



普通高等教育“十二五”规划教材  
全国高职高专规划教材·机械设计制造系列

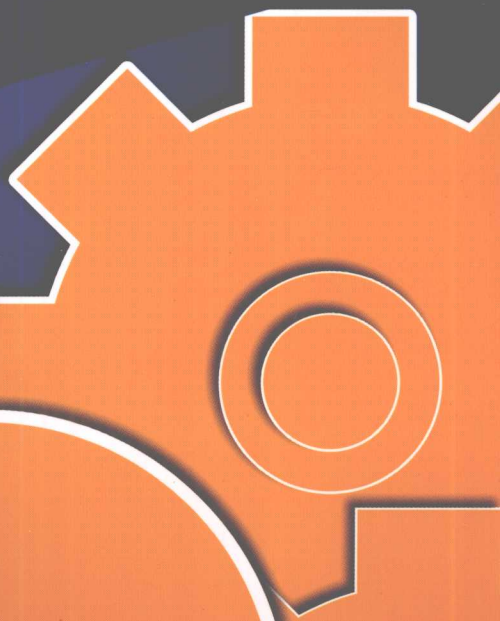
# 塑料成型工艺 与模具设计

SULIAO CHENGXING GONGYI YU MUJU SHEJI

马光全 主编



YZL10890169837



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材  
全国高职高专规划教材·机械设计制造系列

# 塑料成型工艺与模具设计

主 编 马光全  
参 编 贺 剑 赵裕明 靳丽梅



YZLI0890169837



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书主要内容包括塑料基本知识、塑件制品设计、塑料成型方法、注塑成型工艺及工艺制定、注塑模具基本结构、注塑模具基本结构设计等,较为详细地介绍了注塑模具模架、热流道模具设计。本书的特点是突出应用,强调为塑料成型工艺制定和塑料模具设计服务。书中对塑料模具的各结构设计原则阐述详细、参数确定方法周全及参数选取表格齐全,是一本集理论阐述与工具书于一体的教材。

本书适合高职高专模具设计与制造专业、成人高校及本科高校设立的二级职业技术学院的模具专业、民办高校开设的材料成型专业使用,也可供机械行业其他专业选用,还可以作为模具设计培训使用和模具企业有关工程人员模具设计入门使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺与模具设计/马光全主编. —北京:北京大学出版社, 2013. 1  
(全国高职高专规划教材·机械设计制造系列)  
ISBN 978-7-301-21972-0

I. ①塑… II. ①马… III. ①塑料成型—工艺—高等教育—教材 ②塑料模具—设计—高等教育—教材 IV. ①TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 01211 号

书 名: 塑料成型工艺与模具设计

著作责任者: 马光全 主编

策划编辑: 温丹丹

责任编辑: 温丹丹

标准书号: ISBN 978-7-301-21972-0/TH·0330

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电子信箱: [zyjy@pup.cn](mailto:zyjy@pup.cn)

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14 印张 348 千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

## 1. 模具

模具是工业产品生产用的工艺装备，主要应用于制造业和加工业。它是和冲压、铸造、锻造，以及和塑料、橡胶、陶瓷等非金属制品成型加工用的成型机械相配套，作为成型工具来使用的。

## 2. 模具工业在国民经济中的地位

模具是工业生产的基础工艺装备。工业产品大批量生产和新产品开发都离不开模具，在电子、汽车、电机、电器、仪器、仪表、家电和通信等产品中，60%~90%的零部件，都要依靠模具成型。用模具生产制件所达到的四高二低（高精度、高复杂程度、高一一致性、高生产率和低耗能、低耗材）是其他加工制造方法所不能比拟的。模具又是“效益放大器”，用模具生产的最终产品的价值，往往是模具自身价值的几十倍，甚至几百倍。模具生产技术水平的高低，已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志，在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。

## 3. 模具的分类

总体来说，模具可分为3大类：金属板材成型模具，如冲模等；金属体积成型模具，如锻模、压铸模等；非金属材料制品用成型模具，如塑料注射模和压缩模，橡胶制品、玻璃制品、陶瓷制品等成型模具。本书主要讲述塑料注射模具设计。

## 4. 中国模具状况与问题

与国民经济发展的需求、世界先进水平相比，中国的模具差距仍很大。一些大型、精密、复杂、长寿命的中高档模具每年仍需大量进口。在总量供不应求的同时，一些低档模具却供过于求，市场竞争激烈，还有一些技术含量不太高的中档模具也有供过于求的趋势。

