



国家级实验教学示范中心工程创新实践课程系列教材

模具数字化设计 与制造技术

Muju Shuzihua Sheji yu Zhizao Jishu

» 主编 荆琴 黄晓华



国防工业出版社

National Defense Industry Press

国家级实验教学示范中心工程创新实践课程系列教材

模具数字化设计与制造技术

主 编 荆 琴 黄晓华

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

数字化设计与制造技术为传统模具技术注入了新的活力,使模具的数字化设计与分析、虚拟制造与实物制造有机地结合起来。本书主要内容包括注塑成型设备及工艺、注塑成型模具结构、CAD/CAE/CAM 技术在注塑模具工业中的应用,重点结合范例介绍了基于 Creo 的注塑模具设计及制造技术、基于 Moldflow 的注塑模具有限元分析等。通过本书的学习,读者能对注塑模具数字化设计与制造技术有较为系统的认识。

本书可作为相关专业本科以及高职高专的专业课和选修课教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模具数字化设计与制造技术/荆琴,黄晓华主编.

—北京:国防工业出版社,2016.6

国家级实验教学示范中心工程创新实践课程系列教材

ISBN 978-7-118-10799-9

I. ①模… II. ①荆… ②黄… III. ①数字技术—应用—模具—设计—高等学校—教材②数字技术—应用—模具—制造—高等学校—教材 IV. ①TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 105617 号



国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 11½ 字数 285 千字

2016 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776

发行业务:(010)88540717

前 言

注塑成型具有成型周期短、效率高、容易实现自动化、加工适应性强等优点,目前注塑制品约占塑料制品总量的 30%,是使用最多的一种塑料制品成型方法。

注塑成型是复杂的过程,全面、深刻地理解注塑成型过程需要具有高分子物理学、传热学、流变学、注塑成型工艺学等方面的知识。传统的注塑模具设计主要依靠设计人员的经验,通过试模来验证设计,制造的缺陷则依靠反复地修模来纠正,不仅很难保证模具质量,而且模具设计与制造的成本高、周期长,尤其是大型精密、结构复杂的中高档模具,问题更为突出。

计算机辅助技术在注塑模具中的快速发展,极大地提高了模具设计的水平和效率、制造的质量和精度、标准化程度,降低了制品的成本,缩短了模具的研制周期,并且实现了塑件设计、模具设计、模具制造和成型工艺的一体化等。相关资料表明,应用计算机辅助技术后,模具的设计时间缩短约 50%,制造时间缩短约 30%,成本下降约 10%,塑料原料节约 7%。

本书编写以注塑模具结构设计理论知识为基础、模具数字化设计与制造技术为重点,并介绍了基于 Moldflow 的注塑模具有限元分析,结合范例讲解,将理论知识与工程应用融为一体,突出了实际应用的原则。

本书内容全面,与其他同类书籍相比,包括更多的模具数字化设计与制造内容;对 Creo 软件中的主要命令与功能,结合范例进行讲解,帮助读者深入理解、灵活运用;讲解详细、条理清晰,自学的读者能独立学习;采用软件中的对话框、操控板和按钮等进行讲解,使初学者能直观、准确地操作软件,从而大大提高学习效率。

本书共分六章,内容包括塑料成型基础、塑料注射模具设计、注塑模具 CAD/CAE/CAM 导论、基于 Creo 的注塑模具数字化设计、基于 Creo 的注塑模具数字化制造、基于 Moldflow 的注塑模具有限元分析等。

本书由南京理工大学组织编写。第一章由荆琴、朱雅平编写,第二、三章由荆琴、徐明、李建玲编写,第四章由荆琴、周成编写,第五章由荆琴、徐明编写,第六章由黄晓华编写。全书由荆琴审定。本书可作为相关专业本科以及高职高专的专业课和选修课教材,也可作为工程技术人员的参考书。

本书在编写过程中得到了许多同行的帮助和支持,参考了很多作者的教材和著作,在此表示感谢。

由于编者水平有限,难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编 者
2015 年 12 月

目 录

第一章 塑料成型基础	1
1.1 塑料概述	1
1.2 塑料的注塑成型	5
1.3 塑料的其他成型方法	12
思考题	15
第二章 塑料注射模具设计	16
2.1 注塑模的基本结构	16
2.2 注塑模的分类	17
2.3 注塑模的设计步骤	22
2.4 注塑模与注塑机的关系	23
2.5 浇注系统设计	27
2.6 成型零件设计	37
2.7 导向与定位机构设计	40
2.8 顶出机构设计	42
2.9 侧向分型与抽芯机构设计	50
2.10 温度调节系统设计	54
思考题	57
第三章 注塑模具 CAD/CAE/CAM 导论	58
3.1 注塑模具 CAD/CAE/CAM 技术基本概念	58
3.2 常用的注塑模具 CAD/CAE/CAM 软件	62
3.3 国内外注塑模具 CAD/CAE/CAM 的发展趋势	63
思考题	64
第四章 基于 Creo 的注塑模具数字化设计	65
4.1 Creo 2.0 用户界面	66
4.2 Creo 2.0 模具设计介绍	67
4.3 模具设计专业术语	71
4.4 Creo 2.0 注塑模具设计流程	72

