



高等职业教育机电类模具专业“十一五”规划教材

GAODENG ZHIYE JIAOYU JIDIAN LEI MUJU ZHUANYE SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

- 主 编 冷真龙 莫盛秋
- 副主编 张作胜 吕超珍
- 主 审 陈洪涛

塑料成型工艺及 模具设计

SULIAO CHENGXING GONGYI JI MUJU SHEJI



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺及模具设计 / 冷真龙, 莫盛秋. — 成都: 电子科技大学出版社, 2009.1
ISBN 978-7-2647-0003-7

高等职业教育机电类模具专业“十一五”规划教材

I. 塑… II. 冷… 莫… III. ①塑料成型—模具—设计 IV. ①TS647.3
高等学校—教材—塑料成型—模具—设计—高等学校

塑料成型工艺及模具设计

要 目 录

全书共分九章, 第一章至第四章主要介绍塑料成型工艺及模具设计的基本知识, 第五章至第九章主要介绍塑料成型工艺及模具设计的具体应用。本书可作为高等院校模具专业及相关专业教材, 也可供从事模具设计、制造、工艺、材料、检测、管理等工作的工程技术人员参考。

主 编 冷真龙 莫盛秋

副主编 张作胜 吕超珍

主 审 陈洪涛

出 版 社: 电子科技大学出版社
策 划 编 辑: 魏 未
副 策 划 编 辑: 魏 未
主 任 编 辑: 魏 未
主 页: www.nestcp.com.cn
电 子 邮 箱: nestcp@nestcp.com.cn
发 行 所: 新华书店
印 刷 厂: 成都印刷厂
成 品 尺 寸: 185mm×260mm
版 次: 2009年1月第1版
印 次: 2009年1月第1次
书 号: ISBN 978-7-2647-0003-0

出 版 社: 电子科技大学出版社
策 划 编 辑: 魏 未
副 策 划 编 辑: 魏 未
主 任 编 辑: 魏 未
主 页: www.nestcp.com.cn
电 子 邮 箱: nestcp@nestcp.com.cn
发 行 所: 新华书店
印 刷 厂: 成都印刷厂
成 品 尺 寸: 185mm×260mm
版 次: 2009年1月第1版
印 次: 2009年1月第1次
书 号: ISBN 978-7-2647-0003-0
定 价: 39.80元

图 书 在 版 编 目 (CIP) 数 据

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 编辑部电话: 028-83202003

◆ 本社加工页码、装订、校对、排版、印刷、发行、销售、售后服务

◆ 稿件不返回, 不退稿, 不退书, 不退版, 不退工, 不退料, 不退费

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺及模具设计 / 冷真龙, 莫盛秋主编.

—成都: 电子科技大学出版社, 2009.1

ISBN 978-7-5647-0002-7

I. 塑… II. ①冷…②莫… III. ①塑料模具—塑料成型—高等学校: 技术学校—教材②塑料模具—设计—高等学校: 技术学校—教材 IV. TQ320.66

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第005886号

内 容 提 要

全书共分为九章, 主要内容是塑料、塑料成型工艺、单分型面注射模具设计、双分型面注射模具设计、侧向分型抽芯注射模具设计、其它注射成型技术、压缩模具与压注模具、挤出模具、气动成型模具。

本书是高职高专院校模具设计与制造专业、机械设计与制造专业、数控技术应用专业、计算机辅助设计与制造专业教学用书, 也可作为模具设计与制造职业培训用书和供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

塑料成型工艺及模具设计

主 编 冷真龙 莫盛秋

副主编 张作胜 吕超珍

主 审 陈洪涛

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 朱丹 暴静

责任编辑: 汤云辉

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 郫县犀浦印刷厂

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 21.25 字数 530 千字

版 次: 2009年1月第一版

印 次: 2009年1月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-0002-7

定 价: 39.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 邮购部电话: 028-83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

前 言

自 2006 年启动国家示范性高职高专项目建设以来,全国的高职高专院校,特别是已入选国家示范性高职高专的院校,在高职高专教育培养体系、培养计划、课程改革等方面都在进行深入研究和改革。基于工作过程的专业人才培养体系是现今教育体系中的热点;利用多媒体、仿真软件、现场教学等丰富的教学手段、教学方法,也取得满意的效果。

为配合基于工作过程的模具专业人才培养体系,我们特邀长虹模塑科技有限公司杨志方设计师参加编写。在第三章、第四章、第五章、第七章中各自用了一副完整的模具设计作为实例,分析模具的实际设计过程。

全书共分为九章,第一章塑料,第二章塑料成型原理及工艺,第三章单分型面注射模具设计,第四章双分型面注射模具设计,第五章侧向分型抽芯注射模具设计,第六章其他注射成型技术,第七章压缩模具与压注模具,第八章挤出模设计,第九章气动成型模。

本书由安徽职业技术学院张作胜老师编写第一章、第八章、第九章,常州信息职业技术学院莫盛秋老师编写第二章,广西工业职业技术学院吕超珍老师编写第三章,四川工程职业技术学院冷真龙老师、长虹模塑科技有限公司杨志方设计师编写第四章、第五章,四川工程职业技术学院李海荣老师编写第六章,四川工程职业技术学院刘权萍老师编写第七章,全书由四川工程职业技术学院冷真龙副教授、常州信息职业技术学院莫盛秋副教授任主编,安徽职业技术学院张作胜讲师、广西工业职业技术学院吕超珍讲师任副主编,四川工程职业技术学院陈洪涛副教授任主审。