## 5. 塑料模具的发展展望

下列几方面发展趋势预计会在行业中得到较快应用和推广。

(1) 超大型、超精密、长寿命、高效模具将得到发展。

(2) 多种材质、多种颜色、多层多腔、多种成型方法一体化的模具将得到发展。

(3) 为各种快速经济模具，特别是与快速成型技术相结合的 RP/RT 技术将得到快速发展。

(4) 模具设计、加工及各种管理将向数字化、信息化方向发展，CAD/CAE/CAM/CAPP 及 PDM/PLM/ERP 等将向智慧化、集成化和网络化方向发展。

(5) 更高速、更高精度、更加智慧化的各种模具加工设备将进一步得到发展和推广应用。

(6) 更高性能及满足特殊用途的模具新材料将会不断发展, 随之将产生一些特殊的和更为先进的加工方法。

(7) 各种模具型腔表面处理技术, 如涂覆、修补、研磨和抛光等新工艺也会不断得到发展。

(8) 逆向工程、并行工程、复合加工乃至虚拟技术将进一步得到发展。

(9) 热流道技术将会迅速发展, 气辅和其他注射成型工艺及模具也将会有所发展。

(10) 模具标准化程度将不断提高。

(11) 在可持续发展和绿色产品被日益重视的今天, “绿色模具”的概念已逐渐被提到议事日程上来。即今后的模具, 从结构设计、原材料选用、制造工艺、模具修复和报废以及模具的回收利用等方面, 都将越来越多地考虑其节约资源、重复使用、利于环保以及可持续发展这一趋向。

## 6. 本课程内容、性质与任务

“塑料成型工艺与模具设计”课程是模具设计与制造专业的专业核心课程。

本课程的内容主要包括塑料成型基础知识、塑料成型的注射成型方法、注射成型工艺、注射成型模具结构与注射模具设计及其他塑料成型方法。

本课程的任务是掌握塑料成型基础知识, 塑料成型的注射成型方法、注射成型工艺、注射成型模具结构及其他塑料成型方法等, 并能进行塑件工艺分析和设计简单注射模具。

塑料成型模具的80%是注射模具, 鉴于学时的因素和抓住主要矛盾的原则, 所以本书主要内容是注射模具设计, 其他成型方法只是简单介绍。

参与本书编写的人员具体分工如下: 丽水职业技术学院靳丽梅编写第1、2、3章, 丽水职业技术学院马光全编写第4、5、6、7、10、11、13章, 黑龙江农业经济职业学院赵裕明编写第8、9、12章, 随州职业技术学院贺剑编写第14、15、16章, 马光全任主编并对全书进行统稿。

在编写过程中参考和借鉴了众多资料, 在此向资料作者表示真诚的谢意。

编者

2013年1月

本教材配有教学课件, 如有老师需要, 请加QQ群(279806670)或发电子邮件至zyjy@pup.cn索取, 也可致电北京大学出版社: 010-62765126。

# 目 录

第 1 章 塑料原材料选择与分析 .....	1
1.1 塑料的基本组成和分类 .....	1
1.2 塑料的成型工艺特性 .....	4
1.3 常用热塑性塑料的性能与应用 .....	11
1.4 习题 .....	16
第 2 章 塑料注射成型工艺 .....	18
2.1 注射成型原理与工艺 .....	18
2.2 注射成型工艺的参数 .....	23
2.3 注射成型工艺参数对塑件质量的影响因素 .....	26
2.4 塑件成型工艺卡的制定 .....	27
2.5 习题 .....	29
第 3 章 塑料制件设计 .....	30
3.1 塑件设计的基本原则 .....	30
3.2 塑件的尺寸和精度 .....	30
3.3 塑件表面粗糙度及表观质量 .....	33
3.4 塑件制品的形状和结构设计 .....	34
3.5 齿轮设计 .....	51
3.6 习题 .....	52
第 4 章 注射成型设备选择 .....	54
4.1 注射机的结构 .....	54
4.2 注射机的分类 .....	56
4.3 注射机的规格型号 .....	58
4.4 注射机的选用和注射模的关系 .....	60
4.5 习题 .....	66
第 5 章 注射成型模具结构 .....	68
5.1 注射模具的组成和分类 .....	68
5.2 典型注射模具结构 .....	70
5.3 习题 .....	74
第 6 章 分型面及型腔数量确定 .....	75
6.1 分型面设计 .....	75
6.2 型腔数目的确定 .....	79
6.3 习题 .....	80
第 7 章 注射模具成型零部件设计 .....	82
7.1 型腔的结构 .....	82