4.5 模具的精度设置	104
4.6 模具的分析与检测	105
4.7 模架设计	115
思考题	116
第五章 基于 Creo 的注塑模具数字化制造	117
5.1 Creo 2.0 数控加工基础	117
5.2 Creo 2.0 数控加工流程	123
思考题	163
第六章 基于 Moldflow 的注塑模具有限元分析	164
6.1 Moldflow 软件简介	164
6.2 注塑成型 Moldflow 分析流程	165
6.3 Moldflow 分析应用案例	166
思考题	176
参考文献	177

第一章

塑料成型基础

塑料产生以来,从最初的稀有到今天的大众化,经历了快速的发展过程。1909年,美国的贝克兰发明了塑料。20世纪30年代,有了尼龙;40年代,随着石油化学工业的发展,塑料的原料以石油取代了煤炭,塑料制造业从此也得到了飞速的发展,科学家研制出了聚氯乙烯、聚苯乙烯、高压聚乙烯等塑料;50年代,研制出了低压聚乙烯;60年代,在工业生产中又有了聚丙烯、ABS等塑料品种。目前,塑料产品几乎涉及了所有领域,在航空航天、交通运输、邮电通信、仪器仪表、家用电器等行业中,更是不可缺少的材料。

1.1 塑料概述

通常所用的塑料是由许多材料配制而成的,其中高分子聚合物(或称合成树脂)是塑料的主要成分,为了改进塑料的性能,还要在合成树脂中根据使用要求加入某些添加物。

1.1.1 塑料的组成

1. 合成树脂

合成树脂是塑料的主要成分,在塑料中占40%~100%,树脂的性质常常决定了塑料的性质。常用的树脂包括聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、聚苯乙烯(PS)、酚醛树脂(PF)、聚碳酸酯(PC)、聚酰胺(尼龙,PA)和环氧树脂等。

2. 塑料添加剂

为了改善塑料树脂的成型性能和塑料制品的物理力学性能,提高制品的使用价值和工作寿命以及降低成本等,塑料中还加入了一些添加剂。塑料添加剂的种类极为繁多,常用的添加剂包括增塑剂、稳定剂、填充剂、润滑剂、固化剂、阻燃剂、发泡剂、着色剂等。根据塑料的用途,有选择地加入添加剂。

1) 增塑剂

增塑剂的作用是降低树脂的玻璃化温度、熔融温度、黏度和硬度,增加塑性、流动性和制品柔软性及耐寒性,从而改善加工性能和使用性能。增塑剂主要用于PVC中,占总耗量的80%以上。

增塑剂可与树脂混溶,是无毒无味,对光、热稳定的高沸点有机化合物,常用的增塑剂有邻苯二甲酸酯类、磷酸酯类、氧化石蜡等。

2) 稳定剂

能阻止或延缓塑料树脂在储存、加工及使用过程中的老化、降解、破坏和变质的添加剂称为

稳定剂。引起塑料老化的因素很多,如氧、光、热、微生物、重金属离子、高能辐射和机械疲劳等。因此,稳定剂可分为热稳定剂、光稳定剂、抗氧剂、金属离子钝化剂、防霉剂等。

3) 填充剂

填充剂是为了降低塑料成本,改善塑料的某些性能添加的一些材料。按照填充剂的作用,可分为增量剂和增强剂两类。如果填充剂的作用是增大制品体积,降低聚合物用量,以降低制品成本,这种填充剂为增量剂;如果填充剂的作用是提高基体聚合物的强度,则称为增强剂。常用的填充剂有碳酸钙、硅酸盐、硫酸盐、金属氧化物、金属粉、炭黑、白炭黑、玻璃球、纤维类和有机粉等。

4) 润滑剂

润滑剂主要用来降低树脂加工时的内摩擦作用,防止其对加工设备及模具发生黏附,从而降低能耗和提高生产效率,并减少生成热量及其对树脂的降解作用,保证制品的表面光滑。按作用机理不同,塑料用润滑剂品种可分为内润滑剂和外润滑剂两类。内润滑剂主要起降低塑料树脂内部的摩擦和黏度的作用,外润滑剂主要用来减少塑料树脂对加工设备等其他材料的黏附和摩擦作用,从而改善制品脱模性和外观质量。常用的润滑剂有硬酯酸、石墨、二硫化钼等。

