

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

SULIAO
CHENGXING
MOJU
SHEJI



塑料成型模具设计

李德群 肖景容 编著

LIDEQUN XIAOJINGRONG BIANZHU

华中理工大学出版社

塑料成型模具设计

李德群 肖景容 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

华中理工大学出版社

内 容 提 要

本书全面讲述了塑料成型的工艺基础、塑料制品的设计原则、塑料模具的基本结构及设计原理。本书除重点讲述了塑料的注射成型模具外,还扼要讲述了塑料的压塑成型、压铸成型、中空成型、真空成型以及压缩空气成型等模具,使读者对塑料成型模具有一个全面的了解。另外,书中还介绍了计算机辅助设计注射模具的最新成就。

本书可供大专院校机械类专业教学用,亦可供从事模具的设计、制造和使用的工程技术人员及工人参考。

塑 料 成 型 模 具 设 计

李德群 肖景容 编著

责任编辑 钟小珉

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 9.25 字数: 205 000

1990年7月第1版 1991年3月第2次印刷

印数: 2 001~4 500

ISBN 7-5609-0477-7/TB·14

定价: 3.90元

序 言

塑料工业是一门新兴工业。自塑料问世后的几十年以来, 由于其原料丰富、制作方便和成本低廉, 塑料工业发展很快, 它在某些方面已取代了各种有色金属、黑色金属、水泥、橡胶、棉布、皮革、陶瓷、木材和玻璃等, 成为各个工业部门不可缺少的材料。目前, 世界的塑料产量已超过有色金属产量的总和。

由于金属零件塑料化的发展很快, 金属热加工专业的学生以及从事金属模具设计的工程技术人员面临着新的挑战。他们需要拓宽视野, 学习必要的塑料基本知识及其成型工艺, 掌握塑料模具的设计方法。

塑料的成型方法很多, 有注射、挤压、吹塑、压塑、压铸和发泡膨胀等, 但应用最广泛的还是注射成型。据统计, 世界上注射模具产量约占塑料成型模具总产量的50%以上。本书系统地叙述塑料注射成型工艺及其模具结构, 并力求反映计算机辅助设计注射模具的最新成就。此外, 还扼要地介绍了塑料的其它主要成型方法, 以便读者对塑料的成型方法有一个完整的概念。

由于笔者水平所限, 错误和欠妥之处在所难免, 恳希读者指正。

作 者

1989年10月30日

于华中理工大学

目 录

第一章 塑料注射成型工艺基础	(1)
§1.1 塑料的组成及分类.....	(1)
§1.2 塑料的特性.....	(5)
§1.3 塑料注射成型的工艺特性.....	(7)
第二章 塑料制品的设计原则	(13)
§2.1 制品几何形状的设计.....	(13)
§2.2 螺纹与齿轮设计.....	(18)
§2.3 金属嵌件的设计.....	(20)
§2.4 尺寸精度与表面粗糙度.....	(22)
第三章 塑料注射模及注射成型机的基本结构	(25)
§3.1 注射模具的基本结构及分类.....	(25)
§3.2 注射成型机的分类与规格.....	(28)
§3.3 注射模具与注射成型机的关系.....	(30)
§3.4 注射模具的设计步骤.....	(35)
第四章 注射模浇注系统的设计	(37)
§4.1 普通流道浇注系统.....	(37)
§4.2 浇注系统的平衡进料.....	(44)
§4.3 无流道浇注系统.....	(46)
§4.4 注射成型时熔体流动的计算机模拟简介.....	(48)
第五章 注射模模具成型部分的设计	(50)
§5.1 型腔的总体布置.....	(50)
§5.2 成型零件的结构设计.....	(52)
§5.3 成型零件工作尺寸的计算.....	(55)
§5.4 型腔壁厚的计算.....	(58)
第六章 注射模导向和顶出机构的设计	(63)
§6.1 导向机构的设计.....	(63)
§6.2 顶出机构的结构及脱模力的计算.....	(64)
§6.3 主要顶出零件的设计.....	(72)
§6.4 浇注系统凝料的自动切断及顶出.....	(75)
第七章 注射模侧向分型与抽芯机构的设计	(77)
§7.1 抽芯机构的分类与结构.....	(77)
§7.2 斜导柱的设计与计算.....	(82)
§7.3 滑块与压紧块的设计.....	(85)
第八章 注射模温度调节系统的设计	(88)
§8.1 温度调节的必要性.....	(88)
§8.2 冷却管道的工艺计算与设计原则.....	(89)
§8.3 冷却回路的形式.....	(95)
§8.4 冷却系统的计算机模拟简介.....	(97)

