

塑料制品配方设计与加工实例丛书

塑料注射制品

配方设计与加工实例

主编 张玉龙 张子钦



国防工业出版社

National Defense Industry Press

塑料制品配方设计与加工实例丛书

塑料注射制品 配方设计与加工实例

主 编 张玉龙 张子钦
副主编 齐贵亮 周国萍 王喜梅

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书重点介绍了通用塑料(PVC、PE、PP、PS、ABS)、通用工程塑料(PA、PC、POM、PBT、PPO)、特种工程塑料(PPS、聚砜、PEER等)、热固性塑料(酚醛、环氧、不饱和聚酯等)制品的选材、配方设计、组分调整、注射成型工艺与工艺控制、制品性能应用、效果评价等内容,另外,还较详细地介绍了树脂传递模塑(RTM)、辅助注射成型等加工工艺设备、特点、工艺过程、工艺参数,并列举大量的实例加以说明。此书可供塑料从业人员和广大塑料制品用户阅读,更是塑料材料研究、应用、成型加工人员、制品设计人员、分析测试人员和教学人员必备之书,也可以作为自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

塑料注射制品配方设计与加工实例 / 张玉龙, 张子钦

主编. —北京:国防工业出版社, 2006. 1

(塑料制品配方设计与加工实例丛书)

ISBN 7-118-04230-7

I. 橡... II. ①张 ②张... III. ①注塑-塑料制品-配方-设计 ②注塑-塑料制品-生产工艺
IV. TQ320

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 133155 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 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19½ 483 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

随着国民经济的高速发展,人们对塑料制品的需求日益提高,作为塑料制品成型加工中最为普遍的注射成型工艺技术,在不断注入高新技术的基础上,近年来获得了长足进步。塑料注射制品已成为国民经济建设、国防建设和人们日常生活中不可短缺的用品,且对其需求程度愈来愈大,反过来又促进了这一工艺技术的迅速发展。

为了宣传推广近年来注射工艺取得的成果,普及注射成型工艺基础知识,为读者提供一本可以学习、仿效的技术用书,我们在广泛收集国内外大量资料的基础上,编写了《塑料注射制品配方设计与加工实例》一书。书中对每种材料、每一制品的选材、配方设计、组分调整、制品性能、应用、效果与评价作了较为详细的介绍,力求奉献给读者一本易学好懂、便于仿效、操作性强的技术用书。

本书突出实用性、先进性和可操作性,以实例介绍为主、理论叙述为辅,由浅入深,层次清晰,适于具有中等文化程度或初学专业知识的人员阅读,更是塑料从业人员,如材料研究、制品设计、制备加工人员、分析测试人员及广大用户必备书籍。若本书能对我国塑料注射制品的发展起到一定的积极作用,作者将感到无比欣慰。

由于水平有限,书中错误在所难免,敬请批评指正。

作者
2005年8月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 注射成型原理与特点	1
1.1.1 注射成型基本原理	1
1.1.2 注射成型的特点	1
1.2 注射成型设备	1
1.2.1 注射机的分类	1
1.2.2 注射机的结构特征	2
1.3 注射成型工艺	3
1.3.1 成型前的准备	3
1.3.2 成型工艺过程	4
1.3.3 后处理过程	4
1.3.4 工艺控制因素	5
1.4 新型注射成型工艺及其发展	7
1.4.1 新型注射成型技术的特征	7
1.4.2 注射成型技术的发展动向	8
第 2 章 通用塑料制品	9
2.1 聚氯乙烯制品	9
2.1.1 简介	9
2.1.2 建筑用 PVC 管件	9
2.1.3 PVC 异径三通、P 形弯头	13
2.1.4 大型 PVC 供水管件	15
2.1.5 煤矿井下抗静电阻燃 PVC 管接件	17
2.1.6 PVC 阀门	19
2.1.7 PVC 煤矿井下用电缆挂钩	21
2.1.8 PVC 纱管	22
2.1.9 改性 PVC 录音机外壳与结构件	25
2.1.10 PVC/ABS 合金纺织纱管	29
2.1.11 PVC/ABS 合金纺织纬管	31
2.1.12 高填充 PVC 自行车手柄	35
2.1.13 改性 PVC 高筒靴、旅游鞋	39
2.1.14 PVC 鞋底	42
2.1.15 NBR 改性 PVC 皮鞋底	48
2.2 聚乙烯制品	52