本书是在总结了近几年各高职高专院校,特别是国家示范性高职高专的院校模具专业教学改革经验的基础上编写的,可供模具设计与制造专业、机械设计与制造专业、数控技术应用专业、计算机辅助设计与制造专业学生学习使用,同时可作为塑料模具设计职业培训教材和从事塑料成型加工工艺与模具设计人员的参考。

本书在编写、出版过程中还得到电子科技大学出版社和四川工程职业技术学院等单位的关心及大力支持,在此表示最诚挚的感谢。

尽管我们在教材建设的特色方面做了许多努力,但由于编者水平有限,可能存在不足和不妥,敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 10 月

目 录

第一章 塑 料	1
1.1 概 述	1
1.1.1 塑料的成分	1
1.1.2 塑料的特点	2
1.1.3 塑料的分类	3
1.2 塑料的成型工艺性能	4
1.2.1 热塑性塑料的工艺性	4
1.2.2 热固性塑料的工艺性	9
1.3 常用塑料的性能和用途	12
1.3.1 热塑性塑料	12
1.3.2 热固性塑料	15
思考题与习题	16
第二章 塑料成型原理及工艺	17
2.1 注射成型原理及工艺	17
2.1.1 注射机简介	17
2.1.2 注射成型原理	19
2.1.3 注射成型工艺过程	19
2.1.4 注射成型工艺参数	21
2.1.5 注射成型工艺卡	22
2.2 压缩成型原理及工艺	23
2.2.1 压缩成型原理	23
2.2.2 压缩成型工艺	23
2.2.3 压缩成型工艺参数	25
2.3 压注成型原理及工艺	27
2.3.1 压注成型的原理和特点	27
2.3.2 压注成型的工艺过程及工艺参数	28
2.4 挤出成型原理及工艺	29
2.4.1 挤出成型原理与特点	29
2.4.2 挤出成型工艺过程	30
2.4.3 挤出成型工艺参数	32
2.5 塑料制件的设计原则	34
2.5.1 塑料制件的选材原则	35
2.5.2 塑料制件的尺寸和精度	36
2.5.3 塑料制件的表面质量	38
2.5.4 塑料制件的结构设计	38
思考题与习题	43
第三章 单分型面注射模具设计	44
3.1 单分型面注射模结构组成	44

3.1.1	单分型面注射模结构	45
3.1.2	单分型面注射模工作原理	45
3.2	注射模与注射机的关系	46
3.3	注射模结构设计	52
3.3.1	模具型腔数的确定及排布	52
3.3.2	分型面的设计	54
3.4	浇注系统设计	57
3.4.1	普通流道浇注系统的组成	57
3.4.2	拉料杆的设计	68
3.4.3	排气槽的设计	69
3.5	成型零件的设计	72
3.5.1	成型零件结构设计	72
3.5.2	成型零部件工作尺寸的计算	77
3.6	合模导向机构的设计	80
3.6.1	导向装置的作用	81
3.6.2	导柱导向的结构设计	81
3.6.3	锥面和合模锁定位机构	84
3.7	标准注射模架简介	85
3.7.1	概 述	85
3.7.2	标准模架的组成与类型	85
3.8	推出机构设计	88
3.8.1	推出机构的分类及设计原则	88
3.8.2	一次推出机构	88
3.8.3	二次推出机构	97
3.8.4	螺纹塑件的脱模	102
3.9	注射模温度控制系统	106
3.9.1	模具温度控制系统的重要性	106
3.9.2	对模具温度控制系统的基本要求	106
3.9.3	模具温度控制系统的设计	107
3.10	注射模具设计步骤及单分型面注射模具设计实例	115
3.10.1	注塑模具设计步骤	115
3.10.2	设计单分型面注射模	116
	思考题与习题	122
第四章	双分型面注射模具设计	124
4.1	双分型面注射模具结构	124
4.1.1	双分型面注射模具结构及工作原理	124
4.1.2	双分型面注射模两次分型类型	125
4.2	双分型面注射模具设计	127
4.2.1	设计注意事项	127
4.2.2	点浇口设计	128
4.2.3	浇注系统凝料的推出机构	131
4.3	双分型面注射模具设计实例	133