7.2	型芯的结构 .....	84
7.3	成型零部件工作尺寸的计算 .....	85
7.4	成型型腔壁厚的计算 .....	93
7.5	习题 .....	95
<b>第8章</b>	<b>浇注系统设计 .....</b>	<b>96</b>
8.1	概述 .....	96
8.2	主流道设计 .....	97
8.3	分流道设计 .....	98
8.4	浇口设计 .....	102
8.5	冷料穴及拉料杆设计 .....	110
8.6	习题 .....	113
<b>第9章</b>	<b>排气与引气系统设计 .....</b>	<b>114</b>
9.1	排气系统设计 .....	114
9.2	引气系统设计 .....	116
9.3	习题 .....	116
<b>第10章</b>	<b>推出机构设计 .....</b>	<b>118</b>
10.1	概述 .....	118
10.2	一次推出机构设计 .....	119
10.3	二次推出机构设计 .....	126
10.4	浇注系统凝料的脱出和自动脱落机构 .....	128
10.5	塑件螺纹的推出机构 .....	131
10.6	习题 .....	134
<b>第11章</b>	<b>模架的选取与模具标准件 .....</b>	<b>136</b>
11.1	模架 .....	136
11.2	模具标准件设计 .....	145
11.3	习题 .....	152
<b>第12章</b>	<b>注射模具温度控制系统设计 .....</b>	<b>153</b>
12.1	冷却系统的设计 .....	153
12.2	冷却系统元件 .....	157
12.3	模具的加热装置 .....	158
12.4	习题 .....	159
<b>第13章</b>	<b>注射模具侧向分型与抽芯机构设计 .....</b>	<b>160</b>
13.1	侧向分型与抽芯机构的种类 .....	160
13.2	斜导柱侧向分型与抽芯机构 .....	162
13.3	弯销侧向抽芯机构 .....	172
13.4	斜滑块侧向分型与抽芯机构 .....	173
13.5	齿轮齿条侧向分型与抽芯机构 .....	178
13.6	习题 .....	179
<b>第14章</b>	<b>热流道模具 .....</b>	<b>180</b>
14.1	概述 .....	180



---

14.2	热流道模具的结构形式 .....	181
14.3	热流道系统的组成 .....	188
14.4	习题 .....	190
<b>第 15 章</b>	<b>导向机构设计 .....</b>	<b>191</b>
15.1	导柱导向机构 .....	191
15.2	锥面和合模销定位机构 .....	194
15.3	习题 .....	195
<b>第 16 章</b>	<b>其他塑料成型方法简介 .....</b>	<b>196</b>
16.1	压缩成型工艺与原理 .....	196
16.2	压注成型原理与工艺 .....	203
16.3	挤出成型工艺 .....	206
16.4	习题 .....	213
<b>参考文献</b>	.....	<b>214</b>



# 第 1 章 塑料原材料选择与分析

## 1.1 塑料的基本组成和分类

### 1.1.1 塑料的概念

塑料是一类具有可塑性的合成高分子材料。它与合成橡胶、合成纤维形成了当今日常生活不可缺少的三大合成材料。具体地说，塑料是以合成树脂为主要成分，在一定温度和压力等条件下可以塑制成一定形状、在常温下保持形状不变的材料。

塑料是以合成树脂（高分子聚合物）为主要原料，加入必要的添加剂，在一定的温度和压力条件下，可以利用模具塑制而成具有一定几何形状和尺寸的制件的材料。塑料的主要成分是树脂；塑料的性质主要由树脂决定。为了满足各种实际应用的要求，往往要加入必要（不是必须）的添加剂，以改善性能，塑料中常用到的添加剂如下。

#### 1. 填充剂

填充剂又称填料，是塑料中重要的但并非每种塑料必不可少的成分。填充剂与塑料中的其他成分机械混合，它们之间不起化学反应，但与树脂牢固胶黏在一起。

填充剂在塑料中的作用有两个：一是改善塑料的强度、刚性、抗冲击韧性、耐热性等物理、机械性能；二是减少树脂用量，降低塑料成本。一般选用碳纤维、玻璃纤维、石墨、云母、辉绿岩粉、木粉和金属粉等。所用质量分数一般在 20%~30%。