2.2.1	简介	52
2.2.2	聚乙烯热收缩异型套管	53
2.2.3	轴向逆流式塑料旋风管	54
2.2.4	大型高密度聚乙烯托盘	56
2.2.5	聚烯烃塑料周转箱	58
2.2.6	一次性食道支架推送器	59
2.2.7	HDPE 一次性注射器芯杆	62
2.2.8	塑料滴眼剂瓶	66
2.2.9	PE 日用品——头梳、皂盒与茶盘	68
2.2.10	羽毛球	69
2.3	聚丙烯制品	70
2.3.1	简介	70
2.3.2	轿车保险杠	70
2.3.3	汽车方向盘	71
2.3.4	蓄电池槽	73
2.3.5	汽车风扇、风扇罩	74
2.3.6	汽车分电器盖	75
2.3.7	云母/玻璃纤维混杂增强聚丙烯潜水泵叶轮	76
2.3.8	洗衣机内桶、脱水桶和底台	78
2.3.9	改性聚丙烯方椅	81
2.3.10	改性 PP 桌面	83
2.3.11	改性 PP 桌腿	86
2.3.12	医用一次性塑料注射器	88
2.3.13	塑料棋	90
2.4	聚苯乙烯制品	90
2.4.1	简介	90
2.4.2	电视机外壳	91
2.4.3	电视机喇叭窗网的微孔注射成型	93
2.4.4	聚苯乙烯录音磁带盒	96
2.4.5	PS 仪表壳体	100
2.4.6	PS 宫颈细胞自采器	103
2.5	ABS 制品	103
2.5.1	简介	103
2.5.2	ABS 大型薄壁制品	104
2.5.3	ABS 轴流风扇	108
2.5.4	8.89cmABS 磁盘外壳	111
2.5.5	ABS 显示器前框	113
2.5.6	两用弹 ABS 手柄	115
2.5.7	一次性用静脉留置针	117
2.6	热塑性弹性体制品	118

2.6.1	SBS 旅游鞋	118
2.6.2	SBS 防滑笔套	120
第3章	通用工程塑料制品	123
3.1	尼龙制品	123
3.1.1	简介	123
3.1.2	阻燃抗静电增强尼龙6 风机叶片	125
3.1.3	阻燃尼龙6 电气配件	127
3.1.4	尼龙6 纺织梭	129
3.1.5	聚乙烯改性尼龙6 铁道轨枕	132
3.1.6	阻燃、抗静电尼龙6 柱靴	133
3.1.7	HDPE/尼龙6 阻透容器	135
3.1.8	超韧尼龙射钉弹弹夹	137
3.1.9	通风机用尼龙66 叶片	139
3.1.10	玻璃纤维增强尼龙66 轴承	141
3.1.11	尼龙66 管材	143
3.1.12	尼龙66 万向节衬套	146
3.1.13	石墨填充尼龙1010 旋转活塞	147
3.1.14	尼龙1010 电池壳	150
3.1.15	尼龙610(或1010)油泵叶轮	153
3.2	聚甲醛制品	154
3.2.1	简介	154
3.2.2	共聚甲醛 Duracon 制品的注射成型	158
3.2.3	聚甲醛双齿轮	160
3.2.4	聚甲醛小模数齿轮	161
3.2.5	风扇用精密 POM 齿轮	163
3.2.6	缝纫机用 POM 齿轮	164
3.2.7	聚甲醛石英钟机芯分轮片	166
3.2.8	汽车用聚甲醛万向节	167
3.2.9	磨床用聚甲醛液压筒套	171
3.2.10	碳纤维增强聚甲醛(CF/POM)复印机导电导辊	176
3.3	聚碳酸酯制品	177
3.3.1	简介	177
3.3.2	PC 手枪握把	180
3.3.3	PC 小模数齿轮	183
3.3.4	PC 丝织纬管	189
3.3.5	PC 自动煮蛋器透明罩	192
3.3.6	汽车仪表指针	195
3.3.7	摩托车挡风玻璃	197
3.3.8	兽医塑料注射器	199
3.3.9	PC/ABS 伸缩电警棍壳体	201

3.4	PBT 制品	203
3.4.1	简介	203
3.4.2	玻璃纤维增强阻燃 PBT 电视机高压包绝缘件	205
3.4.3	PBT 干衣机绝热支架	207
3.4.4	PBT/PC 共混料电话配线模块塑件	208
3.4.5	PBT 电源模块外壳	209
3.4.6	PBT 电子元件的精密注射成型	211
3.5	改性聚苯醚制品	213
3.5.1	简介	213
3.5.2	MPPO 电视机部件	215
3.5.3	MPPO 电子清纱器用检测电容器	217
3.5.4	MPPO 轿车仪表前盖	218
3.5.5	MPPO 雷达天线绝缘环	219
第 4 章	特种工程塑料制品	223
4.1	聚苯硫醚制品	223
4.1.1	简介	223
4.1.2	PPS 测井仪接插件和活塞垫片	225
4.1.3	PPS 线圈骨架	227
4.2	聚砜类塑料制品	228
4.2.1	美国 AMOCO 公司 Udel 聚砜注射成型	228
4.2.2	带有金属嵌件的聚砜制品的注射成型	230
4.2.3	聚醚砜电器部件	231
4.3	其他特种工程塑料制品	233
4.3.1	聚酰亚胺(PI)纳米复合材料轴承	233
4.3.2	改性聚醚醚酮复合材料齿轮	236
第 5 章	热固性塑料制品	239
5.1	简介	239
5.1.1	热固性塑料注射成型的特点与原理	239
5.1.2	注射成型用热固性树脂	240
5.1.3	热固性塑料注射成型设备	242
5.1.4	注射工艺	245
5.1.5	热固性塑料注射制品缺陷及产生原因	247
5.2	酚醛塑料制品	249
5.2.1	酚醛塑料电工制品	249
5.2.2	混杂纤维增强酚醛换向器	251
5.3	环氧塑料制品	252
5.3.1	环氧塑料中高压绝缘制品的压力注射成型	252
5.3.2	电器产品的液态环氧注射封装	254
5.4	不饱和聚酯塑料制品	257
5.4.1	BMC 汽车制品的注射成型	257