思考题与习题.....	143
第五章 侧向分型抽芯注射模具设计	145
5.1 侧向分型抽芯的注射模具结构.....	145
5.2 侧向抽芯机构设计.....	150
5.2.1 侧向分型与抽芯机构概述.....	150
5.2.2 机动分型与抽芯机构的设计.....	152
5.3 侧向分型抽芯的注射模具设计实例.....	173
思考题与习题.....	181
第六章 其他注射成型技术	182
6.1 无流道凝料注射模.....	182
6.1.1 无流道塑料注射模的类型及结构.....	183
6.1.2 无流道凝料模标准零部件结构介绍.....	190
6.2 热固性塑料注射成型.....	196
6.2.1 热固性塑料成型工艺要点.....	197
6.2.2 热固性塑料注射成型对塑料的要求.....	198
6.2.3 热固性塑料注射成型对注射机的要求.....	198
6.2.4 热固性塑料注射模具设计.....	199
6.2.5 热固性塑料注射压制模具简介.....	205
6.3 气体辅助注射成型.....	205
6.3.1 气体辅助注射成型的原理.....	205
6.3.2 气体辅助注射成型的分类.....	206
6.4 反应注射成型.....	213
6.5 共注射成型.....	213
6.5.1 双色注射成型.....	214
6.5.2 双层注射成型.....	215
6.6 精密注射成型.....	216
思考题与习题.....	222
第七章 压缩模具与压注模具	223
7.1 压缩模具.....	223
7.1.1 组成及分类.....	223
7.1.2 压缩模成型零部件设计.....	228
7.1.3 压缩模设计实例.....	233
7.2 压注模具.....	240
7.2.1 压注模的类型及结构.....	240
7.2.2 压注模零部件设计.....	244
7.3 压制成型模具与压机关系.....	252
7.3.1 压机种类.....	252
7.3.2 压机有关参数的校核.....	254
思考题与习题.....	257
第八章 挤出模设计	258
8.1 挤出模的结构组成及分类.....	258

8.1.1	挤出模的结构组成	258
8.1.2	挤出成型机头分类和设计原则	259
8.1.3	设计步骤	260
8.2	挤出模与挤出机	260
8.2.1	主 机	261
8.2.2	辅 机	262
8.2.3	挤出机性能	262
8.2.4	挤出机主要参数	263
8.2.5	连接器设计	264
8.3	典型挤出模	266
8.3.1	管材挤出成型机头	266
8.3.2	棒材挤出成型机头	271
8.3.3	板、片材挤出成型机头	274
8.3.4	吹膜机头	278
8.3.5	异型材机头	285
8.3.6	电线电缆挤出成型机头	291
	思考题与习题	295
第九章	气动成型模	296
9.1	中空吹塑成型模具	296
9.1.1	概 述	296
9.1.2	中空吹塑的基本原理	296
9.1.3	中空吹塑成型模具的分类	297
9.1.4	中空吹塑制品常用塑料	302
9.1.5	吹塑成型的工艺参数	304
9.1.6	中空吹塑制品设计	304
9.1.7	中空吹塑模设计要点	307
9.2	真空成型模具	312
9.2.1	真空成型的原理及分类	312
9.2.2	塑件设计	315
9.2.3	真空成型模具设计	316
9.3	压缩空气成型模具	317
9.3.1	压缩空气成型的原理	317
9.3.2	压缩空气成型模具的结构	318
9.3.3	塑件设计	320
9.3.4	模具设计要点	320
	思考题与习题	321
附录	塑料模具常用资料	322
参考文献		331

第一章 塑料

1.1 概 述

1.1.1 塑料的成分

1. 塑料的定义

塑料是以树脂为主要成分,加入各种可以改善其加工或使用性能的添加剂,在一定温度、压力或溶剂等作用下,能够塑制成设计要求的形状,并可在常温、常压下保持此形状的一类材料。

树脂是塑料的主要成分,它决定着塑料的基本性能。树脂是指受热时通常有转化或熔融范围,转化时受外力作用具有流动性,常温下呈固态或半固态或液态的高分子聚合物,它是塑料最基本的,也是最重要的成分。

树脂按其来源可分为天然树脂和合成树脂。天然树脂来自大自然,如虫胶、琥珀等。与合成树脂相比,天然树脂的种类及数量都较少,性能也受到很大限制。因此,目前塑料中使用的树脂,绝大部分是合成树脂。合成树脂的种类繁多,达上千种,并且随着合成化学工业的发展还在不断增加,但塑料工业经常使用的树脂,主要有几十种。

除树脂外,绝大部分的塑料中还需加入各种添加剂以改善其加工及使用性能。常用的添加剂种类有增塑剂、稳定剂、润滑剂、着色剂、阻燃剂、抗静电剂、填料及发泡剂等。

高分子树脂是指单体化合物经过聚合反应,聚合合成高分子聚合物,其分子量可达到数千甚至数百万。在分子领域的分类上,分子量未达 1000 者称为低分子,介于 1000~10 000 者称为准高分子或寡聚合体 (Oligomer),大于 1 万以上者称为高分子 (Polymer)。一般常用来做成型加工的塑料,其分子量大约在 10 000~1 000 000 之间,而分子量低于一万的寡聚合体则常用来做纺织用树脂、涂料、接着剂、合成树脂等。所以,并非所有高分子聚合物均可作为塑料的用途,事实上要看其分子量、分子结构、官能基、玻璃转移温度 (Glass transition temperature, 简称 TG) 等种种因素,塑料随温度与分子间键结而呈现玻璃态、橡胶态、熔胶态等变化。

2. 塑料组成

我们通常使用的塑料并不是一种纯物质,它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,此外,为了改进塑料的性能,还要在聚合物中添加各种辅助材料,如填料、增塑剂、润滑剂、稳定剂、着色剂等,才能成为性能良好的塑料。

主要组成: 聚合物合成树脂 (40%~100%)

辅助材料: 增塑剂、填充剂、稳定剂、润滑剂、着色剂、发泡剂、增强材料。

辅助材料作用: 改善材料的使用性能与加工性能,节约树脂材料(贵)。

(1) 合成树脂

合成树脂是塑料的最主要成分,其在塑料中的含量一般在 40%~100%。由于含量大,而且树脂的性质常常决定了塑料的性质,所以人们常把树脂看成是塑料的同义词。例如把聚