#### 2. 稳定剂

为了防止或抑制塑料在成型、储存和使用过程中，因受外界因素（如热、光、氧、射线、真菌等）作用所引起的性能变化，即所谓“老化”，常常在树脂中添加一些能稳定其化学性质的物质，这些物质称为稳定剂。稳定剂的加入量较少，一般为 0.3%~0.5%，但作用大。

对稳定剂的要求：对聚合物的稳定效果好，能耐水、耐油、耐化学药品腐蚀，并与树脂有很好的相容性，在成型过程中不分解、挥发小、无色。

稳定剂可分为热稳定剂、光稳定剂、抗氧化剂等。常用的稳定剂有硬脂酸盐类、铅的化合物、环氧化合物等。

#### 3. 增塑剂

有些树脂的可塑性很小，柔软性也很差，为了降低树脂的熔融温度和熔融黏度，改善

其成型加工性能,改进塑件的柔韧性以及其他各种必要的性能,需要加入能与树脂相溶的、不易挥发的高沸点有机化合物,这类物质称为增塑剂。

添加增塑剂会降低塑料的机械强度、稳定性等,因此大部分塑料不添加增塑剂。需要加入增塑剂的塑料主要有硝酸纤维、醋酸纤维、聚氯乙烯等。

#### 4. 着色剂

着色剂可改变塑料制品的色泽。着色剂品种大体分为有机颜料、无机颜料和染料三大类。着色剂的加入量一般为0.01%~0.02%。

#### 5. 润滑剂

润滑剂用以提高树脂的流动性、减少摩擦,防止塑料在加工过程中黏附于模具和设备上,以便于脱模,使制品的表面光洁。润滑剂的用量为0.5%~1%。

添加剂除上述外,还有发泡剂、防静电剂、阻燃剂、导电剂、导磁剂等。

### 1.1.2 塑料的分类

塑料的品种较多,分类的方式也很多,常用的分类方法有以下两种。

#### 1. 根据塑料中树脂的分子结构和热性能分类

可将塑料分成两大类:热塑性塑料和热固性塑料。

##### (1) 热塑性塑料

热塑性塑料中树脂的分子结构是线型或支链型结构。它在受热时变软或熔化,成为可流动的稳定黏性液体,在此状态下具有可塑性,可成型一定形状的塑件,冷却后保持已定型的形状。再加热,可软化熔融,可再次制成一定形状的塑件。在该过程中只有物理变化而无化学变化,其过程是可逆的。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。

##### (2) 热固性塑料

热固塑料在受热之初分子为线型结构,具有可塑性和可溶性,可成型为一定形状的塑件。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),分子最终形成体型结构,变得既不熔融,也不溶解。再加热,即使烧焦也不会再软化,不再具有可塑性。热固塑料在成型过程中,既有物理变化又有化学变化,不可逆。由于热固性塑料上述特性,故在加工中的边角料和废品不可回收再生利用。

#### 2. 根据塑料应用范围分类

##### (1) 通用塑料

通用塑料是指产量大、用途广、价格低的塑料。通用塑料主要包括聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、酚醛塑料和氨基塑料六大品种,这些塑料的产量占塑料总产量的一半以上,构成了塑料工业的主体。

##### (2) 工程塑料

工程塑料是指在工程技术中用作结构材料的塑料。具有较高的机械强度、很好的耐磨性、耐腐蚀性、自润滑性及尺寸稳定性等。工程塑料具有某些金属特性,因而可以代替金

属制作某些机械零件。

目前常用的工程塑料包括聚酰胺 (PA)、聚甲醛 (POM)、聚砜 (PSF)、聚碳酸酯 (PC)、ABS、聚苯醚 (PPO)、聚四氟乙烯 (PTFE) 等。

### (3) 特殊塑料

特殊塑料是指具有某些特殊性能的塑料。常见的特殊塑料有氟塑料、聚酰亚胺塑料、有机硅树脂、环氧树脂、导磁塑料、导电塑料、导热塑料以及为某些专门用途而改性制得的塑料。

## 1.1.3 塑料的性能

塑料与其他材料相比较,有以下几方面的性能特点。

(1) 密度小,比强度和比刚度高,大多数塑料密度为  $1.0 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$ 。车辆、飞机、航天器使用塑料零件,对减小质量、节省消耗具有重要的意义。

