳材料和内核材料，另外还有一个阀门系统控制两种材料何时注入型腔。内核材料注入型腔时，由于层流的原因两种材料不会混合，而且内核材料不会突破外层的外壳材料。模具部分可以根据生产要求进行特殊的设计，如旋转

多模设计等，可以有效地提高生产效率。

夹芯注射成型既可以生产出较大的厚壁部件（如最好的塑料板材），也可以生产出传统的薄壁部件。这主要取决于所采用的内部材料，通常它们都是一些结构类似泡沫材料的低密度塑料。实际上，使用这种内部材料可以消除很多由于成型引起的缺陷，如收缩、变形、破裂以及产生内部应力。

夹芯注射成型的主要特点是其中的核心部分材料与外部环境完全隔绝，这使核心部分有单一的结构和成分，并且在性能上有别于外层材料。这种特点使它能够应用于许多特殊的场合。例如，外层材料可以看做是使内层材料免受化学物质（如碳酸矿物水、盐、油脂等）伤害的保护层，尤其是对于天气和辐射的影响。又比如大部分时间都必须曝晒于阳光下的产品，可以通过夹芯注射成型使其结构核心部分覆盖一层防紫外的材料。同时，相对于内部的核心材料，外部材料可以采用在视觉和触觉上更具吸引力的材料。例如，外表光泽和色彩丰富、具有塑性柔软表面的产品，比起色彩灰暗单一、表面粗糙坚硬的产品更具有吸引力，而且这样也减少了诸如喷涂上色等成型后处理的各种工序。

1. 关键技术

(1) 夹芯注射成型设备特性。夹芯注射成型所使用的设备为共注射机。共注射机与普通的注射机在工作原理上基本相同，不同之处主要有以下两点。

1) 一台共注射机配有两套注射系统，分别塑化及注射两种不同的物料。这两套注射系统可以各自独立操作，也可以同时操作。两套注射系统的排列形式有：沿轴向平行、相互垂直、倾斜形成一个夹角。这三种排列形式如图 2-1 所示。

2) 配有将两套注射系统连接在一起的共注射成型机头和喷嘴。由于夹芯注射成型需进行两种不同材料的切换注射，所以其喷嘴结构特殊，且设有动力装置用于控制不同材料的注射次序。喷嘴的结构有两种：一种是瞬间换向喷嘴，如图 2-5 所示，这种喷嘴用于依次共注射成型工艺，其结构比较简单，由于是瞬间换向，存在注射瞬间停滞现象，有时可能会影响到产品质量；另一种是逐渐换向喷嘴，如图 2-2 所示，这种喷嘴用于同步共注射成型，此类喷嘴的注射切换是逐渐进行的，无注射停滞现象，可以提高产品质量，降低废品

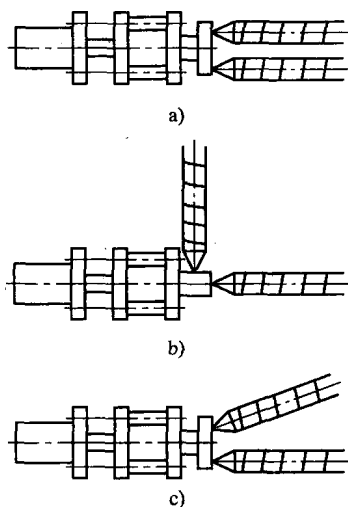


图 2-1 共注射机注射系统的排列形式