5.4.2 不饱和聚酯电工制品	261
5.5 其他热固性塑料制品	262
5.5.1 脲醛塑料电器部件	262
5.5.2 氨基塑料电工制品	264
第6章 树脂传递模塑制品的制备	266
6.1 简介	266
6.1.1 原材料	266
6.1.2 设备	267
6.1.3 工艺参数	267
6.1.4 预成型工艺	268
6.1.5 工艺过程	269
6.2 不饱和聚酯制品	272
6.2.1 汽车用防护罩	272
6.2.2 竹片编织物增强不饱和聚酯船体	273
6.3 乙烯基树脂制品	276
6.3.1 玻璃钢检查井盖	276
6.3.2 薄壁加强结构复合材料特种包装箱体	277
6.4 环氧树脂制品	279
6.4.1 赛车车架	279
6.4.2 651 天线罩	281
第7章 辅助注射成型	285
7.1 气体辅助注射成型	285
7.1.1 简介	285
7.1.2 壳体类制品的气辅注射成型	287
7.1.3 彩电外壳的气辅注射成型	290
7.1.4 富康轿车后车门杂物箱盖气辅注射成型	293
7.2 计算机辅助注射成型	295
7.2.1 捷达轿车阀体套计算机辅助注射成型	295
7.2.2 红旗轿车装饰板左右支柱计算机模拟注射成型	297
参考文献	300

第 1 章 概 述

1.1 注射成型原理与特点

注射成型(也称注射模塑,简称注塑)是指将注射用原料(粒状或粉状塑料)置于能加热的料筒内,受热、塑化后用螺杆或柱塞施加压力,使熔体经料筒末端的喷嘴注入到所需形状的模具中填满模腔,经冷却定型后脱模,即得到具有要求形状的制品。这一过程是通过注射机和模具来实现的。通常,把塑料、注射机和模具称为注射成型三要素,而把成型压力、成型温度和成型周期称为注射成型的三原则。在评价其重要性时,前者为 30%,而后者占 70 %,也就是说控制工艺条件是最重要的。

1.1.1 注射成型基本原理

对注射用塑料的要求是在热、压作用下能熔融流动,因而热塑性塑料和热固性塑料中的绝大多数可适用注射成型工艺。但由于热塑性塑料和热固性塑料的性能不同,因此其注射成型原理也有区别。现仅以热塑性塑料为例简述其注射成型原理。

将树脂通过料斗进入热料筒中。料筒中设有由注射油缸带动的柱塞或螺杆,将物料送到料筒的加热区,物料在加热区软化并被加热到要求温度。在柱塞或螺杆推移下,热塑性塑料熔体被注入闭合的模具中。注模系统固定在注射机的装模板上。锁模系统保证注模的闭合,并提供注射机必要的锁模力。注射机装有时间调节系统,可以控制注射周期的操作程序。

1.1.2 注射成型的特点

注射成型周期从几秒钟到几十分钟不等,其长短取决于制品的壁厚、大小、形状、注射机的类型以及所采用的塑料品种和工艺条件等。

注射成型制品的质量从一克到几十千克不等,视需要而定。

注射成型具有生产周期短,生产效率高,能成型形状复杂、尺寸精确或带嵌件的制品,具有良好的装配性和互换性,因而,可以使制品规格化、系列化、标准化;注射机操作简便易行,模具更换方便,制品翻新快,可多腔成型;对各种塑料的成型适应性强,在注射成型过程中易于实现自动化、高速化生产,经济效益好,因此,注射成型是一种比较先进的成型工艺。