第九章 热固性塑料压塑模的设计	(99)
§9.1 概述	(99)
§9.2 压塑模具与压力机的关系	(102)
§9.3 压塑模的结构设计要点	(106)
第十章 热固性塑料压铸模的设计	(115)
§10.1 概述	(115)
§10.2 压铸模具与压力机的关系	(118)
§10.3 压铸模的结构设计要点	(119)
第十一章 塑料中空成型、真空成型以及压缩空气成型模具的设计	(126)
§11.1 中空成型模具的设计	(126)
§11.2 真空成型模具的设计	(129)
§11.3 压缩空气成型模具的设计	(131)
附录 1 塑料制品的缺陷及产生的原因	(134)
附录 2 模具零件的材料及热处理选择	(138)
附录 3 常用塑料名称的缩写代号	(139)
附录 4 常用热塑性塑料的某些性能	(140)
参考文献	(141)

第一章 塑料注射成型工艺基础

§1.1 塑料的组成及分类

塑料是一种可塑成型材料，它是以高分子聚合物为主要成分的混合物，在加热、加压等条件下具有可塑性。在合成树脂中加入某些添加剂（如增塑剂、着色剂和填充剂）后，可以得到各种性能的塑料品种。由于添加剂的比例较小，塑料的性能主要取决于合成树脂的性能。

合成树脂是高分子聚合物，它是由许许多多结构相同的普通分子组成的大分子。如低密度聚乙烯的平均分子量为1.5万~3.5万，高密度聚乙烯的平均分子量为8万~14万，超高分子量聚乙烯的平均分子量可以超过100万。而一般低分子物质的分子量仅为几十至几百，如水的分子量为18，铁的分子量为55.8等。高分子聚合物的用途很广，它可以用来制造合成树脂、合成橡胶和合成纤维三大合成材料，构成了20世纪材料工业的重要支柱之一。在这三大合成材料中合成树脂的产量最大，应用最广，据统计，用合成树脂制作的塑料的产量，约占这三大合成材料总量的68%。

1.1.1 塑料的组成

塑料是以合成树脂为主要成分的，它由合成树脂和根据不同的需要所增添的不同的添加剂而组成。

1. 合成树脂

在自然界中有一些来自植物或动物分泌的有机物质，如松香、虫胶和琥珀等，称为天然树脂。它们在受热后没有明显的熔点，能逐渐变软，并具有可塑性。天然树脂用途很广，如利用某些天然树脂制造油漆，利用虫胶制造留声机唱片等，但这种有机高分子物质的产量太少，性能又不够理想。为了寻求天然树脂的代用品，人们模仿它的成分，用化学方法人工地制取各种树脂，这类树脂称之为合成树脂。最初制造合成树脂的原料为农副产品，以后为煤，60年代以后则主要为石油。

2. 填充剂

填充剂用以提高或改善塑料的某些性能，降低塑料的成本。一般采用的填充剂有石英、木屑、棉花、纸张、石棉和玻璃纤维等。如在酚醛树脂中加入木屑等填料后，可得到机械强度较好的胶木粉。又如塑料中加入的云母、石英和石棉，可以提高塑料的耐热性和绝缘性。因填充剂的形状不同，所以可由它得到粉状、纤维状和层状等不同形态和性质的塑料。

3. 增塑剂

增塑剂用来提高合成树脂的可塑性和柔软性。常用的增塑剂是液态或低熔点固态有机化合物。例如在聚氯乙烯树脂中加入邻苯二甲酸二丁酯等增塑剂后，可以得到象橡胶一样的软塑料。对增塑剂的要求是，它与树脂的混溶性要好，且不易从制品中逸出。塑料制品的老化现象（塑料的硬度随时间的变化而增大），就是由增塑剂中的某些挥发性物质逐渐从塑料制品中逸出所导致的。此外，还要求增塑剂尽量无色、无毒、无味，且不受光和热的影响。

4. 稳定剂

塑料在紫外线和氧气的作用下会逐渐老化，稳定剂的作用就是减缓或阻止塑料的老化。稳定剂有抗氧化剂和抗紫外线吸收剂等多种。一般抗氧化剂为酚类及胺类有机物。通常将炭黑用作抗紫外线吸收剂。

5. 润滑剂

为了防止塑料在成型过程中粘在模具或其它设备上，在某些塑料中要加入少量润滑剂。常用的润滑剂为硬脂酸及其盐类物质，有些润滑剂兼有稳定剂的作用。在注射成型时润滑剂还可以改进塑料的注射性能，并使制品表面光滑。

6. 固化剂

某些树脂在成型前必须加入固化剂才能变为坚硬的材料。例如，在酚醛树脂中加入六次甲基四胺，在环氧树脂中加入乙二胺或顺丁烯二酸酐等。

7. 着色剂

为了满足使用上的要求，常利用着色剂来增加塑料制品的色彩。一般要求着色剂的着色力强，色泽鲜艳，耐温和耐光性好。塑料常用的着色剂有有机颜料和矿物颜料两种。有机颜料有颜色钠猩红、黄光硫靛红棕、红光还原亮紫、颜料蓝、炭黑等；矿物颜料有铬黄、绛红、氧化铬、铝粉末等。