5) 固化剂

固化剂能使高分子树脂由线形结构转变为体形结构,某些树脂在成型前加入固化剂之后才能变成坚硬的材料。

6) 阻燃剂

阻燃剂是能阻止或抑制热塑性塑料燃烧的物质。经常用的是一些含磷、氯、硼、锑和铝的化合物。

7) 发泡剂

凡不与聚合物发生化学反应,并能在特定条件下产生无害气体的物质都可作为发泡剂。有时为帮助发泡剂分散、提高其发气量或用以降低发泡剂的分解温度,还要加入助发泡剂。发泡剂分为物理发泡剂和化学发泡剂,物理发泡剂通过本身的气体膨胀或液体挥发而产生气泡,化学发泡剂通过发泡剂本身的热分解生成的气体而产生气泡。

8) 着色剂

着色剂能使塑料具有各种不同的颜色。

除上述成分外,还可根据使用要求在塑料中添加一些其他成分,如交联剂、偶联剂、抗静电剂、开口剂、防雾剂等。

1.1.2 塑料的特性

与传统的金属材料相比,塑料具有以下性能特点:①密度小、易着色且色泽鲜艳、透光性好、具有多重防护性能;②耐腐蚀性能好;③优良的电、热、声绝缘性能;④力学性能优良,在较宽的温度范围内,具有较高的抗冲击、耐疲劳、耐磨、自润滑性能,因而可代替金属材料作结构零件用;⑤原料来源广,易加工成型,与金属制品相比,可省能耗约 50%。塑料在使用和加工中具有以下缺点:刚性差、耐热性差、散热性差、易老化、成型收缩率大、尺寸稳定性差、加热后会分解出对人体有害的毒素等。

1.1.3 塑料的分类及应用

塑料品种繁多,有 300 多种,常用的有几十种。每一品种又有多种牌号,为了便于识别和使

用,需要对塑料进行分类。

1. 按树脂的热性能分

1) 热塑性塑料

热塑性塑料是聚合反应得到的,合成树脂分子结构是线型或支链型结构,在一定温度范围内,能反复加热软化乃至熔融流动,冷却后能硬化成一定形状的塑料。在成型过程中只有物理变化而无化学变化,因而受热后可多次成型,废料可回收再利用。主要品种有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯、有机玻璃等。这类塑料强度较高,成型工艺性良好,但耐热性和刚度较低。

2) 热固性塑料

热固性塑料是缩聚反应得到的,合成树脂固化后分子结构呈体形网状结构,加热温度达到一定程度后能成为不熔化、不溶解,使形状固化下来不再变化的塑料。热固性塑料在成型受热时发生化学变化,使线形分子结构转变为体形结构,主要有酚醛塑料、氨基塑料、环氧塑料等。这类塑料具有较高的耐热性和刚度,但脆性大,不能反复成型与再生使用。

常用塑料及其用途如表 1-1 所列。

表 1-1 常用的塑料及其用途

塑料分类	树脂名称	英文缩写	主要特性	主要用途
热塑性塑料	聚氯乙烯	PVC	耐药性良,软硬制品均可	薄膜、电缆、地板、管子
	聚乙烯	PE	质轻柔软,电气绝缘性,耐药性良	薄膜、瓶子、电气绝缘材料、杂货
	聚丙烯	PP	透明,软化点高	薄膜、塑料绳子、食器
	聚苯乙烯	PS	无色透明,电气绝缘性,耐药性良	电器、文具、发泡品、玩具
	AS 树脂	AS	透明,强度大,耐油性良	电器、文具、杂货、玩具
	ABS 树脂	ABS	强韧,光泽良,耐药性,耐油性良	电器、汽车零件
热固性塑料	酚醛塑料	PF	强度高,耐磨,耐蚀,电绝缘好,尺寸稳定,成型性较好	机械结构件、电器、仪表的绝缘机构件
	环氧塑料	EP	力学性能优,电绝缘好,耐蚀,尺寸稳定,对金属、塑料、玻璃、陶瓷等有良好的黏附能力	塑料模具、精密量具、电子仪表的抗震护封整体结构,电工电子元件及线圈的灌封与固定等
	有机硅塑料	IS	耐高温和耐热,电绝缘性好	电工电子元件及线圈的灌封与固定

2. 按塑料的用途分

1) 通用塑料

通用塑料是具有一般用途的塑料。此类塑料有良好的成型工艺性,不具有突出的综合力学性能和耐热性,不宜用于承载要求较高的结构件和在较高温度下工作的耐热性。通用塑料的制造成本低,应用范围广,产量也比较大,占塑料总量的 80% 左右。