1.2 注射成型设备

1.2.1 注射机的分类

注射机的发展很快,各种新机型不断出现。注射机的分类方法也有多种,如按塑化方式可分为柱塞式、螺杆式和无螺杆式注射机等;按成型原料的类别可分为热塑性、热固性和发泡注

射机等;按机器的传动方式可分为液压式和机械式注射机等。其具体分类情况如下。

(1) 按外形特征分类。注射机按外形特征分类,可分为立式、卧式、角式和多模式等。立式注射机的合模装置与注射装置的轴线呈垂直排列。其优点为占地面积小,模具拆卸方便,模具内容易安装嵌件;其缺点为顶出制品时不易自动脱落,机身高,加料维修不方便。卧式注射机的合模装置与注射装置的轴线呈水平排列。柱塞式最大注射量在 60g 以下,螺杆式在 60g 以上,机身低,加料维修方便,自动化程度高,已成主要机型。角式注射机的合模装置与注射装置的轴线互相呈垂直排列。多模式注射机是多工位操作的特殊注射机。

(2) 按加工能力分类。注射机按加工能力分类,可分为超小型、小型、中型、大型和超大型等。这主要根据注射机的合模力和注射量的大小来确定。通常合模力在 3000kN 以下,注射量在 500g 以下的为小型注射机;合模力在 3000kN ~ 6000kN,注射量在 500g ~ 20kg 之间的为中型注射机;合模力在 6000kN 以上,注射量在 20kg 以上的为大型注射机。

(3) 按用途分类。注射机按用途分类,可分为热塑性塑料注射机、热固性塑料注射机、低发泡塑料注射机、排气型注射机、高速注射机、多色注射机、精密注射机、鞋用注射机、螺纹制品专用注射机、纤维增强塑料专用注射机等。

(4) 按操作方式分类。注射机按操作方式分类,可分为手动型、半自动型和全自动型注射机。这主要由注射机在生产过程中操作时的自动化程度来区分。

(5) 按传动方式分类。注射机按传动方式分类,可分为手动机械式、电动式、液压传动式和气压式等。

(6) 按料筒数量分类。注射机按加热料筒的数量分类,可分为单筒式注射机和多筒式注射机两种。

(7) 按塑化方式分类。注射机按塑化方式分类,可分为柱塞-柱塞式注射机、螺杆-柱塞式注射机和往复螺杆式注射机三种。

1.2.2 注射机的结构特征

注射机通常由料斗、料筒、柱塞和分流梭、螺杆、喷嘴、锁模系统等组成。目前,在生产中使用最多的是卧式注射机。

(1) 加料装置。加料装置包括料斗、计量装置和装料室,有的加料装置上还设有加热干燥装置。小型注射机的加料装置一般采用圆锥形或四方锥形。这种加料装置的缺点是塑料进入料筒的数量不准确,加料不平稳,导致塑料熔化不均匀。在大、中型注射机中,为了保证加料均匀,一般在料斗和料筒之间设置一个可以调节加料量的计量装置,控制塑料进入料筒的数量。

(2) 料筒。料筒也称塑化室,是塑料加热和加压的容器。料筒一般用合金钢或内衬合金钢的复合钢管制成。其容量的大小取决于注射机的最大注射量,柱塞式注射机的料筒容量为最大注射量的 4 倍 ~ 8 倍,螺杆式注射机因其传热效率较高,仅为 2 倍 ~ 3 倍。容量过大,塑料在料筒中的受热时间过长,容易引起分解变色;容量过小,塑料在料筒中的受热时间过短,容易引起塑化不均匀。

(3) 柱塞和分流梭。柱塞和分流梭都是柱塞式注射机料筒内的重要部件,柱塞是一根表面硬度很高的金属圆杆,直径约为 20mm ~ 100mm。柱塞式注射机通过柱塞在料筒中作往复运动,将注射油缸中的压力传递给熔料,并将熔料注入模腔。柱塞与注射油缸的截面积之比一般为 1:(10 ~ 20)。

分流梭是安装在料筒前端内腔中的,形状似鱼雷体的金属部件,其表面有多条凹凸筋,并

与料筒壁紧贴,使料筒内的塑料分散为薄层,紧贴在料筒的内壁表面,扩大塑料的受热面积,加速塑料均匀熔化。

(4) 螺杆。螺杆是螺杆式注射机内的重要部件。注射机螺杆的长径比 L/D 一般为 20 ~ 24,压缩比为 2 ~ 2.5。注射机的螺杆既可旋转,又可前后移动,对料筒内的塑料具有输送、压实、塑化和施压的作用。

(5) 喷嘴。喷嘴是连接料筒和模具的过渡部分,注射机料筒中的熔料在柱塞或螺杆的挤压下,以高压和高速经喷嘴注入模腔。

喷嘴的种类很多,常用的有直通式、延伸式、弹簧针阀式、杠杆针阀式、助分散式和点注式等。

喷嘴通常采用高碳钢制造再经淬火处理,其硬度一般高于模具主流道衬套的硬度。喷嘴的头部一般为半球形,喷孔直径应比主流道直径小 0.5mm ~ 1mm,以防止漏料和避免死角,同时便于将两次注射之间积存在喷嘴处的冷料挤出。