生产塑料时还可增添其它一些添加剂，如阻燃剂可降低塑料的燃烧性，发泡剂可以将树脂制成泡沫塑料等。塑料还可以制成象金属那样的“合金”，即把不同品种、不同性能的塑料用机械的方法掺合在一起，或者将不同单体的塑料经化学处理得到性能完全不同的塑料。例如，ABS塑料就是由丙烯腈、丁二烯、苯乙烯三种组分制成的三元复合物。因此，人们可以采用不同的树脂和添加剂，配制出各种成分不同、性质各异的塑料，来满足工业及其它部门的需要。

1.1.2 塑料的分类

目前，塑料的种类已经数以百计，分类的方法也很多。例如，可以根据塑料的外表，将它分为粉状的、粒状的、层状的和纤维状的，也可以根据塑料的功能将它分为耐磨类的、绝缘类的、耐腐蚀类的、高强度类的等等。但最常见的是根据塑料的制造方法、成型工艺及其用途进行分类。

1. 按制造方法分类

制造高分子化合物的方法，主要是根据有机化学中的两种反应过程——“聚合反应”和“缩聚反应”过程。

聚合反应是将许多低分子单体（如从煤、石油中得到的乙烯、苯乙烯、甲醛、苯酚等的分子）化合成高分子化合物的化学反应，在此反应过程中没有低分子物质析出。这种反应可在同一种物质的分子间产生（其反应产物称聚合体），也可以在不同物质的分子间产生（其反应产物称共聚体）。如聚甲醛和尼龙等都是通过这种反应得到的。

缩聚反应是将相同的或不相同的低分子单体化合成高分子化合物的化学反应，在此反应过程中有低分子物质（如水、氨、氯化氢等）析出。如酚醛树脂和有机硅树脂等便是这种反应的产物。

2. 按成型工艺分类

根据成型时的工艺性能，塑料可分为热固性塑料与热塑性塑料两大类。热塑性塑料主要

由聚合树脂制成，一般在热塑性塑料中仅加入少量稳定剂和润滑剂等。这类塑料在受热时会软化，冷却后又变硬，并可以多次反复成型，因此它可以直接用注射、挤压或吹塑方法成型。热固性塑料大多数是以缩聚树脂为主、加入各种添加剂而制成的。这类塑料一旦固化成型，即使加热到接近分解的温度也不会软化，也不会溶解在溶剂中。多数热固性塑料采用压塑或压铸成型，但有的也可以注射成型。

塑料的热塑或热固的特性，可以从分子的结构来说明。一般物质的分子呈球状，而高分子物质的结构，有些象长链，有些象树枝，还有些呈网状，这些结构使塑料具有热塑或热固的特性。图 1.1 所示为高分子物质的结构示意图。

热塑性塑料的分子结构呈链状或线状。这些链状或线状分子通常并不互相连结在一起。当加热时，这些分子获得热能而变为流动状分子，因此具有可塑性。属于这类的塑料有聚乙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、尼龙等塑料。

热固性塑料在加热开始时也具有链状或线状结构，但在受热后，这些链状或线状分子逐渐结合成网状结构，成为一个不熔和不溶解的物质。由于链与链之间产生了化合，所以当再次加热和溶解时，这类塑料不再会软化。属于这类的塑料有酚醛塑料、脲醛塑料、醇酸塑料等。

表1.1列出了常用的热塑性塑料和热固性塑料。

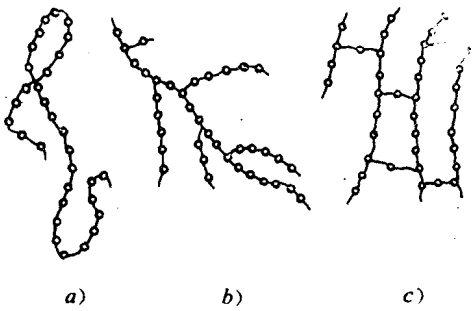


图1.1 高分子物质的结构示意图
a)链状结构；b)树枝状结构；c)网状结构

表1.1 常用的热塑性塑料和热固性塑料

塑料种类	热塑性塑料	纤维素衍生物塑料	硝酸纤维素塑料
			醋酸纤维素塑料
			乙基纤维素塑料
			苯甲基纤维素塑料
		聚氯乙烯塑料	硬聚氯乙烯塑料
			软聚氯乙烯塑料
		聚甲基丙烯酸甲酯塑料	
		沥青塑料	
		聚四氟乙烯塑料	
		聚酰胺塑料	尼龙66
			尼龙6
			尼龙11
		⋮	

续表1.1

塑料种类	热固性塑料	酚醛塑料
		三聚氰胺甲醛塑料
		聚酯树脂和塑料
		环氧树脂和塑料
		有机硅塑料
		⋮

3. 按用途分类

根据用途和性质，塑料可分为通用塑料和工程塑料两类。

所谓工程塑料，是指那些机械性能好、可代替金属用作工程材料的一类塑料。如尼龙可用于制造齿轮、凸轮和轴承等传动或摩擦零件，一度被誉为划时代的工程塑料。随后，ABS、聚碳酸酯、聚甲醛等相继试制成功，它们也都是良好的工程塑料。通用塑料是指那些产量大、成本低、应用范围广、具有一般用途的塑料，如聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚乙烯等。