常用的通用塑料有聚乙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯、酚醛塑料等。

2) 工程塑料

工程塑料是指具有突出力学性能和耐热性,或在变化的环境条件下可保持良好绝缘介电性

能的塑料。工程塑料可代替金属作为工程材料,可以作为承载结构件,升温条件下的耐热件和承载件以及升温条件、潮湿条件、大范围变频条件下的介电制品和绝缘制品。

常用的工程塑料有聚碳酸酯、聚酰胺(尼龙)、聚甲醛、ABS、环氧塑料等。

3) 特种塑料

特种塑料用于特种环境中,具有某一方面的特殊性能,这类塑料产量小,价格较贵,性能优异。

常用的特种塑料有氟塑料、光敏塑料、导磁塑料、高耐热性塑料及高频绝缘性塑料等。

1.1.4 塑料的物理形态

自然界中物质的聚集状态一般分成三种,即气态、液态和固态。聚合物由于分子结构的连续性,以及巨大的分子质量,所以它们的聚集状态不同于一般低分子化合物,而是在不同的热力条件下,以独特的三种形态存在,即玻璃态、高弹态和黏流态。高分子聚合物是不存在气态的,在受热而可能气化之前,分子结构已受到彻底的破坏,称为低分子的气化物质或碳化物,这就是高分子的降解。

处于玻璃态的塑料,可以被使用或进行机械加工,如切削、钻孔、铣刨等;高弹态的塑料在较小作用力下可产生较大变形,外力解除后能恢复原状,只在热加工过程中才出现;黏流态是塑料的液体存在的形式,只是黏性大,物理构成不同,力学性能不同。当给予外力时,分子间很易相互滑动,造成塑料体的变形,除去外力便不再恢复原状。

塑料热成型过程可以这样描述:通过热和力的作用,让塑料从室温的玻璃态,经历高弹态转变为黏流态,压注入具有一定形状的封闭模腔,然后在模腔内逐渐冷却,从黏流态返经高弹态转回玻璃态,最后形成与模腔形状一致的制品。

1.1.5 塑料的加工温度

塑料的加工温度除了与塑料的品种有关外,在对塑料进行热成型时,还应根据制件的大小、复杂程度、厚薄、嵌件情况、配用着色剂对温度的耐受性、注塑机压力配备以及制件适用条件等因素选择适当的加工温度。

常用塑料的加工温度范围如表 1-2 所列。

表 1-2 常用塑料的热成型温度

塑料	玻璃化转变温度/℃	熔点/℃	加工温度范围/℃	分解温度(空气中)/℃
聚苯乙烯	90	225	180~260	250
ABS	95	225	180~250	
高压聚乙烯	125	110	160~240	280
低压聚乙烯	125	130	200~280	
聚丙烯	20	164	200~300	
尼龙 66	50	225	260~290	266
尼龙 6	50	265	260~290	
有机玻璃	105	180	180~250	
聚碳酸酯	150	250	280~310	

由于加工温度范围是指塑料在黏流态区域内可以进行注塑或挤出成型的温度,因此,可以视为注塑机喷嘴处的温度,只有当塑料达到这个温度时才能顺利成型。

1.2 塑料的注塑成型

注塑成型方法在塑料制品成型中占加工总量的30%以上,是使用最多的一种塑料制品成型方法,本书重点对这种成型方法及其模具进行介绍。

注塑成型亦称注塑、注压,是先将松散成型物料从注射机的料斗送入高温的机筒,在加热和剪切下熔融塑化,在柱塞或螺杆的高压推动下,以很大的流速通过机筒前端的喷嘴注入温度较低的闭合模具中,经保压冷却定型后,开模取出具有一定形状和尺寸的塑料制品的过程。

注塑成型主要用于热塑性塑料和流动性较大的热固性塑料,能一次成型出外形复杂、尺寸精确、可带有各种金属嵌件的三维尺寸模塑制品。注塑成型具有成型周期短、效率高、容易实现自动化、加工适应性强等优点。用这种方式成型的制品有:电视机外壳、半导体收音机外壳、电器上的接插件、旋钮、线圈骨架、齿轮、汽车灯罩、茶杯、饭碗、皂盒、浴缸、凉鞋等。