(6) 锁模系统。锁模系统包括锁合模具、启闭模具和顶出制品等机构。锁模系统中锁合和启闭模具的机构通常有机械式、液压式和机械-液压组合式三种。

锁模系统中的顶出装置有机械式和液压式两类。机械式顶出装置采用顶杆顶出制品,结构比较简单,使用广泛;液压式顶出装置是依靠油缸的液压力顶出制品,其顶出力和顶出速度可调。在大型注射机中,往往两种顶出装置并用。

1.3 注射成型工艺

1.3.1 成型前的准备

(1) 原料干燥。原料干燥的目的是除去某些塑料中含有的超量水分,防止成型制品出现银丝、斑纹、气泡等疵点,避免塑料在成型时产生降解现象。

塑料原料的干燥方法很多,在实际生产中可根据具体情况进行选择。如多品种、小批量条件下,一般采用热风循环烘箱或红外及远红外加热烘箱进行处理;单品种、大批量条件下,一般采用沸腾干燥或气流干燥方法进行处理;对于高温易氧化变色的塑料,如聚酰胺等宜采用真空烘箱进行处理。

一般情况下,原料的干燥温度在常压条件下为 100℃ 以上,如果塑料的玻璃化温度在 100℃ 以下,则干燥温度应控制在玻璃化温度以下。通常,每种塑料在一定的干燥温度下都有一最佳干燥时间,虽然延长干燥时间似乎有利于提高干燥效果,但干燥时间太长,会导致能源浪费。

(2) 料筒清洗。注射机在新启用或在生产中遇到更换原料、改变产品,以及发现塑料中有分解现象时,都必须对注射机料筒进行清洗。

在实际生产中,一般采用回用料或清洗剂进行清洗。螺杆式注射机的清洗比较简单,通常是直接换料清洗,清洗时必须控制好料筒内剩余料和新料的热稳定性、成型温度范围和两种塑料的相容性等情况。

柱塞式注射机因料筒内的存料量较多,且不易转动清洗,一般采取拆卸清洗或采用专用料筒清洗剂。使用清洗剂清洗料筒时,首先应升高料筒温度,将剩余料对空注射排出,然后再加入清洗剂进行清洗。有一种专用料筒清洗剂,是一种无色高相对分子质量热弹性材料,在

100℃条件下具有橡胶状特性,可将剩余料带出料筒。

(3) 嵌件预热。塑料的热膨胀系数比金属大,故收缩率也大于金属,在塑料制品中镶嵌金属嵌件时,往往会导致嵌件周围出现裂纹和产生较大的内应力,降低制品的使用性能,甚至造成废品。解决这一问题的方法如下:

① 成型时先预热金属嵌件,使之与熔料的温差减小,减慢嵌件周围熔料的冷却速度,使熔料的冷却收缩趋于均匀。

② 选用热膨胀系数大的金属作嵌件。

③ 加厚嵌件周围的塑料壁厚。

(4) 脱模剂选用。注射制品的脱模,主要依靠合理的模具设计和工艺条件。将脱模剂喷射或涂覆在模腔表面,有利于制品脱模。在实际生产中常用的脱模剂有以下三种:

① 硬脂酸锌,可用于除聚酰胺以外的各种塑料。

② 液体石蜡(白油),主要用于聚酰胺制品脱模。

③ 硅油,这种脱模剂的润滑效果好,但价格高,使用时需配制成甲苯溶液,涂覆后需加热干燥,比较麻烦。

脱模剂的用量必须适当,且涂抹应均匀,对于透明制品尤需注意防止过量,否则会出现毛斑或混浊现象。

1.3.2 成型工艺过程

注射成型是将粒状或粉状塑料从注射机的料斗送进加热的料筒,经加热熔化呈流动状后,再由柱塞或螺杆推动,通过料筒端部的喷嘴注入温度较低的模具中,经冷却固化,松开模具后即得制品。

完整的注射成型过程包括加料、塑化、注射入模、稳压冷却、脱模几个步骤,实质上是塑化、流动与冷却的过程。

(1) 塑化过程。塑化过程是注射成型的准备过程,即塑料在料筒内经加热熔融而达到流动状态,具有良好可塑性的过程。

在塑化过程中,塑料注射入模前必须达到规定的成型温度,并提供各点温度均匀、数量足够的熔料,不发生或极少发生热分解。

(2) 流动与冷却过程。流动与冷却过程是指利用柱塞或螺杆的推动,将熔料注入模具,充满型腔后在一定条件下冷固定型,脱模的过程。这一过程对制品的质量有至关重要的影响,整个过程又包括充模、压实、倒流、浇口冻结后的冷却四个连续阶段。