随着塑料应用范围的不断扩大，工程塑料和通用塑料之间的界线越来越难划分。例如，聚氯乙烯作为耐腐蚀材料已大量用于化工机械中，按照用途分类，它又属于工程塑料。

表1.2列出了常用的通用塑料和工程塑料。

表1.2 常用的通用塑料和工程塑料

塑料种类	通用塑料	聚乙烯	
		聚苯乙烯	
		聚丙烯	
		聚氯乙烯	
		有机玻璃	
		密胺树脂	
	工程塑料中的通用塑料	酚醛树脂	
		脲醛树脂	
		硬聚氯乙烯	
		ABS	
	工程塑料	一般的	环氧树脂
			聚酰胺
			聚缩醛
			聚碳酸酯
			聚苯醚
			聚砒

续表1.2

塑 料 种 类	工程塑料	一般的	聚丁烯对酞酸酯
			聚乙醇对酞酸酯
		特殊的	酞酸二烯丙酯
			硅树脂
			聚酰亚胺
			聚甲基戊烯
			聚四氟乙烯
			聚酰替芳胺
			硫化聚醚
			聚氨基双马来亚胺
			聚链烯乙烯醇共聚物

§1.2 塑料的特性

塑料具有卓越的成型和加工性能。在加热、加压下，利用不同的成型方法几乎可以将它制成任何形状的塑料制品。塑料的这种独特性能归根于高分子聚合物的巨大分子量。高分子聚合物中的一个大分子有着数以万计的原子，原子彼此间具有很大的作用力，而分子之间的长链会蜷曲纠缠。这些缠结在一起的分子既可互相吸引又可互相排斥，结果使塑料产生了弹性。高分子聚合物在受热时不象一般低分子物质那样有明显的熔点，从长链的一端加热到另一端需要时间，即需要经历一段软化的过程，这就是塑料具有可塑性的原因。塑料的许多特性都可以用高分子物质的结构和缠结学说来解释。

1.2.1 塑料的优缺点

不同规格品种的塑料具有各种不同的物理机械性能。综合起来，塑料具有如下性能。

1. 质量轻

一般塑料的密度略大于水的密度(但最轻塑料的密度比水的要小)，一般塑料的密度大约是钢的 $1/6$ 、铝的 $1/2$ 。虽然塑料质量轻，但其机械强度比木材、玻璃、陶瓷等的要高得多。有些塑料在强度上甚至可与钢铁媲美，这对于要求减轻自重的车辆、船舶和飞机等有特别重要的意义。

2. 比强度高

如果按单位重量来计算材料的抗拉强度(比强度)，则一般塑料并不逊于金属，有些塑料则远远超过金属。如铝、锌、铜的比强度约为 $1200 \sim 1600$ ，钢的比强度约为 $1400 \sim 6500$ ，而工程塑料的比强度可达 $4100 \sim 7000$ ，碳纤维增强塑料的比强度可达 $22000 \sim 38000$ 。

3. 耐腐蚀力强

绝大多数塑料对化学溶剂具有良好的抗腐蚀能力，它们不受碱类、酸类、盐类物质及汽油、气体、氧化剂的腐蚀。如聚四氟乙烯的化学稳定性超过了所有的已知材料(包括金和铂)

的化学稳定性。

4. 电绝缘性能好

几乎所有的塑料都有优越的电气绝缘性能和极低的介质损耗性能，可以与陶瓷和橡胶相媲美。除用作绝缘的塑料外，现又制出半导体塑料、导电导磁塑料等，它们对电子工业具有独特的意义。

5. 减摩、耐磨性能突出

大部分塑料的摩擦系数都较低，且耐磨性能良好，可以用来制作轴承、齿轮、活塞环和密封圈等零件。它们能在腐蚀性介质中或者少油、无油润滑的条件下有效地运转。

6. 加工性能好

现已能采用多种高生产率的方法来制造塑料零件，制造时成型工艺简单、后续加工次数少。特别是对热塑性塑料还可进行多次加工。此外，塑料很适合高效率、大批量的生产方式。

塑料也存在着一些缺点，所以在应用上受到一定的限制。一般塑料的刚性差，例如尼龙塑料的弹性模量约为钢铁的 $1/100$ 。塑料的耐热性差，如果长时间使用，一般使用温度只能在 100°C 以下。塑料的热膨胀系数很大，大多数热塑性塑料的线膨胀系数在 10×10^{-5} 左右，约为钢铁的10倍。塑料的导热系数只有金属的 $1/200 \sim 1/600$ ，这对散热而言是一个缺点。长期在载荷作用下，即使温度不高，塑料也会渐渐产生塑性流动，即发生“蠕变”现象。塑料容易燃烧，在光和热的作用下，性能容易变坏，发生“老化”现象。