近年来新的注射技术如反应注射、双色注射、发泡注射等的发展和应用,为注塑成型提供了更广阔的应用前景。

1.2.1 注塑机与模具

注塑成型使用的模具是带有浇注系统的模具,使用的设备是料筒中带有塑化装置的注塑机。该成型方法主要用来对热塑性塑料进行成型。

1. 注塑机

注塑机是注塑成型的主要设备,按外形可分为立式、卧式、角式三种。应用较多的是卧式注塑机,如图1-1所示。尽管注塑机的外形不同,但基本都由下列三部分组成。

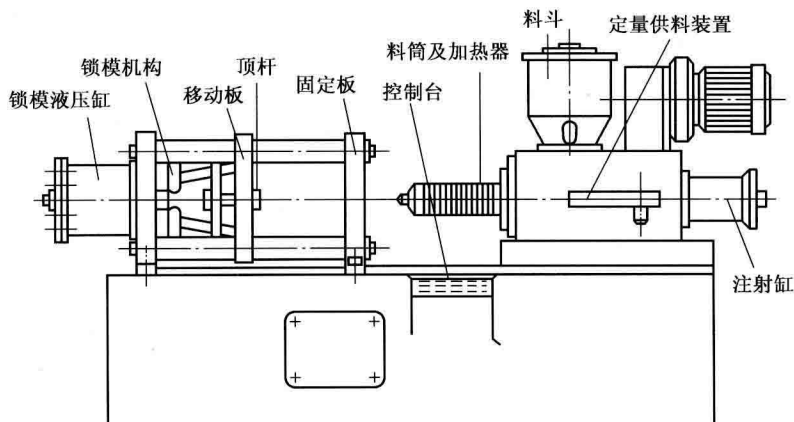


图 1-1 卧式注塑机

(1) 注射装置。注塑机的最主要组成部分,作用是使塑料均匀塑化并达到流动状态,在高压下快速注入模腔中。一般由料斗、加料计量装置、料筒、螺杆及喷嘴等组成。

(2) 合模(锁模)装置。注塑机的一个重要组成部分,作用是闭合模具,并能在模腔内注入高压物料时仍能保持模具的闭合状态,以及完成成型后能克服制品对模具的附着力而打开模具。一般由导柱(拉杆)、固定模板、调模装置、顶出装置和传动装置等组成。

(3) 液压电气控制系统。注塑机的动力来源,可保证注塑机按工艺要求和动作程序准确有序地工作。

2. 注塑成型模具

简称注塑模,是注塑成型的主要工艺装备。注塑模主要由动模和定模两大部分组成,注塑模结构如图 1-2 所示。定模安装在注塑机的固定模板上,动模安装在注塑机的移动模板上。注塑时,动模与定模闭合构成浇注系统和型腔;开模时,动模与定模分离,由顶出机构从模具成型零件上顶出制品。根据模具在制品成型中所起的作用,注塑模的基本组成部分包括型腔、浇注系统、导向顶出机构、调温系统、排气系统、侧向抽芯机构等。

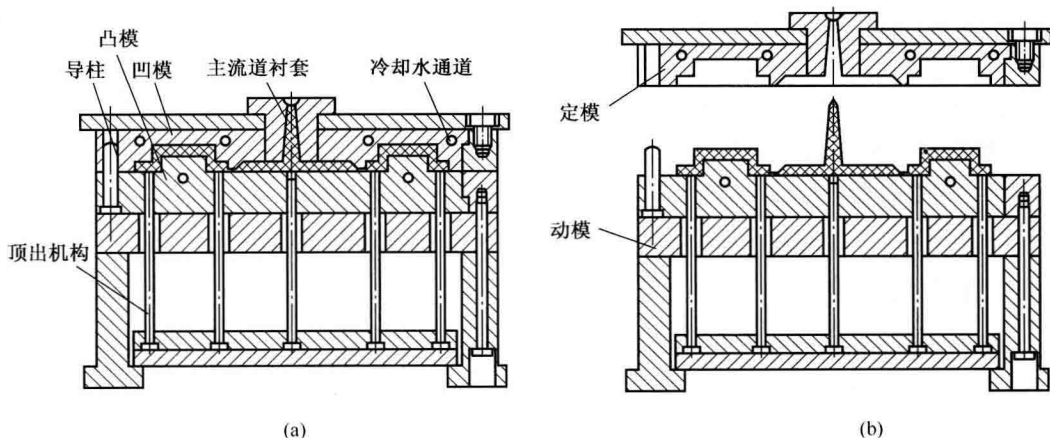


图 1-2 注塑模典型结构
(a)合模成型;(b)开模顶出。

1.2.2 注塑成型工艺过程

注塑成型时,首先需要将注塑模的定模部分安装在注塑机的定模固定板上,将注塑机的动模部分安装在注塑机的动模固定板上。成型过程中,由注塑机的锁模机构带动动模部分运动,实现模具的合模和开模。

注塑成型的工艺流程为:向料斗加入塑料原料——塑料在料筒内熔融塑化——熔体在注塑机料筒内的螺杆或柱塞作用下聚积压力——料筒前端的喷嘴向模具中注射熔体——熔体在模具中保压冷却——脱模。