① 充模。充模阶段指从柱塞或螺杆向前移动起,到模腔被熔料充满止。

② 压实。压实阶段指从熔料充满模腔起,到柱塞或螺杆撤回止。在此阶段,模腔内的熔料因冷却而收缩,料筒内的熔料继续流入以补足因收缩而留出的空隙,其压力基本保持不变,故又称保压阶段。

③ 倒流。倒流阶段指从柱塞或螺杆后退时起,到浇口处熔料冻结时止。

④ 冻结后的冷却。这一阶段指从浇口处的熔料完全冻结时起,到制品从模腔中脱出时止。

1.3.3 后处理过程

塑料制品在成型和二次加工过程中常会产生内应力,引起力学和光学性能不良、外观不佳

等问题,特别是对于厚壁和带金属嵌件的制品,这一问题尤为突出。为此,通常采用退火和调湿的后处理工艺,以消除内应力,稳定尺寸。

(1) 退火处理。退火处理的方法是:将制品置入保持一定温度的热水、热矿物油、甘油、乙二醇、液体石蜡等被加热的液体介质中,或放在热空气循环烘箱中静置一段时间,然后缓慢冷却至室温。

退火温度控制在制品使用温度以上 $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$,或低于塑料的热变型温度 $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$,以不使制品形体畸变为宜。退火时间视具体情况而定,以能够消除制品的内应力为宜。

(2) 调湿处理。调湿处理是指将刚脱模的制品放在热水中进行处理,热水的温度一般为 $80^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$,视塑料热变形温度的高低而定,高者取上限,低者取下限。调湿处理主要用于聚酰胺制品,它可使其脱模后与空气隔离,防止氧化变色,加快吸湿平衡,稳定尺寸。

调湿处理用的液体介质除用热水外,还可用醋酸钾溶液。处理时间的长短根据制品厚度和形状等确定,一般约数小时。

1.3.4 工艺控制因素

工艺控制因素有成型温度(料筒和喷嘴温度、模具温度)、成型压力(塑化压力、注射压力、保持压力)、注射速度、注射速率、成型时间(注射时间、保压时间、冷却时间)、注射量、塑化量等。

(1) 成型温度。料筒温度的高低对塑料成型过程中的塑化性能影响很大,其确定原则如下:

① 料筒温度应略高于塑料的软化点温度 T_f 或熔点 T_m ,但必须低于塑料的热分解温度 T_d 。料筒温度的最佳控制范围在 $T_f \sim T_d$ 之间。如果 $T_f \sim T_d$ 的温度范围较窄,料筒温度应接近 T_f ;如果 $T_f \sim T_d$ 的温度范围较宽,料筒温度可偏高于 T_f 。

② 料筒温度的分布应从料斗后段到喷嘴前段逐步升高。当制品的质量占注射机注射容量的 75% 以上时,料筒的后段温度应比中段和前段高 $5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$,或与其相同;占 50% ~ 70% 时,各段温度应相同;占 50% 以下时,后段温度应比中段和前段温度低 $5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。

③ 对于螺杆式注射机,由于螺杆的搅动作用,传热速率较大,其料筒温度应比柱塞式注射机低 $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。而且螺杆式注射机料筒前段温度可比中段略低些,以防熔料过热分解。

④ 即使是同一种塑料,对平均相对分子质量高、相对分子质量分布较窄、熔体流动速率偏高的牌号,料筒温度应比平均相对分子质量低、相对分子质量分布较宽、熔体流动速率偏低的牌号高一些。

⑤ 在成型厚壁、形状复杂、带嵌件的注射制品时,料筒温度应比成型薄壁、形状简单、不带嵌件的注射制品高一些。

⑥ 对于热敏性塑料,如聚甲醛、聚三氟氯乙烯、聚氯乙烯等,应严格控制料筒最高温度不得超过分解温度,并尽量减少熔料在加热料筒中滞留的时间。

⑦ 对于玻璃纤维增强的热塑性塑料,因其流动性较差,应相应提高料筒温度。

⑧ 对于结晶型塑料,选择适宜的料筒温度和熔料在加热料筒中的滞停时间,对制品的性能影响很大。

料筒温度和喷嘴温度的选择不是孤立的,与其他工艺条件有一定的关系,一般在成型前需加以调整。料筒温度与喷嘴温度之间也存在着密切的联系,为了防止流涎现象,喷嘴温度通常略低于料筒最高温度,但过低会造成熔料早凝,堵塞喷嘴或影响制品性能。