(2) 化学稳定性好,耐酸、耐碱。

(3) 电绝缘性能、绝热性能、隔音性能好。

(4) 耐磨和自润滑性好。

(5) 成型性能好。

(6) 耐热性较差,一般塑料的工作温度仅  $100^\circ\text{C}$  左右,否则会降解、老化。

(7) 导热性较差,所以不能用在要求导热性好的场合。

(8) 易老化,对于使用寿命较长的场合,宜选用金属件。

## 1.1.4 塑料的热力学性能

塑料的物理、力学性能与温度密切相关,温度变化时,塑料的受力行为发生变化,呈现出不同的物理状态,表现出分阶段的力学性能特点。塑料在受热时的物理状态和力学性能对塑料的成型加工有着非常重要的意义。

聚合物的物理、化学性能与温度密切相关,在温度变化时树脂聚合物所处的力学状态也必然随之发生变化。

热塑性塑料在受热时常存在的物理状态为玻璃态、高弹态和黏流态,如图 1-1 所示。线型无定型聚合物(曲线 1)和线型结晶型聚合物(曲线 2)受恒压时变形程度与温度关系的曲线,也称热力学曲线。

### 1. 玻璃态

塑料处于温度  $\theta_g$  以下的状态,为坚硬的固体,是大多数塑件的使用状态。 $\theta_g$  称为玻璃态化温度,是塑料使用温度的上限。 $\theta_b$  是塑料的脆化温度,是塑料使用温度的下限。玻璃态下聚合物只适用于车削、铣削、钻孔、螺纹加工等机械加工。

### 2. 高弹态

$\theta_f$  称为黏流化温度,塑料在  $\theta_g \sim \theta_f$  温度区间内呈高弹态。处于这一状态的塑料类似橡胶状态的弹性体,仍具有可逆的形变性质。

高弹态塑料在外力作用下,变形能力很大,伸长率为  $100\% \sim 1000\%$ 。常温下高弹态

的材料为橡胶。

塑料在高弹态下可进行的成型加工有压延成型、中空吹塑成型等。

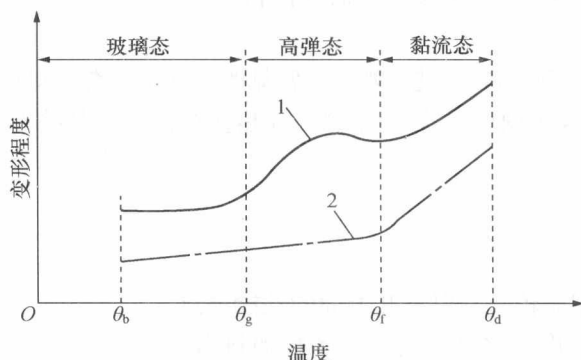


图 1-1 热塑性塑料的三态

1—线型无定型聚合物 2—完全线型结晶型聚合物

$\theta_b$ —聚合物的脆化温度，是聚合物保持高分子力学特性的最低温度

$\theta_g$ —玻璃化温度，是聚合物从玻璃态转变为高弹态（或相反）的临界温度

$\theta_t$ —黏流化温度，是无定型聚合物从高弹态转变为黏流态（或相反）的临界温度

$\theta_d$ —热分解温度，是聚合物在加热到一定温度时高分子主链发生断裂开始分解的临界温度

### 3. 黏流态

塑料在  $\theta_t \sim \theta_d$  温度区间内是黏流态。当塑料聚合物继续加热温度至  $\theta_d$  时，聚合物开始降解， $\theta_d$  称为热降解温度，是聚合物在高温下开始降解的临界温度。降解后的塑料制件的外观质量和力学性能显著降低。因此塑料在成型时的加热温度应低于降解温度。

塑料进入黏流态变成可流动黏流液体，通常我们也称之为熔体。塑料在这种状态下的变形不具可逆性质，一经成型和冷却后，其形状永远保持下来。

塑料在黏流态下可进行的成型加工有挤出成型、薄膜吹塑、注塑、熔融纺丝等。

## 1.2 塑料的成型工艺特性

### 1.2.1 热塑性塑料的成型工艺特性

#### 1. 收缩性

塑件从模具中取出冷却到室温后，塑件各部分尺寸都比在模具时的尺寸有所缩小，这种特性称为收缩性。塑件成型收缩值可用收缩率来表示，计算公式如下：

$$S' = \frac{L_c - L_s}{L_s} \times 100\% \quad (1-1)$$

$$S = \frac{L_m - L_s}{L_s} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中  $S'$  ——实际收缩率；