塑料的注塑成型工艺过程包括成型前的准备、注射过程、制品后处理等,如图 1-3 所示。

1. 成型前的准备

成型前首先要对原料、设备和模具进行检查和预处理。具体过程如下。

1) 原料的检验和预处理

- (1) 检验原料外观:色泽、粒度、均匀性;
- (2) 检验原料的工艺性能:流动性、热稳定性、收缩性、含水量;

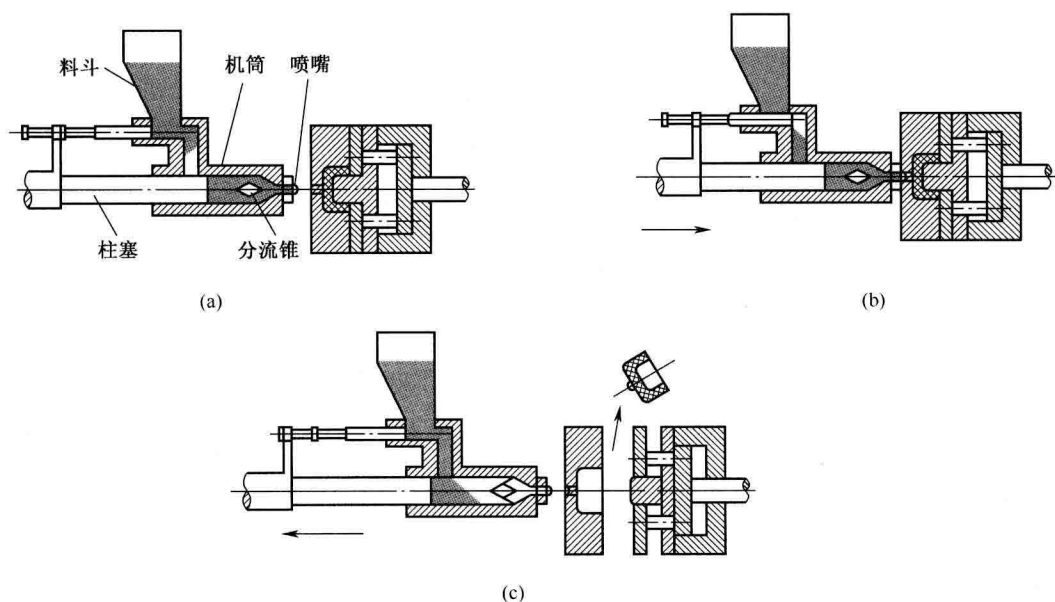


图 1-3 注塑成型工艺过程示意图

(a) 加热熔塑化; (b) 充模、压实、保压、倒流; (c) 冷却定型、脱模。

(3) 对吸水性强的塑料,成型前应进行干燥处理;当原料的水分较多时,将使塑料的机械性能指标下降、制品表面出现斑纹、银丝、气泡等。

2) 清洗料筒

当料筒中存留有杂质或前一次成型的残留物时,会在成型的制品表面形成污迹甚至影响制品的性能。

3) 预热嵌件

金属的热膨胀系数与塑料的收缩率差别较大,并会因此造成制品的变形和开裂。为减小这个差别,需要对嵌件进行预热,缩小塑件和嵌件的温度差,避免产生过大的内应力。嵌件的预热温度,以不损伤嵌件的镀层为准,一般为 $110 \sim 130^{\circ}\text{C}$,对于表面镀铬和镀铜嵌件,预热温度可提高到 150°C 。

4) 涂脱模剂

为了使塑料制品容易与模具分离,有时需要在模具上涂脱模剂。常用的脱模剂有以下三种:

(1) 硬脂酸锌。除聚酰胺类塑料之外,一般塑料均可使用这种脱模剂。

(2) 液体石蜡。一般用于聚酰胺类塑料,效果较好。液体石蜡除润滑脱模之外,还有渗透作用,可防止塑件内部产生空隙。

(3) 硅油。耐高温,具有极好的润滑性能。

2. 注射过程

注射过程是从向料斗加料到熔体充满型腔的整个过程,这一过程对塑料制品的成型质量起着十分关键的作用。该过程主要包含以下内容:

1) 加料

将粒状或粉状原料加入注塑机料斗,由柱塞或螺杆带入料筒加热。

2) 塑化

塑料在料筒中经加热到黏流态的过程。

3) 注射

塑料熔体进入模具型腔的流动过程,分充模、保压、倒流、浇口冻结后的冷却几个阶段。下面对这几个阶段分别进行介绍。

(1) 充模。塑料熔体在注塑机柱塞或螺杆作用下,以一定的压力和速度经浇注系统进入模具型腔的过程。充模时要求熔体黏度低、浇注系统阻力小。这样能以较快的速度充模,避免因料温下降在制品上形成冷接缝。