对于塑料的上述缺点，一方面可以通过各种方法加以改进和克服，另一方面有待于各种新型塑料的问世，以便进一步扩大塑料的使用范围。

1.2.2 几种常用的热塑性塑料

热塑性塑料的种类很多，下面仅介绍常用的几种。

1. 聚乙烯 (PE)

聚乙烯由乙烯聚合而成。乙烯是炼制石油时的主要副产品。由于原料来源充沛，制造过程简单，因此聚乙烯塑料发展很快，目前它的产量已居世界塑料工业的首位。

由于乙烯聚合时的压力不同，聚乙烯又分高压聚乙烯、中压聚乙烯和低压聚乙烯。用高压法得到的聚乙烯密度低，质地软，机械强度较低，熔点也较低，外观为半透明乳白色，它适合制造薄膜、日常用品等。而用低压和中压法得到的聚乙烯密度高，机械强度较高，刚性较大，熔点也较高，外观为不透明乳白色，故它适合制造绳子，空心容器及工业配件等。将高密度和低密度聚乙烯按一定比例混合使用，可以起到取长补短的作用。

2. 聚氯乙烯 (PVC)

聚氯乙烯由氯乙烯聚合而成。氯乙烯来源于石油、石灰石、焦炭、食盐、天然气等。它来源广泛，制造工艺成熟，是本世纪30年代出现的塑料品种。原来它的产量为塑料工业之首，现已退居第二位，仅次于聚乙烯。

聚氯乙烯通常分硬聚氯乙烯与软聚氯乙烯两种。硬聚氯乙烯的主要成分是聚氯乙烯和3%左右的稳定剂，有时还加入一些填充剂和少量增塑剂。这种塑料多用来制造机械零件、电气绝缘用品、板料及各种型材。软聚氯乙烯是由聚氯乙烯和30%~80%的增塑剂组合而成，其性质柔软、富于弹性，故它适用于制造电线绝缘层和人造革，也大量用来制作日用品，如雨衣、窗帘、台布等。

3. 聚苯乙烯 (PS)

聚苯乙烯由苯乙烯聚合而成。而苯乙烯则由苯和乙烯制成。聚苯乙烯是发现最早、研究较完善的一类塑料。聚苯乙烯是一种多性能的塑料,其价廉、容易着色、透明、吸湿性低、电绝缘性能好、加工性能优良。聚苯乙烯广泛地用于电子电器工业、化学工业、冷冻工业以及日用品等各个方面。聚苯乙烯的主要缺点是脆性和耐热性差,为了改进这些缺点,发展了聚苯乙烯的改性品种,其中性能最突出、在工业上应用最广泛的是ABS塑料。

4. 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS)

ABS是由丙烯腈、丁二烯和苯乙烯所组成的一种工程塑料。ABS的综合性能好,即冲击强度高,尺寸稳定,易于成型,耐热和耐腐蚀性能也较好,并有良好的耐寒性,在 -40°C 低温下仍有一定的机械强度。在ABS塑料中,丁二烯可提高塑料的弹性及冲击强度,所以丁二烯含量愈高,塑料的冲击强度愈大;丙烯腈可提高塑料的耐热和耐腐蚀性能;苯乙烯可保持塑料的优良的电绝缘性能和成型加工性能。ABS塑料中的这三种单体的含量可根据不同的要求任意改变。

ABS良好的综合性能,决定了它应用的广泛性,目前它已广泛地用于制造汽车、飞机、电冰箱、电视机的零件,如汽车的挡泥板、小轿车的车身、飞机舱的装饰板、电视机的机壳等。

5. 聚酰胺 (尼龙、PA)

聚酰胺是由二元胺与二元酸缩合而成,或由氨基酸先脱水成内酰胺后再聚合而成。根据胺与酸中的碳原子数或氨基酸中的碳原子数,这类塑料分别命名为尼龙6、尼龙66、尼龙610等。尼龙是最先用来制造受力零件的热塑性塑料,也是目前机械工业中应用最广泛的一类塑料。由于尼龙具有优良的机械强度、耐磨性和耐腐蚀性以及耐热性(使用温度可达 $80\sim 120^{\circ}\text{C}$),故它广泛地用来制造机械、化工和电器的零件,如轴承、齿轮、凸轮、风扇叶轮以及各种日用品等。

§1.3 塑料注射成型的工艺特性

在模具设计时必须了解所用塑料的成型特性和成型时的工艺特性。

热塑性塑料的成型特性包括成型温度、压力和时间等,工艺特性包括收缩率、流动性、热敏性、应力敏感性、吸湿性及热性能等。

1.3.1 注射成型的工艺过程

注射成型的工艺过程包括成型前的准备、注射过程和制品的后处理。

1. 成型前的准备

一般,在成型前应对塑料原料进行外观(如原料的色泽、颗粒大小及均匀度等)检验,对其工艺性能进行测试。对于某些容易吸湿的塑料,如聚酰胺(尼龙)、聚碳酸酯、ABS等,成型前应进行充分的干燥,以避免产品表面出现银丝、斑纹和气泡等缺陷。