(2) 成型压力。成型压力包括塑化压力、注射压力和保持压力三种,它直接影响塑料的塑

化和制品质量。

塑化压力又称背压,是采用螺杆注射机时,螺杆顶部熔料在螺杆转动后退时所受到的压力,其压力大小的控制是由注射机液压系统中的溢流阀来调整的。

塑化压力的大小,同螺杆设计、制品质量要求和塑料种类有关。增大塑化压力会提高熔体温度,并使熔体温度均一和色料混合均匀,还能排出熔料中的气体。塑化压力太高会导致塑料降解、褪色,并使制品表面出现银丝;太低则使空气进入螺杆前端被加热压缩,使制品表面出现黑褐色云状条纹,并有细小气泡。

一般情况下,塑化压力偏低些为好,以 196MPa 以下为宜。

注射压力指柱塞或螺杆顶部对熔料所施加的压力。它对塑料充模起决定性作用,注射压力的大小和保压时间的长短直接影响到制品的最终性能。

注射压力的大小取决于塑料的熔体流动速率、注射机类型、模具浇口尺寸、制品壁厚及流程等多种因素,关系十分复杂,很多尚不能用定量关系来表示。就某台注射机而言,其最高注射压力是一定的,但由于种种阻力损耗,实际生产中达到的注射压力均小于该最高压力。目前,新型的注射机有提高注射压力的趋势,以适应各种制品的成型要求。

注射压力的选择原则如下:

① 成型原料的流动性能较好,形体简单的厚壁制品,注射压力取 $\leq 68.6\text{MPa}$ 。

② 成型原料的黏度较低,形体简单,精度要求不高的制品,注射压力的取值范围为 $68.6\text{MPa} \sim 98\text{MPa}$ 。

③ 成型原料的黏度较高,如改性聚苯乙烯、聚碳酸酯、聚乙烯等,制品的形体简单,但有一定的精度要求,注射压力的取值范围为 $98\text{MPa} \sim 137.2\text{MPa}$ 。

④ 成型原料的黏度很高,如有机玻璃、聚苯醚、聚砜等,制品的形体要求为薄壁、厚薄不均、注射流程长、精度要求高的,注射压力的取值范围为 $137.2\text{MPa} \sim 176.4\text{MPa}$ 。

⑤ 在成型优质、精密、微型制品时,注射压力的取值范围为 $225\text{MPa} \sim 245\text{MPa}$,甚至可大于 245MPa 。

保持压力是在模具型腔充满后,再将模内熔料压实所施的压力,这样才能得到质量致密的制品。

保持压力的大小需根据制品的尺寸精度要求、外观要求以及浇口附近的定向和脱模等因素决定。其选择原则有以下两个方面:

① 对于薄壁、复杂的制品,保持压力应小于注射压力。

② 对于厚壁制品,保持压力应略高于注射压力,但太高会加大制品纵横方向分子取向的差异,不利于制品性能的均匀性。若保持压力与注射压力相等,虽然制品的收缩率减小,批量制品间的尺寸波动减小,但会造成脱模时制品残余应力加大,以及无定形类塑料的成型周期延长。

(3) 注射速度和注射速率。注射速度是指注射时柱塞或螺杆的移动速度,其单位为 cm/s 。注射速率是指单位时间内熔料从喷嘴注射出的理论容量,其单位为 cm^3/s 。

一般情况下,每种注射制品都有一最佳的注射速率,这主要取决于壁厚的影响,通常厚壁制品最好采用较低的注射速率。

在选择注射速率时,除下列五种情况应采用高速注射外,一般应尽量采用低压慢速注射。

① 熔体黏度高,加工温度范围窄的塑料。

② 成型冷却速度快的塑料。

③ 大型、薄壁、精密制品。

④ 注射流程长的制品。

⑤ 纤维增强塑料。

相对而言,慢速注射充模时熔料因表面凝结容易产生凹痕和熔接痕,但对厚壁制品来说则有利于填充均匀,在生产中常用的注射速度为 $8\text{cm/s} \sim 12\text{cm/s}$;高速充模虽然有熔料密度均匀、温差小、熔料传递压力性能好、尺寸误差小的优点,但容易产生飞边、毛刺及卷入气体,在生产中常用的注射速度为 $15\text{cm/s} \sim 20\text{cm/s}$ 。

(4) 成型时间。成型时间又称成型周期或模塑周期,是指完成一次注射成型过程所需要的时间。在成型时间中,以注射时间和冷却时间最为重要,它们对制品的质量有决定性的影响。注射时间中的充模时间与充模速率成反比,一般约为 $3\text{s} \sim 10\text{s}$,保压时间一般为 $20\text{s} \sim 120\text{s}$,在成型特厚制品时,则高达 $5\text{min} \sim 10\text{min}$ 以上。冷却时间决定于制品的厚度、塑料性能和模具温度等,一般约为 $30\text{s} \sim 120\text{s}$ 。

(5) 注射量。注射量是指注射机在对空注射(无模具)条件下,柱塞或螺杆在一次最大注射行程中所能生产的制品质量或体积,也就是最大注射量。它是衡量注射机使用性能的一项重要技术指标。