(2) 保压。充模结束后,在注塑机柱塞杆或螺杆推动下,熔体继续保持压力向模具型腔中补料。在这段时间内,熔体因为冷却而收缩,由于柱塞杆或螺杆的保压,使料筒中的熔体继续进入型腔,以补充收缩所产生的空间。保压时间应适当,保压时间过短,会因收缩空间未填满而在制品表面形成缺陷;保压时间过长,易使塑件产生内应力,引起塑件翘曲或开裂。

(3) 倒流。保压结束后,柱塞杆或螺杆旋转后退,型腔中熔体压力解除,这时,型腔中的熔体压力高于型腔外的压力,如果浇口没有冻结,就会发生型腔中的熔体向外倒流的现象,这种情况会使塑件产生收缩、变形、质地疏松等缺陷;如果保压后浇口处冻结,就不存在熔体倒流现象。

(4) 浇口冻结后的冷却。制品的冷却过程是指从浇口处的塑料熔体完全冻结时起到塑件被从模腔中推出的全部过程。在这一阶段,补缩和倒流不再继续,型腔内的塑料继续冷却、硬化和定型。随着冷却过程的进行,温度迅速下降,型腔内的压力也下降,到开模时,型腔内的压力下降到最低值,此时型腔内的压力与外界大气压力之差为残余压力。冷却时间过长,会造成脱模困难;冷却时间过短,塑件表面会有缺陷或内部会有真空泡。当残余应力接近零时,是较理想的冷却时间。

3. 制品后处理

制品后处理是为了消除制品内部的内应力,防止产生变形和裂纹。其主要手段有退火处理(消除内应力)、调湿处理(使制品预先吸收一定的水分,使其尺寸稳定)等。

1) 退火处理

制品脱模后,其内部存在内应力,并因此导致塑件在使用过程中产生开裂和变形,此时可以用退火的方法消除内应力。

(1) 退火方法。将制品放在室温的加热介质中或热空气循环的烘箱中静置一段时间,然后缓慢冷却。

(2) 退火温度。比制品的使用温度高 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 或比制品的变形温度低 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 退火时间。 $4\sim 24\text{h}$ 。

2) 调湿处理

有些制品在高温下与空气接触时会氧化变色,有些在空气中使用或存放时容易吸收水分而膨胀,在这种情况下需要很长时间才能得到稳定的尺寸(如聚酰胺类塑件)。为了避免上述情况,可以把刚从模具中取出的制品放在热水中,使之与空气隔绝防止氧化,并使塑件快速达到吸湿平衡。这种方法就是调湿处理。

(1) 调湿方法。把刚从模具中取出的制品放在热水中。

(2) 调湿温度。 $100\sim 121^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 调湿时间。 $2\sim 96\text{h}$ 。

1.2.3 注塑成型的工艺条件

在注塑成型中,塑料制品的质量除了与原材料、生产设备和模具结构有关之外,塑化流动和冷却过程中的温度、压力和时间对制品的质量也有着不容忽视的影响,这三个因素称为注塑成型的工艺条件。在生产过程中,应根据制品的要求选择恰当的工艺参数,才能生产出合格的制品。

1. 温度

在注塑成型中,需要控制的温度有料筒温度、喷嘴温度和模具温度。料筒温度和喷嘴温度主要影响塑料的塑化和流动,模具温度主要影响塑料的流动和冷却。

1) 料筒温度

料筒温度的选择与塑料的特性有关,选择料筒温度时,应遵循:①黏流态温度 $<$ 料筒温度 $<$ 分解温度。②塑件尺寸大、壁薄、流程长、成型时间短时,应适当提高料筒温度。③料筒温度分布应喷嘴处高,靠近加料斗处低。

2) 喷嘴温度

为了防止熔料在喷嘴处可能发生的“流涎现象”,喷嘴温度应略低于料筒的最高温度。但是喷嘴温度也不能过低,否则会造成熔料的早凝而将喷嘴堵死。

3) 模具温度

模具温度对制品的内在性能和表面质量影响很大。模具温度的高低取决于塑料的结晶性能、制品的尺寸与结构性能要求以及其他工艺条件(熔料温度、注射速度及注射压力、成型周期)等。

2. 压力

1) 塑化压力(背压)

采用螺杆式注塑机时,螺杆顶部熔体在螺杆转动后退时所收到的压力称为塑化压力,亦称背压。这种压力的大小可以通过液压系统中的溢流阀来调整。在注射中,增加塑化压力会提高熔体的温度,但会减小塑化的速度。此外,增加塑化压力常能使熔体的温度均匀,使色料的混合均匀,并利于排出熔体中的气体。一般操作中,塑化压力应在保证制品质量优良的前提下越低越好。