$S$  ——计算收缩率；

$L_c$  ——塑件在成型温度时的尺寸；

$L_s$  ——塑件在室温时的尺寸；

$L_m$  ——模具在室温时的尺寸。

因为实际收缩率与计算收缩率数值相差很小，所以模具设计时常以计算收缩率为设计参数，来计算型腔及型芯等的尺寸。

影响收缩率变化的因素很多，影响收缩率的主要因素包括以下几种。

(1) 塑料品种。在塑料成型时，收缩率不仅因塑料品种不同而不同，即使是同一品种塑料的不同批号，或同一塑件的不同部位的收缩率也经常不同。结晶型塑料，结晶度高，体积变化大，收缩率高。

(2) 塑件结构。塑件的形状、尺寸、壁厚、有无嵌件、嵌件数量及布局等，对收缩率值有很大影响，塑件壁厚则收缩率大，形状复杂、壁薄、有嵌件、嵌件数量多则收缩率小。

(3) 模具结构。模具的分型面、加压方向、浇注系统形式、布局及尺寸、保压补缩作用等对收缩率及方向性影响也很大，尤其是挤出成型和注射成型更为明显。

(4) 成型工艺。成型方法对收缩率的影响很大，挤出成型和注射成型一般收缩率较大，方向性也很明显，压注、压缩成型收缩率较小。成型温度、成型压力、保压时间等对收缩率及方向性都有较大影响。模具温度高，收缩率大；成型压力高、时间长的塑件收缩率小，但方向性大；料温高则收缩率大，但方向性小。

模具设计时应根据以上因素综合考虑选择塑料的收缩率，对精度要求高的塑件应选取收缩率波动范围小的塑料，可以先选择较小的收缩率，以便有试模后修正的余地。

## 2. 流动性

在成型过程中，塑料熔体在一定的温度、压力下填充模具型腔的能力称为塑料的流动性。流动性差的塑料，不易充满型腔，易产生缺料或熔接痕等缺陷，因此需要较大的成型压力才能成型。流动性好的塑料，可以用较小的成型压力充满型腔。如果流动性太好，会在成型时产生严重的溢边。具有线型分子而没有或很少有交联结构的树脂流动性大。如果塑料中加入填料，会降低树脂的流动性，而加入增塑剂或润滑剂，则可增加塑料的流动性。聚合物在加工过程中具有的流动和形变均是由外力作用的结果。

### (1) 影响塑料填充能力的主要因素

① 温度。料温高，流动填充能力好，但不同塑料各有差异。聚苯乙烯、ABS、聚丙烯、聚酰胺、聚甲基丙烯酸甲酯、AS、聚碳酸酯、醋酸纤维素等塑料流动填充能力随温度变化的影响较大；而聚乙烯、聚甲醛的流动填充能力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，流动填充能力也增大，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、流道截面尺寸、型腔形式、排气系统）、冷却系统设计等因素都直接影响熔料的流动填充能力。

④ 塑件的结构。塑件合理的结构设计也可以改善流动填充能力,例如在流道和塑件的拐角处采用圆角结构、加强筋的方向与料流方向一致等可以改善熔体的流动填充能力。

### (2) 热塑性塑料流动性指标

热塑性塑料流动性可用相对分子质量大小、熔体指数、螺旋线长度、表观黏度及流动比(流程长/塑件壁厚)等一系列参数进行分析,相对分子质量小、熔体指数高、螺旋线长度长、表观黏度小、流动比大的则流动性好。

## 3. 相容性

相容性又俗称共混性,是指两种或两种以上不同品种的塑料,在熔融状态下不产生相分离现象的能力。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。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。

## 4. 吸湿性

吸湿性是指塑料对水分的亲疏程度。据此塑料大致可分为两类:一类是具有吸湿或黏附水分倾向的塑料,如聚酰胺、ABS、聚碳酸酯、聚砜等;另一类是既不吸湿也不易黏附水分的塑料,如聚丙烯、聚乙烯、聚甲醛等。

具有吸湿性的塑料,需要成型前进行干燥,使水分控制在0.2%~0.5%以下,如成型前水分未去除,在成型过程中,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,成型后塑料出现气泡、银丝与斑纹等缺陷。

## 5. 降解和热敏性

(1) 降解。降解是指聚合物在受热、受力、氧化、水、光等的作用下发生的大分子链断裂及相对分子质量降低的现象。按照产生降解的条件不同,降解分为热降解、水降解、氧化降解、应力降解等。轻度降解会使聚合物变色,使制品出现气泡和流纹弊病,降低材料的物理性能、力学性能;严重的降解会使聚合物焦化变黑并产生大量的分解物质。