氯乙烯树脂与聚氯乙烯塑料、酚醛树脂与酚醛塑料混为一谈。其实树脂与塑料是两个不同的概念。树脂是一种未加工的原始聚合物，它不仅用于制造塑料，而且还是涂料、胶粘剂以及合成纤维的原料。而塑料除了极少一部分含100%的树脂外，绝大多数的塑料，除了主要组分树脂外，还需要加入其他物质。

(2) 填料

填料又叫填充剂，它可以提高塑料的强度和耐热性能，并降低成本。例如酚醛树脂中加入木粉后可大大降低成本，使酚醛塑料成为最廉价的塑料之一，同时还能显著提高机械强度。填料可分为有机填料和无机填料两类，前者如木粉、碎布、纸张和各种织物纤维等，后者如玻璃纤维、硅藻土、石棉、炭黑等。

(3) 增塑剂

增塑剂可增加塑料的可塑性和柔软性，降低脆性，使塑料更易加工成型。增塑剂一般是能与树脂混溶，无毒、无臭，对光、热稳定的高沸点有机化合物，最常用的是邻苯二甲酸酯类。例如生产聚氯乙烯塑料时，若加入较多的增塑剂便可得到软质聚氯乙烯塑料，若不加或少加增塑剂（用量小于10%），则得到硬质聚氯乙烯塑料。

(4) 硬化剂

硬化剂也称固化剂或熟化剂。它的主要作用是使聚合物的线型分子结构交联成体型分子结构，从而使树脂具有热固性。酚醛树脂中常用硬化剂为乌洛托品（六亚甲基四胺）。环氧树脂常用的硬化剂有胺类、酸酐类。

(5) 着色剂

在塑料中加入着色剂，可使塑料具有鲜艳的色彩和光泽。着色剂常采用各种颜料和染料，有时也采用能产生荧光或磷光的颜料。

(6) 稳定剂

许多塑料在成型加工和制品使用中，由于受热、光或氧的作用，过早地发生降解、氧化断链、交联等现象，而使材料性能变坏。为稳定塑料制品质量，延长使用寿命，通常在其组分中加入稳定剂。常用的稳定剂有硬脂酸盐、铅白、环氧化物等。

(7) 其他添加剂

塑料加工时，为了脱模和使制品光洁，常需润滑剂，常用的润滑剂有脂肪酸及其盐类。为了使塑料制品如塑料地板、塑料地毯抗静电，则加入抗静电剂，以提高表面导电度，使带电塑料迅速放电。

为了使塑料制品具有更好的性能，以适应各种使用要求，还可添加抗氧化剂、紫外线吸收剂、阻燃剂、发泡剂、发光剂、香精等。

1.1.2 塑料的特点

(1) 质轻、比强度高

塑料质轻，一般塑料的密度都在 $0.9\sim 2.3\text{g/cm}^3$ 之间，只有钢铁的 $1/8\sim 1/4$ ，铝的 $1/2$ 左右，而各种泡沫塑料的密度更低，约在 $0.01\sim 0.5\text{g/cm}^3$ 之间。按单位质量计算的强度称为比强度，有些增强塑料的比强度接近甚至超过钢材。例如合金钢材，其单位质量的拉伸强度为 160MPa ，而用玻璃纤维增强的塑料可达到 $170\sim 400\text{MPa}$ 。

(2) 优异的电绝缘性能

几乎所有的塑料都具有优异的电绝缘性能,如极小的介电损耗和优良的耐电弧特性,这些性能可与陶瓷媲美。

(3) 优良的化学稳定性能

一般塑料对酸碱等化学药品均有良好的耐腐蚀能力,特别是聚四氟乙烯的耐化学腐蚀性比黄金还要好,甚至能耐“王水”等强腐蚀性电解质的腐蚀,被称为“塑料王”。

(4) 减摩、耐磨性能好

大多数塑料具有优良的减摩、耐磨和自润滑特性。许多工程塑料制造的耐摩擦零件就是利用塑料的这些特性,在耐磨塑料中加入某些固体润滑剂和填料时,可降低其摩擦系数或进一步提高其耐磨性能。

(5) 透光及防护性能

多数塑料都可以作为透明或半透明制品,其中聚苯乙烯和丙烯酸酯类塑料像玻璃一样透明。有机玻璃化学名称为聚甲基丙烯酸甲酯,可用于航空玻璃材料。聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯等塑料薄膜具有良好的透光和保暖性能,大量用于农用薄膜。塑料具有多种防护性能,因此常用于防护包装用品,如塑料薄膜、箱、桶、瓶等。

(6) 减震、消音性能优良

某些塑料柔韧而富于弹性,当它受到外界频繁的机械冲击和振动时,内部产生黏性内耗,将机械能转变成热能,因此,工程上用于减震消音材料。例如,用工程塑料制作的轴承和齿可减小噪音,各种泡沫塑料更是广泛使用的优良减震消音材料。

上述塑料的优良性能,使它在工农业生产和人们的日常生活中具有广泛用途;它已从过去作为金属、玻璃、陶瓷、木材和纤维等材料的代用品,而一跃成为现代生活和尖端工业不可缺少的材料。