在成型某种塑料前,应对注射机的料筒进行清洗或拆换。当在塑料制品内设置金属嵌件时,有时需对金属嵌件进行预热,以减小熔料与嵌件的温度差。为了使塑料制品易于从模腔内脱出,对有的注射模具还需涂上脱模剂。常用的脱模剂有硬脂酸锌、液体石蜡和硅油等。

2. 注射过程

塑料在料筒内经加热达到流动状态后,进入模腔内的流动可分为充模、压实、倒流和冷却四个阶段。在连续的四个阶段中,熔体温度将不断下降,而压力则按图 1.2 所示的曲线变化。由图可见,当模腔充满熔体($t=t_1$)时,熔体压力迅速上升,达到最大值 P_0 。从时间 t_1 到 t_2 ,塑料仍处于螺柱的压力下,熔体会继续流入模腔内以弥补因冷却收缩而产生的空隙。由于塑料仍在流动,而温度又在不断下降,定向分子(分子链的一端在模腔壁固化,另一端沿流动方向排列)容易被凝结,所以这一阶段是大分子定向形成的主要阶段。这一阶段的时间愈长,分子定向的程度愈高。从螺杆后退开始到结束(时间从 t_2 到 t_3),由于模腔内的压力比流道内的高,会发生熔体倒流,从而使模腔内的压力迅速下降。倒流一直进行到浇口处熔体凝结时为止。若螺杆后退一开始浇口处的熔体就已凝结或注射机喷嘴中装有止逆阀,则倒流阶段就不复存在,也就不会出现 $t_2\sim t_3$ 段压力迅速下降的情况。塑料凝结时的压力和温度是决定塑料制品平均收缩率的重要因素,而压实阶段的时间又直接影响着这些因素。从浇口处的塑料完全凝结到顶出制品(时间从 $t_3\sim t_4$),为凝结后的制品冷却阶段,这一阶段的冷却情况对制品的脱模、表面质量和挠曲变形有很大影响。

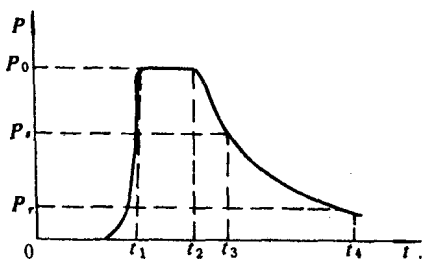


图1.2 成型周期中的塑料压力变化曲线

3. 制品的后处理

塑料制品脱模后常需要进行适当的后处理(退火或调湿),以便改善和提高制品的性能和尺寸稳定性。退火处理是使制品在定温的加热液体介质或热空气循环烘箱中静置一段时间。一般,退火温度比制品使用温度高 $10\sim 20^\circ\text{C}$,或比塑料热变形温度低 $10\sim 20^\circ\text{C}$,以消除制品的内应力、稳定结晶结构。有些塑料制品(如尼龙等)在高温下与空气接触会氧化变色或容易吸收水分而膨胀,此时需进行调湿处理,即将刚脱模的制品放在热水中处理,这样既可隔绝空气,进行无氧化退火,又可使制品快速达到吸湿平衡状态,从而使制品尺寸稳定。

1.3.2 无定形结构和结晶形结构

注射成型的工艺条件与塑料的分子结构有关。一般将热塑性塑料的结构分为无定形和结晶形两种。无定形结构是各向同性体,而结晶形结构则是各向异性体。塑料结晶的重要因素是其分子是否在空间有秩序地排列。属于结晶形结构的塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺(尼龙)等,属于无定形结构的塑料有聚苯乙烯、聚氯乙烯、ABS等。

结晶形塑料成型的特点如下:

1) 结晶形塑料必须加热至熔点温度以上才能达到软化状态。由于结晶溶解需要热量,因此使结晶形塑料达到成型的温度要比使无定形塑料达到成型的温度需要更多的热量。图 1.3 示出聚乙烯(结晶形)与聚苯乙烯(无定形)的热容量对照图。

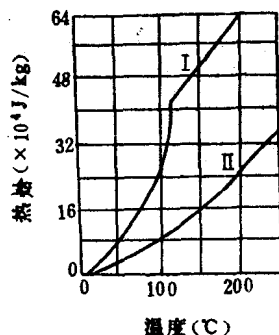


图1.3 聚乙烯(I)与聚苯乙烯(II)的热容量对照图

2) 冷却硬化时,结晶形塑料要比无定形塑料散发较多的热量,因此它需要较长的冷却时间。

3) 由于结晶形塑料硬化状态时的密度与熔融时的密度差别很大,因此结晶形塑料的成型收缩率大,达0.5%~3.0%,且有方向性,而无定形塑料的成型收缩率一般为0.4%~0.6%。