目前,注射量的计量单位有的以质量单位来表示,有的以体积单位来表示。在实际生产中以质量单位来表示比较方便,在理论计算中多以体积单位来表示。

(6) 塑化量。塑化量是指注射机每小时能够塑化达到注射温度的塑料量,以 kg/h 表示。注射机的塑化能力应保证在最高生产率的情况下对塑化物料的供应,它受注射量和注射机生产率的限定。

(7) 缓冲垫。为了得到良好的制品,在成型过程中必须准确地控制加料量,并在每次注射后在料筒前端留有一定的剩料,起到压力传递时的缓冲垫作用。加料量太少,则无传压介质,此时无论注射压力多大,注射速度多快,保压时间多长,制品仍出现缺料、凹痕、空洞等弊病;加料量太多,剩料量过大,则注射压力损耗增加,料筒中塑料受热时间相应延长,会有降解的可能。

一般规定中,缓冲垫应调节到 4mm 左右。当回用料和新料的粒径尺寸不均匀时,或料中含湿量和挥发物含量较高时,缓冲垫常增至 25mm 左右。缓冲垫的控制范围一般为 $10\text{mm} \sim 20\text{mm}$ 。

1.4 新型注射成型工艺及其发展

1.4.1 新型注射成型技术的特征

为了对制品进行更为复杂的形状赋形,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,具有如下的各种技术特征。

(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。

1.4.2 注射成型技术的发展动向

近年来,为了不断地满足高分子制品向高度集成化、高度精密化、高度机能化、高产量等方面发展的要求,高分子材料的注射成型技术也取得了日新月异的进步。如过去人们仅仅把注射成型当作对高分子材料进行形状赋予的手段,而目前的注射成型已经成为能在对高分子材料进行形状赋予的同时,完成诸如应力分布控制(如应力分散或有意图的局部应力集中)、聚集态或微观相形态控制(如结晶、取向、相分布、互穿网络)、组织形态控制(如芯部微细发泡、中空)、表面机能赋予(如硬度表面、加饰表面、精细形状转写表面、梯度表面)、材料组合(如金属材料或非金属材料/高分子材料、不同种类的高分子材料、不同色彩的高分子材料)等过程的手段。

为了更好地实现上述目的,在硬件系统上,人们不断地试图从注射成型机改进(如电动式注射机、配置头部或压缩段部实现高剪切的螺杆、加装混炼器的喷嘴等)、从成型机辅助装置改进(如多层三明治成型法:在两台分别使用不同树脂的注射机之间加装层流形成装置,以制造具有多层层状复合结构的制品;超声波辅助成型法:在模具上加装超声波探头和振动变位器,以提高树脂的流动性和表面转写性等)、从模具改进(如微细孔成型法:在模具上加装数万根直径仅为 0.3mm 左右的针状合金嵌钉,成型诸如电视机音箱板制品等)、从注射系统的精确控制和机能整合(如注射减压成型法:成型时首先利用注射高压将树脂充填至模具,再将模具动模板突然退开启一定距离后,使树脂冷却成型,可制造表面层致密,中间层疏松类似于三明治成型的制品;模具表面电感加热成型法:在合模前将由线圈组成的圆形平面式电感加热器移至模具表面附近,利用电磁感应使模具表面迅速升温后,退出电感加热器并立即合模注射,该方法可使纤维沉入制品内部以提高纤维增强制品的表面光洁度等)等角度出发,极大地推动了注射成型技术的发展。

然而,高分子的注射成型毕竟是一种非常复杂的涉及各种技术门类的系统工程,尽管目前在很多方面还不得不依赖人们的经验,但今后其发展不仅需要对现有技术的高度利用,而且有待于在高分子材料工程学、化学工程学,乃至机械工程学等方面的基础知识的进步。因此,在软件系统上,人们也不断地通过对 CAE 技术(通过对树脂的流动解析、温度分布解析、冷却解析、收缩/翘曲解析、制品形状及设计解析、应力解析等过程,达到对制品进行最佳形状设计、模具设计和材料设计的目的,以降低产品试制成本、缩短开发时间和提高制品质量)、计测技术(通过对成型中树脂的温度及压力、模具的温度及压力、计量、 $P-V-T$ 关系等有关参数的高精度测量,以选择最佳工艺条件)、控制技术(通过对成型工艺参数、机械动作及步进程序等高精度控制,以进行注射工程的最佳整合)、物性评价技术(通过对材料进行各种如流变学性能、热性能、结晶性能、黏弹性能、电学光学性能等物理化学方面或机械物性方面的评价,或对材料制品进行各种实用性能的评价,以积蓄各种和成型工艺及应用有关的数据)等方面的积极探索,为推动注射成型技术的发展奠定基础。只有在此基础上,高分子材料的注射成型新技术才会获得高速的发展。