然而,塑料也有不足之处。例如,耐热性比金属等材料差,一般塑料仅能在 100°C 以下温度使用,少数可在 200°C 左右使用;塑料的热膨胀系数要比金属大 $3\sim 10$ 倍,容易受温度变化而影响尺寸的稳定性;在载荷作用下,塑料会缓慢地产生黏性流动或变形,即蠕变现象;此外,塑料在大气、阳光或长期的压力作用下会发生老化,使性能变坏等。塑料的这些缺点或多或少地影响或限制了它的应用。但是,随着塑料工业的发展和塑料材料研究工作的深入,这些缺点正被逐渐克服,性能优异的新颖塑料和各种塑料复合材料正不断涌现。

塑料已被广泛用于农业、工业、建筑、包装、国防尖端工业以及人们日常生活等各个领域。

1.1.3 塑料的分类

塑料有300多个品种,常用的有40多种,是以所使用的合成树脂作为名称来称呼。塑料的分类体系比较复杂,各种分类方法也有所交叉,按常规分类主要有以下三种:一是按使用特性分类;二是按理化特性分类;三是按加工方法分类。

1. 按使用特性分类

根据各种塑料不同的使用特性,通常将塑料分为通用塑料、工程塑料和特种塑料三种类型。

(1) 通用塑料

一般是指产量大、用途广、成型性好、价格便宜的塑料，如聚乙烯、聚丙烯、酚醛等。

(2) 工程塑料

一般指能承受一定外力作用，具有良好的机械性能和耐高温、低温性能，尺寸稳定性较好，可以用于工程结构的塑料，如聚酰胺、聚砒等。

在工程塑料中又将其分为通用工程塑料和特种工程塑料两大类。

通用工程塑料包括：聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、改性聚苯醚、热塑性聚酯、超高分子量聚乙烯、甲基戊烯聚合物、乙烯醇共聚物等。

特种工程塑料又有交联型的非交联型之分。交联型的有：聚氨基双马来酰胺、聚三嗪、交联聚酰亚胺、耐热环氧树脂等。非交联型的有：聚砒、聚醚砒、聚苯硫醚、聚酰亚胺、聚醚酮（PEEK）等。

(3) 特种塑料

一般是指具有特种功能，可用于航空、航天等特殊应用领域的塑料。如氟塑料和有机硅具有突出的耐高温、自润滑等特殊功用，增强塑料和泡沫塑料具有高强度、高缓冲性等特殊性能，这些塑料都属于特种塑料的范畴。

2. 按理化特性分类

根据各种塑料不同的理化特性，可以把塑料分为热塑性塑料和热固性塑料两种类型。

(1) 热塑性塑料

这种塑料中树脂的分子结构是线型或支链型结构。它在加热时可塑制成一定形状的塑件，冷却后保持已定型的形状。如再次加热，又可软化熔融，可再次塑制成一定形状的塑件，如此可反复多次。在上述过程中一般只有物理变化而无化学变化。由于这一过程是可逆的，在塑料加工中产生的边角料及废品可以回收粉碎成颗粒后重新利用。聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、有机玻璃、聚砒、氟塑料等都属热塑性塑料。

(2) 热固性塑料

这种塑料在受热之初分子为线型结构，具有可塑性和可溶性，可塑制成一定形状的塑件。当继续加热时，线型高聚物分子主链间形成化学键结合（即交联），分子呈网状结构，分子最终变为体型结构，变得既不熔融，也不溶解，塑件形状固定下来不再变化。上述成型过程中，既有物理变化又有化学变化。由于热固性塑料具有上述特性，故加工中的边角料和废品不可回收再生利用。属于热固性塑料的有酚醛塑料、氨基塑料、环氧塑料、有机硅塑料、硅酮塑料等。

1.2 塑料的成型工艺性能

塑料的工艺性能表现在许多方面，有些性能直接影响成型方法和工艺参数的选择，有的则只与操作有关，下面就热塑性塑料与热固性塑料的工艺性能要求分别进行讨论。

1.2.1 热塑性塑料的工艺性

热塑性塑料成型工艺性能除了前面讨论过的热力学性能外，还应包括收缩性、流动性、相容性、吸湿性和黏水性、热稳定性以及结晶性、取向性等。

1. 收缩性

一定量的塑料在熔融状态下的体积总比其固态下的体积大,说明塑料经成型冷却后发生了体积收缩,这种性质称为收缩性。

(1) 成型收缩的形式

成型收缩主要表现在以下几个方面:

① 塑件的线尺寸收缩。由于热胀冷缩、塑件脱模时弹性恢复、塑性变形等原因导致塑件脱模冷却到室温后,其尺寸缩小。为此,型腔设计时必须考虑予以补偿。

② 收缩的方向性。成型时由于分子的取向作用,使塑件呈现各向异性,沿料流方向收缩大、强度高,与料流垂直方向则收缩小、强度低。另外,成型时由于塑件各部位密度及填料分布不均匀,故使收缩也不均匀。由于收缩的不一致,会使塑件易于翘曲、变形和产生裂纹,尤其在挤出成型和注射成型时,方向性表现得更为明显。因此,设计模具时应考虑收缩的方向性,按塑件形状和料流方向选取收缩率。