2) 注射压力

在当前生产中,注塑机的注射压力一般都是以柱塞或螺杆顶部对塑料所施的压力(由油路压力换算来的)为准。注射压力在注塑成型中所起的作用是克服塑料从料筒向型腔的流动阻力,给予熔料充模的速率以及对熔料进行压实。

3. 时间

在生产过程中,为了缩短成型时间、提高生产效率,应在保证质量的前提下,尽量缩短成型周期中的有关时间。在整个成型周期中,以注射时间和冷却时间最重要,它们对制品的质量均有决定性的影响。

1) 充模时间

注射时间中的充模时间较短,为3~5s,一般不超过10s。

2) 保压时间

保压时间是型腔内对塑料的压力时间,一般为20~120s(特厚件为5~10min)。

在浇口处的熔料封冻之前,保压时间的长短对制品的尺寸有影响;熔体封冻之后则无影响。保压时间取决于料温、模温以及主流道和浇口的大小。如果主流道和浇口的尺寸以及工艺条件都是正常的,一般以得出制品收缩率波动范围最小的压力值为准。

3) 冷却时间

冷却时间主要取决于制品的厚度、塑料结晶性能以及模具温度等。冷却时间一般为 30~120s,冷却时间过长不但会降低生产效率,还会造成脱模困难,强行脱模时甚至会产生脱模应力。

4) 注射时间

注射时间应根据塑料的品种和制品的形状确定。注射时间过长,原料会在料筒中分解,制品会产生较大的内应力;注射时间短,制品会产生变形。

常用热塑性塑料注塑成型制品缺陷及产生原因如表 1-3 所列。

表 1-3 热塑性塑料注塑成型制品缺陷及产生原因

制品缺陷	产生的原因
制品不足	① 料筒、喷嘴及模具温度偏低; ② 加料量不够; ③ 料筒剩料太多; ④ 注射压力太低; ⑤ 注射速度太慢; ⑥ 流道或浇口太小,浇口数目不够,位置不当; ⑦ 模腔排气不良; ⑧ 注射时间太短; ⑨ 浇注系统发生堵塞; ⑩ 原料流动性太差
制品溢边	① 料筒、喷嘴及模具温度太高; ② 注射压力太大,锁模力不足; ③ 模具密封不严,有杂物或模板弯曲变形; ④ 模腔排气不良; ⑤ 原料流动性太大; ⑥ 加料量太多
制品有气泡	① 塑料干燥不良,含有水分、单体、熔体和挥发性气体; ② 塑料有分解; ③ 注射速度太快; ④ 注射压力太小; ⑤ 模温太低,充模不完全; ⑥ 模腔排气不良; ⑦ 从加料端带入空气
制品凹陷	① 加料量不足; ② 料温太高; ③ 制品壁厚相差大; ④ 注射及保压时间太短; ⑤ 注射压力不够; ⑥ 注射速度太快; ⑦ 浇口位置不当

(续)

制品缺陷	产生的原因
熔接痕	① 料温太低,塑料流动性太差; ② 注射压力太小; ③ 注射速度太慢; ④ 模温太低; ⑤ 模腔排气不良; ⑥ 原料受到污染
制品表面有银丝及波纹	① 原料含有水分及挥发物; ② 料温太高或太低; ③ 注射压力太低; ④ 流道浇口尺寸太大; ⑤ 嵌件未预热或温度太低; ⑥ 制品内应力大
制品表面有黑点及条纹	① 喷嘴与进料口吻合不好,产生积料; ② 模腔排气不良; ③ 原料污染或带进杂质; ④ 塑料颗粒大小不均匀
制品翘曲变形	① 模具温度太高,冷却时间不够; ② 制品厚薄悬殊; ③ 浇口位置不当,数量不够; ④ 推出位置不当,受力不均; ⑤ 塑料大分子定向作用太大
制品尺寸不稳定	① 加料量不稳定; ② 原料颗粒不均,新旧料混合比例不当; ③ 料筒和喷嘴温度太高; ④ 注射压力太低; ⑤ 充模保压时间不够; ⑥ 浇口、流道尺寸不均; ⑦ 模温不均匀; ⑧ 模具设计尺寸不准确; ⑨ 脱模推杆变形或磨损; ⑩ 注塑机的电气、液压系统不稳定
制品黏模	① 注射压力太高,注射时间太长; ② 模具温度太高; ③ 浇口尺寸太大和位置不当; ④ 模腔不够光洁; ⑤ 脱模斜度太小,不易脱模; ⑥ 推出位置结构不合理