4) 由于分子的定向作用和收缩的方向性,结晶形塑料制品容易翘曲开裂。

5) 冷却速度对结晶形塑料的结晶度影响很大,缓冷可提高结晶度,急冷则降低结晶度,因此控制模具的温度是十分重要的。

1.3.3 塑料的成型收缩

塑料制品从模具中取出后发生尺寸收缩的特性称为塑料的收缩性。因为其收缩不仅仅与塑料本身的热胀冷缩性质有关,而且还与各种成型因素有关,故将塑料的收缩统称为成型收缩。

塑料的成型收缩值可用塑料制品的实际收缩率表征,即

$$S_{\text{实}} = \frac{a-b}{b} \times 100\% \quad (1.1)$$

式中, a 为成型温度时的塑件尺寸; b 为常温时的塑件尺寸。

由于成型温度时的塑件尺寸无法测量,因此一般可用常温时模具的尺寸取代。因此

$$S_{\text{计}} = \frac{c-b}{b} \times 100\% \quad (1.2)$$

式中, c 为常温时的模具尺寸; $S_{\text{计}}$ 称为塑料制品的计算收缩率。所以在模具设计时,可用 $S_{\text{计}}$ 来计算型腔和型芯的尺寸,即

$$c = b(1 + S_{\text{计}}) \quad (1.3)$$

影响成型收缩率的因素很多,除了塑料的品种、特性和尺寸外,还有模具结构、成型工艺(温度、压力、时间)等。常用塑料的计算收缩率如表1.3和表1.4所示。

表1.3 收缩率范围较小的塑料的收缩率(%)

塑料名称	收缩率	塑料名称	收缩率
聚苯乙烯	0.5~0.8	聚碳酸酯	0.5~0.8
硬聚氯乙烯	0.6~1.5	聚砒	0.4~0.8
聚甲基丙烯酸甲酯	0.5~0.7	ABS(塑料代号)	0.3~0.8
有机玻璃(372°)	0.5~0.9	氯化聚醚	0.4~0.6
半硬聚氯乙烯	1.5~2	注射酚醛	1~1.2
聚苯醚	0.5~1	醋酸纤维素	0.5~0.7

表1.3和表1.4中所列的数据是成型收缩率的某些经验数据,由于影响收缩的因素较多,故实际收缩率与设计所选用的收缩率之间会有误差,一般可按收缩率范围取中间值,这个中间值称之为平均收缩率。但在选取收缩率时经常还须按塑件的具体情况酌情选择,其一般原则和方法如下:

- 1) 对于收缩率范围较小的塑料品种,一般取平均收缩率即可;
- 2) 对于收缩率范围较大的塑料品种,应根据塑料制品的形状,尤其是制品的壁厚来确定收缩率,对于壁厚者,取上限,对于壁薄者,取下限;
- 3) 塑件各部分尺寸的收缩率也不尽相同,如对于图1.4所示的塑件,其内壁、外壁、水

表1.4 收缩率范围较大的塑料的收缩率(%)

塑料名称	塑料壁厚 (mm)									塑件高度方向的收缩率为水平方向的收缩率的百分比数
	1	2	3	4	5	6	7	8	> 8	
尼龙1010	0.5~1				1.8~2				2.5~4	70
		1.1~1.3				2~2.5				
			1.4~1.6							
聚丙烯	1~2			2~2.5		2.5~3				120~140
低压聚乙烯	1.5~2							2.5~3.5		110~150
			2~2.5							
聚甲醛	1~1.5			1.5~2			2~2.6			105~120

平与垂直方向的收缩率均采用了不同数值。

4) 对于收缩量很大的塑料, 可利用现有的或者材料供应部门所提供的计算收缩率的图表来确定收缩率。在这样的图表中一般包括了影响收缩率的主要因素, 因此它可以提供足够精确的收缩率数据。若没有这样的计算图表, 则可先收集一些包括该塑料实际收缩率的数据和注塑参数, 然后用比较法进行估算。必要时可事先设计一个简单模具, 实测出其收缩率。

利用注射成型工艺参数可以对塑料制品的收缩量进行调节。例如, 注射压力越高, 成型收缩率越小; 注射温度越高, 成型收缩率越大; 注射时间越短, 成型收缩率越大等。

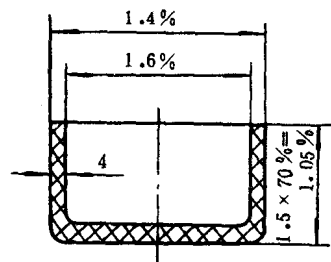


图1.4 塑件各部分尺寸的收缩率

1.3.4 注射成型的工艺条件

注射成型最重要的工艺条件为影响熔体流动和冷却的温度、压力及其相应的作用时间。

1. 温度

在注射成型过程中需要控制的温度有料筒温度、喷嘴温度和模具温度等。料筒温度的选择与塑料的特性有关。热塑性塑料在受热时的变形曲线如图1.5所示, 图中, A、B、C、D四区分别对应于塑料的玻璃态、高弹性态、可塑态和分解态, 料筒温度应参照C区的流动温度 t_b 和分解温度 t_c 来确定。喷嘴温度通常略低于料筒的最高温度, 以防止熔料在直通式喷嘴口发生“流涎现象”。模具温度一般通过冷却系统来控制。