(2) 热敏性。热敏性是指某些热稳定性差的塑料,在高温或受热时间长的情况下就会产生降解、分解、变色的特性,热敏性很强的塑料称为热敏性塑料,如硬聚氯乙烯、聚三氟氯乙烯、聚甲醛等。

热敏性塑料产生分解、变色不但影响塑料的性能,而且分解出气体或固体。分解物气体有时对人体、设备和模具都有损害,有的分解产物往往又是该塑料分解的催化剂,如聚氯乙烯分解产物氯化氢,能促使聚氯乙烯分解进一步加剧。

综上所述,可选用螺杆式注射机,增大浇注系统截面尺寸,不允许有死角滞料,模具和料筒镀铬,严格控制成型温度、模温、加热时间、螺杆转速及背压等,避免气体的危害;还可在热敏性塑料中加入稳定剂,以减弱热敏性能。

表1-1列出了常用聚合物的加工温度和分解温度。

表 1-1 常用聚合物的加工温度和分解温度 (°C)

聚合物	热分解温度	加工温度	聚合物	热分解温度	加工温度
聚苯乙烯	310	170~250	聚乙烯 (高密度)	320	220~280
聚氯乙烯	170	150~170	聚苯烯	300	200~300
聚甲基丙烯酸甲酯	280	180~240	聚对苯二甲酸乙二酯	380	260~280
聚碳酸酯	380	270~320	聚酰胺 6	360	230~290
氯化聚醚	290	180~270	聚甲醛	220~240	195~220

## 6. 取向性

在应力作用下, 聚合物分子链或纤维填料顺着应力 (流动) 方向作平行排列的现象称为取向。取向分为拉伸取向和流动取向两种。取向后的塑件呈现明显各向异性, 即在取向方向上力学性能显著提高。而垂直于取向方向的力学性能明显下降。在这两个方向上, 收缩率也明显不同, 取向方向的收缩率增加, 垂直于取向方向的线膨胀系数比取向方向大 3 倍左右。

因为取向塑件呈现的各向异性, 尤其是收缩率的不同, 使塑件产生翘曲变形, 甚至在垂直取向方向产生裂纹。因此一般应尽量避免或减少取向的发生。

成型过程中聚合物分子的取向程度不仅与塑料的类别、塑件的厚度有关, 还与注射工艺条件及模具的浇口设计密切相关。表 1-2 列出了注射工艺条件及模具的浇口对分子取向程度的影响。

表 1-2 注射工艺条件及模具的浇口对分子取向程度的影响

影响因素		取向程度	
		增大	减小
成型条件	物料温度	冷	热
	充模速度	慢	快
	注射压力	高	低
	充模时间	长	短
	模具温度	冷	热
	塑件冷却速度	快	慢
模具浇口	浇口位置选择	选较薄处	选较厚处
	浇口截面面积大小	大	小

## 7. 熔体破裂和鲨鱼皮症

聚合物熔体在加工温度下通过喷嘴孔时, 挤出物具有光滑的表面和均匀的形状, 但其剪切速率达到一定值后, 挤出的熔体表面发生明显的横向凹凸不平或外形畸变, 随着剪切速率的增大, 挤出的熔体越来越粗糙, 甚至不能成流、断裂的现象称为熔体破裂。熔体破裂会影响塑件的性能和外观质量。

剪切速率是指流体的流动速相对圆流道半径的变化速率, 其计算公式为剪切速率 = 流



速差/所取两液面的高度差。

鲨鱼皮症是发生在挤出物表面上的一种缺陷，其特点是在挤出物表面上形成很多与流动方向垂直的具有规则和相当间距的细微棱脊，类似于鲨鱼皮。随不稳定流动程度的差异，这些形状从人字形、鱼鳞状至鲨鱼皮状，或密或疏不等。

所以过分提高挤出速度会使塑件外观和内在质量均受到不良的影响。减少或消除的方法是适当增加喷嘴、浇口的截面积，提高熔体温度、降低注射速度等。

### 8. 应力开裂

聚合物在成型时容易产生内应力，成型后容易在塑件中形成残余应力，在不大的外力或在溶剂作用下容易发生开裂。这种现象称为应力开裂，如聚碳酸酯、聚苯乙烯、聚砜等成型后极易发生开裂。为防止应力开裂，成型时采取一些方法来降低内应力，例如在塑料中可加入增强材料以提高塑件的抗裂性；可以从塑件的工艺性和模具结构方面考虑，如设计合理的塑件形状并尽量不设置嵌件；对物料进行干燥处理并选择合适的工艺条件，以减小残余应力和增加抗裂性；采用较大的脱模斜度、合理布置浇口位置和顶出零件位置等。此外，对塑件进行退火热处理可以消除残余应力，也能提高它的抗裂能力。必要时可以注明塑件使用要求。禁止与溶剂接触，以免发生不正常的应力开裂。