③ 后收缩。塑件成型时,由于受成型压力、切应力、各向异性、填料分布不均、模温不一致、硬化不一致和塑性变形等因素的影响,塑件内存在残余应力。当脱模后,由于应力趋向平衡及储存条件的影响,使残余应力发生变化而导致塑件再次收缩,这种收缩称为后收缩。一般塑件在脱模后 10 小时内变化最大,24 小时后基本稳定,但最后稳定要经 30~60 天。热塑性塑料的后收缩较热固性塑料大,挤出成型比压缩成型后收缩大。

④ 后处理收缩。在某些情况下,塑件按其性能和工艺要求成型后要进行热处理,处理后也会导致塑件尺寸变化,这种变化叫做后处理收缩。因此,在模具设计时,对于高精度塑件应考虑后收缩和后处理收缩引起的误差并予以补偿。

(2) 收缩率的计算

收缩性的大小以单位长度塑件收缩量的百分数来表示,叫做收缩率。由于成型模具材料与塑料的线膨胀系数不同,收缩率分为实际收缩率和计算收缩率。实际收缩率表示模具或塑件在成型温度时的尺寸与塑件在室温时的尺寸之间的差别,而计算收缩率则表示室温时模具尺寸与塑件尺寸的差别。这两种收缩率的计算可按下列公式求得:

$$S_s = a/b \times 100\%$$

$$S_j = (c-b)/b \times 100\%$$

式中: S_s ——实际收缩率;

S_j ——计算收缩率;

a ——塑件或硬件在成型温度时的尺寸;

b ——塑件在室温时的尺寸;

c ——模具在室温时的尺寸。

实际收缩率表示塑料实际所发生的收缩,在大型、精密模具成型零件尺寸计算时常采用。在普通中、小型模具成型零件尺寸计算时,计算收缩率与实际收缩率相差很小,所以常采用计算收缩率。

(3) 影响收缩率变化的因素

塑件收缩的形式除由于热胀冲缩、塑件脱模时的弹性恢复、塑性变形等原因产生的尺寸线性收缩外,还会按塑件形状、料流方向及成型工艺参数的不同产生收缩方向性;此外,塑件脱模后残余应力的缓慢释放和必要的后处理工艺也会使塑件产生后收缩。显然,影响塑件

成型收缩的因素主要有：

① 塑料品种。各种塑料都具有各自的收缩率。同种塑料由于树脂的相对分子质量、填料及配方比等不同，收缩率及各向异性也不同。例如，树脂的相对分子质量高，填料为有机的，树脂含量较多，则塑料的收缩率就大。

② 塑件结构。塑件的形状、尺寸、壁厚、有无嵌件、嵌件数量及其分布对收缩率的大小也有很大影响。如塑件的形状复杂、壁薄、有嵌件、嵌件数量多且对称分布，收缩率就小。

③ 模具结构。模具的分型面、浇口形式、尺寸及其分布等因素直接影响料流方向、密度分布、保压补缩作用及成型时间。采用直接浇口和大截面的浇口，可减小收缩，但方向性强；浇口宽且短，则方向性小，距浇口近的或与料流方向平行的部位收缩大。

④ 成型工艺条件。模具温度高，熔料冷却慢，则密度高，收缩大。尤其对于结晶料，因结晶度高，体积变化大，故收缩更大。模温分布与塑件内外冷却及密度均匀性也有关，直接影响到各部位收缩量的大小及方向性。此外，成型压力及保压时间对收缩也有较大影响，压力高、时间长的收缩小，但方向性大。注射压力高，熔料黏度小，层间切应力小，脱模后弹性回跳大，故收缩也可相应减小。料温高，则收缩大，但方向性小。因此在成型时调整模温、压力、注引速度及冷却时间等因素也可适当改变塑件收缩情况。

影响塑料收缩率变化的因素很多，而且相当复杂。不同品种的塑料，其收缩率各不相同，即使是同一品种而批号不同的塑料，或同一塑件的不同部位，其收缩率也经常不同。因此收缩率不是一个固定值，而是在一定范围内变化的，这个波动范围越小，塑件的尺寸精度就越容易保证，否则就难于控制。在模具设计时应根据以上因素综合考虑选取塑料的收缩率。

2. 流动性

在成型过程中，塑料熔体在一定的温度与压力作用下充填模腔的能力，称为塑料的流动性。塑料流动性的好坏，在很大程度上影响成型工艺的许多参数，如成型温度、压力、周期、模具浇注系统的尺寸及其他结构参数。在决定零件大小与壁厚时，也要考虑流动性的影响。

从分子结构来讲，流动的产生实质上是分子间相对滑移的结果。聚合物熔体的滑移是通过分子链段运动来实现的。显然，流动性主要取决于分子组成、相对分子质量大小及其结构。只有线型分子结构而没有或很少有交联结构的聚合物流动性好，而体型结构的高分子一般不产生流动。聚合物中加入填料会降低树脂的流动性；加入增塑剂、润滑剂可以提高流动性。

流动性差的塑料，在注射成型时不易充填模腔，易产生缺料。有时当采用多个浇口时，塑料熔体的会合处不能很好地熔接而产生熔接痕。这些缺陷甚至会导致零件报废。相反，若材料流动性太好，注射时容易产生流涎，造成塑件在分型面、活动成型零件、推杆等处的溢料飞边。因此，成型过程中应适当选择与控制材料的流动性，以获得满意的塑料制品。