2. 压力

注射成型过程中的压力包括塑化压力和注射压力两种。塑化压力又称背压, 是指注射机螺杆顶部的熔体在螺杆转动后退时所受到的压力。增加背压能提高熔体温度并使温度均匀, 但会减小塑化的速度。注射压力用以克服熔体从料筒流向型腔的流动阻力、提供充模速度以及对熔料进行压实等。注射压力的大小与塑料制品的质量和生产率有直接关系。影响注射压力的因素很多, 诸如塑料品种、注射机类

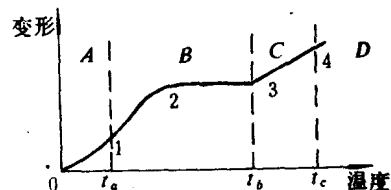
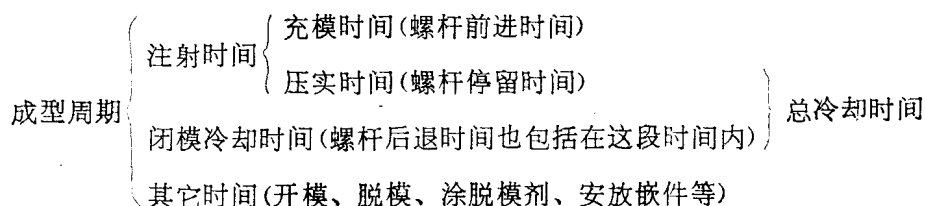


图1.5 恒压下热塑性塑料的温度-变形曲线

型、制品和模具的结构以及其它工艺条件等，而各因素之间的关系十分复杂。近年来，国内外成功地采用注塑流动模拟计算机软件，对注射压力进行了优化设计。

3. 时间

完成一次注射成型过程所需的时间称为成型周期，它包括以下几个部分：



在保证塑料制品质量的前提下，应尽量缩短成型周期中的各段时间，以提高生产率。其中，最重要的是注射时间和冷却时间，它们对产品的质量有着决定性的影响。在生产中，充模时间一般约为3~5s，压实时间一般约为20~120s，冷却时间一般约为30~120s。

1.3.5 几种常用热塑性塑料的成型特性

下面介绍几种常用热塑性塑料的成型特性以及对模具或成型条件的要求。

1. 低压聚乙烯(结晶形塑料)

这种塑料的成型特性有如下几点：1) 成型时其流动性极好，且流动性对压力的变化很敏感；2) 成型时加热时间长极易发生分解；3) 成型时制品需排除的热量较多，冷却速度慢；4) 成型时制品的收缩率范围大、收缩量也大、收缩方向性明显，且制品易变形、翘曲；5) 因其质地柔软，故成型后制品脱模容易。由于这种塑料有上述的成型特性，故对模具或成型条件的要求有如下几点：1) 模具的刚度要大，以防止飞边溢出；2) 成型时尽量缩短物料在料筒内的加热时间；3) 模具应有良好的冷却系统；4) 成型时应控制模具的温度，注射速度应快，且保压充分；5) 设计模具时应准确选择进料口的位置，以防止产生缩孔和变形；6) 当制品上有较浅的侧孔和侧凹时，可采用强制脱模的方法。

2. 硬聚氯乙烯(无定形塑料)

这种塑料的成型特性有如下几点：1) 成型时其流动性差，极易分解，特别是在高温下与钢、铜接触时更易分解(分解温度为200℃)，分解时有腐蚀性气体产生；2) 成型温度的范围小，成型温度与分解温度接近。由于这种塑料有上述的成型特性，故对模具或成型条件的要求有如下几点：1) 为了提高熔体的流动性，防止在制品中产生气泡，塑料应进行干燥处理；2) 严格控制塑料的加热温度；3) 在设计模具时应尽量增加流道直径、缩短流道长度，加工时应充分抛光流道和浇口；4) 应选用耐腐蚀的钢材制造模具的有关零件或者对这些零件的工作表面进行镀铬处理。

3. ABS(无定形塑料)

这种塑料的成型特性有如下几点：1) 其吸湿性强；2) 在成型时其流动性较差；3) 塑料的加热温度对制品的质量影响较大，温度过高易产生分解，其分解温度为250℃。由于这种塑料有上述的成型特性，故对模具或成型条件的要求有如下几点：1) 塑料在成型前必须充分预热干燥，其含水量应小于0.3%，对于要求表面光泽的制品，塑料在成型前更应长时间预热干燥；2) 成型时宜采用较高的加热温度和较高的注射压力；3) 模具的拔模斜度应取2°以上。

4. 聚苯乙烯(无定形塑料)

这种塑料的成型特性有如下几点：1) 成型时其流动性较好；2) 制品性脆易裂，其热膨