### 9. 聚合物成型过程中的结晶

#### (1) 聚合物的结晶

聚合物的结晶是指聚合物由熔融状态到冷凝的过程中，分子由无次序的自由运动状态逐渐排列成为规则排列的一种现象。由于聚合物结晶的复杂性，在结晶聚合物中通常总是包含晶区和非晶区两个部分，所以聚合物不能完全结晶，衡量结晶程度和能力的物理量采用结晶度来表示，即不完全结晶的聚合物中晶区所占的质量（或体积）百分数，如图 1-2 所示。



图 1-2 结晶型聚合物结构示意图

1—晶区      2—非晶区

## (2) 影响结晶的因素

① 温度。熔体温度越高,在这种温度下保持的时间越长,结晶度越低。因此,注射成型时应采用较低的模温和较短的注射时间,以利提高结晶速率,从而提高塑件的某些力学性能。

冷却速度增大,结晶度减小,塑件密度也随之减小。因此应根据聚合物结晶参数选择模温和冷却速度,使结晶度尽可能达到最接近平衡值,从而获得最佳塑件性能。

② 压力和切应力。压力增大使聚合物能在高于正常情况下的熔化温度发生结晶,压力越高,结晶温度也越高。当熔体受很大切应力作用时可产生均匀的微晶结构。剪切造成的分子取向也可大大加速结晶过程。

③ 分子结构。聚合物分子结构越简单、越规整,则结晶越快,结晶程度越高,同一种聚合物的最大结晶速率随相对分子质量的增大而减小。

④ 添加剂。聚合物中的固体杂质、水分和添加剂对聚合物的结晶过程将产生影响,有的添加剂能促进结晶,有的阻碍结晶。在塑件生产中,常常主动采用具有促进结晶过程的添加剂,使其起到异质生核的作用。结晶速度加快,晶粒尺寸变小,从而改善了塑件的性能。

⑤ 热处理(退火)。热处理能够使结晶聚合物的结晶度增加,不稳定的结晶结构转变为稳定的结晶结构。

## (3) 结晶对塑件性能的影响

① 密度。结晶过程中结晶聚合物分子链敛集作用使聚合物的体积收缩,分子间作用力强,所以密度将随结晶区的增大而增加。

② 力学性能。由于结晶后聚合物大分子之间作用力加强,使得晶态聚合物的某些物理力学性能(如弹性模量、硬度、屈服强度等)随着结晶度的增加而升高;而聚合物的抗冲击强度和断裂伸长率则随结晶度的增加而降低。结晶度增大,还会使材料变脆。

③ 热性能。结晶有助于提高聚合物的软化温度和热变形温度。例如,结晶度为70%的聚丙烯,受载荷作用的热变形温度为124.9℃;而结晶度提高到95%时,热变形温度可升至151.1℃。

④ 翘曲。聚合物在模内冷却时,由于冷却速度不均匀,造成各个部分的结晶度不等,收缩不均、产生较高内应力而引起翘曲,所以结晶型塑料比无定型聚合物更易翘曲。

⑤ 表面粗糙度和透明度。结晶后的分子链规整排列,增加聚合物组织结构的致密性,表面粗糙度会降低,但透明度减小或丧失。

## 1.2.2 热固性塑料的成型工艺特性

热固性塑料的工艺性能不同于热塑性塑料,其主要性能指标有收缩率、流动性、水分及挥发物含量、比体积(比容)及压缩率与固化速度等。

### 1. 收缩率

同热塑性塑料一样,热固性塑料经成型冷却也会发生尺寸收缩,其收缩率的计算方法与热塑性塑料相同。产生收缩的主要原因有以下几个。

(1) 热收缩。热收缩是由于热胀冷缩而使塑件成型冷却后所产生的收缩。虽然模具也存在热胀冷缩,但是模具钢材的收缩率远小于塑料的收缩率,所以模具的尺寸要大于塑件的尺寸。热收缩的大小与模具的温度成正比,是成型收缩中主要的收缩因素。