塑料流动性的好坏采用统一的方法来测定。对热塑性塑料常用的方法有熔融指数测定法和螺旋线长度试验法。熔融指数测定法是将被测塑料装入如图 1-1 所示的标准装置内，在一定的温度和压力下，通过测定熔体在 10min 内通过标准毛细管（直径为 $\phi 2.09\text{mm}$ 的出料孔）的塑料重量值来确定其流动性的状况，该值叫做熔融指数。熔融指数越大，流动性越好。熔融指数的单位为 $\text{g}/10\text{min}$ ，通常以 MI 代表。螺旋线长度试验法是将被测塑料在一定的温度与压力下注入如图 1-2 所示的标准的阿基米得螺旋线模具内，用其所能达到的流动长度（图 1-1，图 1-2 中所示数字，单位为 cm ）来表示该塑料的流动性。流动长度越长，流动性就越好。

热塑性塑料的流动性分为三类：流动性好的，如聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、醋酸纤维素等；流动性中等的，如改性聚苯乙烯、ABS、AS、有机玻璃、聚甲醛、氯化聚醚等；流动性差的，如聚碳酸酯、硬聚氯乙烯、聚苯醚、聚砒、氟塑料等。

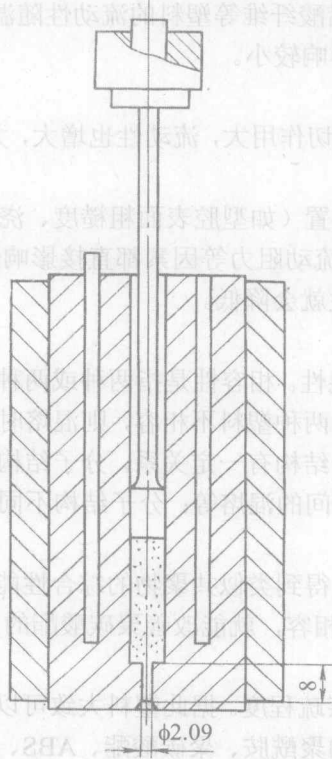
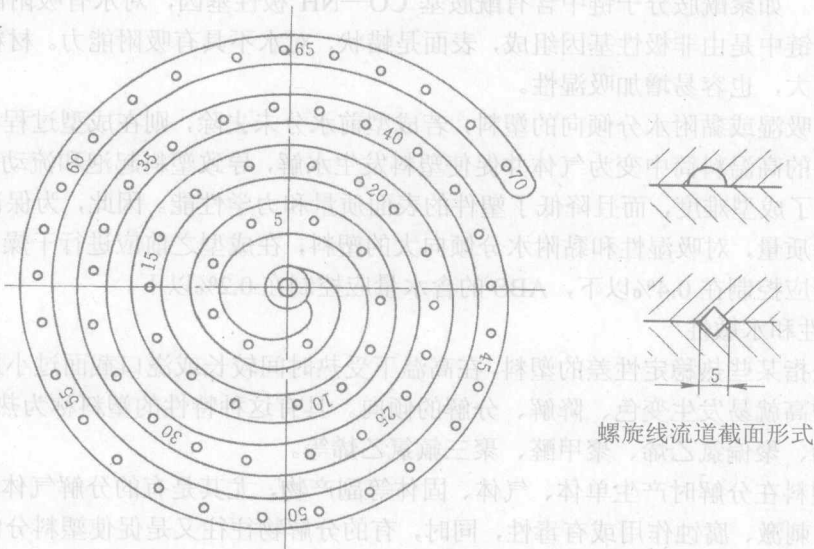


图 1-1 熔融指数测定仪结构示意图



螺旋线流动截面形式

图 1-2 螺旋流动试验模具流动示意图

影响流动性的因素主要有:

(1) 温度

塑料温度高,则流动性大,但不同塑料也各有差异。聚苯乙烯、聚丙烯、聚酰胺、有机玻璃、ABS、AS、聚碳酸酯、醋酸纤维等塑料的流动性随温度变化的影响较大;而聚乙烯、聚甲醛的流动性受温度变化的影响较小。

(2) 压力

注射压力增大,则熔料受剪切作用大,流动性也增大,尤其是聚乙烯、聚甲醛较为敏感。

(3) 模具结构

浇注系统的形式、尺寸、布置(如型腔表面粗糙度、浇道截面厚度、型腔形式、排气系统)、冷却系统的设计、熔料的流动阻力等因素都直接影响熔料的流动件。凡促使熔料温度降低,流动阻力增加的,流动性就会降低。

3. 相容性

塑料的相容性又俗称为共混性。相容性是指两种或两种以上不同品种的塑料,在熔融状态不产生分离现象的能力。如果两种塑料不相容,则混熔时制件会出现分层、脱皮等表面缺陷。不同塑料的相容性与其分子结构有一定关系,分子结构相似者较易相容,例如高压聚乙烯、低压聚乙烯、聚丙烯彼此之间的混熔等;分子结构不同时较难相容,例如聚乙烯和聚苯乙烯之间的混熔。

通过塑料的这一性质,可以得到类似共聚物的综合性能,是改进塑料性能的重要途径之一,例如聚碳酸酯和ABS塑料相容,就能改善聚碳酸酯的工艺性。

4. 吸湿性和黏水性

吸湿性是指塑料对水分的亲疏程度。据此塑料大致可以分为两种类型:第一类是具有吸湿或黏附水分倾向的塑料,例如聚酰胺、聚碳酸酯、ABS、聚苯醚、聚砜等;第二类是吸湿或黏附水分极小的材料,如聚乙烯、聚丙烯等。造成这种差别的原因主要是由于其组成及分子结构的不同。如聚酰胺分子链中含有酰胺基 CO-NH 极性基因,对水有吸附能力,而聚乙烯类的分子链中是由非极性基因组成,表面是蜡状,对水不具有吸附能力。材料疏松使塑料的表面积增大,也容易增加吸湿性。

凡是具有吸湿或黏附水分倾向的塑料,若成型前水分未去除,则在成型过程中,由于水分在成型设备的高温料筒中变为气体并促使塑料发生水解,导致塑料起泡和流动性下降,这样,不仅增加了成型难度,而且降低了塑件的表面质量和力学性能。因此,为保证成型的顺利进行和塑件质量,对吸湿性和黏附水分倾向大的塑料,在成型之前应进行干燥,以去除水分。通常水分应控制在0.4%以下,ABS的含水量应控制在0.2%以下。

5. 热敏性和水敏性

热敏性是指某些热稳定性差的塑料,在高温下受热时间较长或浇口截面过小及剪切作用大时,料温增高就易发生变色、降解、分解的倾向。具有这种特性的塑料称为热敏性塑料,如硬聚氯乙烯、聚偏氯乙烯、聚甲醛、聚三氟氯乙烯等。

热敏性塑料在分解时产生单体、气体、固体等副产物,尤其是有的分解气体对人体、设备、模具都有刺激、腐蚀作用或有毒性,同时,有的分解物往往又是促使塑料分解的催化剂(如聚氯乙烯的分解物为氯化氢)。为了防止热敏性塑料在成型过程中出现过热分解现象,可采取在塑料中加入稳定剂,合理选择设备,正确控制成型温度和成型周期,及时清理设备

中的分解物等办法。此外，也可采取合理设计模具的浇注系统，模具表面镀铬等一些措施。塑料的水敏性是指在高温下塑料对水降解的敏感性，典型的水敏性塑料是聚碳酸酯等，对于它们必须在成型前进行干燥，以防止其在高温成型过程中发生水降解。

6. 结晶性

在成型过程中，根据塑料冷却时是否具有结晶特性，可将塑料分为结晶型塑料和非结晶型塑料两种。属于结晶型的塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚四氟乙烯、聚甲醛、聚酰胺、氯化聚酯等；属于非结晶型的塑料有聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚碳酸酯、ABS、聚砒等。

一般来讲，结晶型塑料是不透明或半透明的；非结晶型塑料是透明的。但也有例外的情況。如聚4-甲基戊烯-1为结晶型塑料却有高度透明性；ABS属于非结晶型塑料却不透明。

结晶型塑料一般使用性能较好。但由于加热熔化需要热量多，冷却凝固放出热量也多，因而必须注意成型设备选用和冷却装置的设计；结晶型塑料收缩大，容易产生缩孔或气孔，塑料各向异性显著，内应力也大，脱模后塑件容易产生变形、翘曲；结晶型塑料熔化温度范围窄，易发生未熔塑料注入模具或堵塞浇口的现象。

应该指出，结晶型塑料不大可能形成完全的晶体，一般只能有一定程度的结晶。其结晶度随着成型条件的变化而变化，如果熔体温度和模具温度高，熔体冷却速度慢，塑件的结晶度大；相反，则塑件结晶度小。结晶度大的塑件密度大，强度、硬度高，刚度、耐磨性好，耐化学性和电性能好；结晶度小的塑件柔软性、透明性好，伸长率和冲击韧度较大。因此可以通过控制成型条件来控制塑件的结晶度，从而控制其性能，使之满足使用需要。

1.2.2 热固性塑料的工艺性

热固性塑料同热塑性塑料相比，具有制件尺寸稳定性好、耐热好和刚性大等特点，所以在工程上应用十分广泛。热固性塑料在热力学性能上明显不同于热塑性塑料。其主要的工艺性能指标有收缩率、流动性、水分和挥发物含量、比容与压缩率、硬化速度等。

1. 收缩率

与热塑性塑料一样，热固性塑料也具有因成型加工而引起的尺寸减小。计算方法与热塑性塑料收缩率相同。产生收缩的主要原因有：

(1) 热收缩

这是因热胀冷缩而引起的尺寸变化。由于塑料是由高分子化合物为基础组成的物质，线膨胀系数比钢材大几倍至十几倍，制件从成型加工温度冷却到室温时，就会产生远大于模具尺寸收缩的收缩，这种热收缩所引起的尺寸减小是可逆的。收缩量大小可用塑料线膨胀系数的大小来判断。

(2) 结构变化引起的收缩

热固性塑料的成型加工过程是热固性树脂在模腔中进行化学反应的过程，即产生交联结构，分子链间距离缩小，结构紧密，引起体积收缩。这种由结构变化而产生的收缩，在进行到一定程度时，就不会继续产生。

(3) 弹性恢复

塑料制件固化后并非刚性体，脱模时，成型压力降低，产生一个弹性恢复值，这种现象降低了收缩率。在成型以玻璃纤维和布质为填料的热固性塑料时，这种情况尤为明显。

(4) 塑性变形

这主要表现在制件脱模时，成型压力迅速降低但模壁紧压着制件的周围，产生塑性变形。