



新世纪高职高专教改项目成果教材

XIN SHI JI GAO ZHI GAO ZHUAN JIAO GAI XIANG MU CHENG GUO JIAO CAI

模具设计与制造系列

塑料模具设计与制造

齐卫东 主编



高等教育出版社

新世纪高职高专教改项目成果教材

塑料模具设计与制造

齐卫东 主编
毕大森 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书是教育部新世纪高职高专教改项目成果教材, 主要内容包括塑料成形基础、塑料模具设计和塑料模具制造。

本书兼顾了理论基础和生产实践两个方面, 内容全面, 实用性强, 可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及普通高校本科塑料模具设计与制造课程的教材, 亦可供从事模具设计、制造的工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

塑料模具设计与制造/齐卫东主编. —北京: 高等教育出版社, 2004.7

ISBN 7-04-014676-2

I. 塑... II. 齐... III. ①塑料模具-设计-高等学校: 技术学校-教材②塑料模具-制模工艺-高等学校: 技术学校-教材 IV. TQ320.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 042894 号

策划编辑 赵亮 责任编辑 胡纯 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 张岚 责任校对 俞声佳 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京市白帆印务有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 23
字 数 560 000

版 次 2004 年 7 月第 1 版
印 次 2004 年 7 月第 1 次印刷
定 价 34.70 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》(教高[2000]3 号,以下简称《计划》)。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》(教高[2000]2 号)的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院(以下简称高职高专院校)中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一批较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2002 年 11 月 30 日

前 言

随着现代工业发展的需要，塑料制品在工业、农业和日常生活等各个领域的应用越来越广泛，质量要求也越来越高。在塑料制品的生产中，高质量的模具设计、先进的模具制造设备、合理的加工工艺、优质的模具材料和现代化的成形设备等都是成形优质塑件的重要条件。为此，作者在多年从事科研、教学和生产实践的基础上，参考了国内、外大量有关塑料制品设计、制造方面的专著和最新技术资料，整理编写了此书。

本书详细论述了注射成形、压缩成形、压注成形、挤出成形、气动成形等各类成形工艺与模具设计，以及注射成形模具的制造与实例，力求做到理论联系实际和反映国内、外先进水平。

本书共分10章，由天津科技大学张秀棉编写第1章，天津理工大学齐卫东编写第2、3、6章，毕大森编写第4、10章和第5章的5.1、5.2节，付丽编写第7、8、9章，周小玉编写第5章的5.3、5.4节。由齐卫东主编并负责全书的统稿和修改，毕大森任副主编。

天津科技大学吴崇峰教授审阅了本书，并提出了许多宝贵意见。本书在编写过程中得到了有关单位尤其是天津理工大学的大力支持和帮助，在此一并表示衷心感谢。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及普通高校本科塑料模具设计与制造课程的教材，亦可供从事模具设计、制造的工程技术人员使用。

由于作者水平有限，书中难免有不当和错误之处，恳请使用本书的教师和广大读者批评指正。

编 者
2004年5月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

目 录

第1章 塑料成形基础	1	3.1 单分型面注射模概述	82
1.1 塑料概论	1	3.1.1 单分型面注射模结构、 组成和工作过程	82
1.1.1 聚合物的分子结构	1	3.1.2 单分型面注射模具设计 步骤	84
1.1.2 塑料的组成及分类	3	3.2 塑件在单分型面模具中的 位置	87
1.1.3 塑料的热力学性能	5	3.2.1 型腔数目和分布	87
1.1.4 塑料在成形过程中的流动 状态	7	3.2.2 分型面的概念和设计	90
1.2 塑料工艺性能	9	3.3 单分型面注射模具普通浇注 系统设计	92
1.2.1 热塑性塑料的工艺性能	10	3.3.1 普通浇注系统的组成 及设计原则	92
1.2.2 热固性塑料的工艺性能	12	3.3.2 主流道和分流道设计	95
1.3 常用塑料	14	3.3.3 浇口设计	97
1.3.1 热塑性塑料	14	3.3.4 浇注系统的平衡	102
1.3.2 热固性塑料	19	3.3.5 冷料穴和拉料杆设计	104
1.4 塑料成形工艺	21	3.3.6 模具排气槽设计	106
1.4.1 注射成形工艺	21	3.4 成形零部件设计	107
1.4.2 压缩成形工艺	28	3.4.1 成形零部件结构设计	107
1.4.3 压注成形工艺	31	3.4.2 成形零部件工作尺寸 计算	115
1.4.4 挤出成形工艺	34	3.4.3 成形零部件刚度和强 度校核	119
1.5 塑件设计	38	3.5 单分型面注射模具推出机构 设计	124
1.5.1 塑件尺寸及其精度	38	3.5.1 单分型面注射模具推出 机构组成与分类	124
1.5.2 塑件表面质量	42	3.5.2 推出力计算	126
1.5.3 塑件结构设计	46	3.5.3 推出机构设计	127
习题	60	3.5.4 推出机构的复位设计	134
第2章 塑料模具与设备	61	3.6 温度调节系统设计	134
2.1 塑料模具	61		
2.1.1 注射模	61		
2.1.2 其他塑料模具	62		
2.2 塑料成形设备	66		
2.2.1 注射机	66		
2.2.2 其他塑料成形设备	73		
习题	81		
第3章 单分型面注射模	82		

3.6.1 模具温度对塑件成形的影响	134	6.1 侧分型与抽芯注射模实例分析	207
3.6.2 模具冷却系统设计	135	6.1.1 侧分型与抽芯机构的类型	207
3.6.3 模具加热系统设计	141	6.1.2 斜导柱侧抽芯注射模结构组成及工作过程	208
3.7 注射模标准模架和常用件	142	6.2 斜导柱侧抽芯机构设计与计算	209
3.7.1 注射模标准模架	142	6.2.1 抽芯距与抽芯力的计算	209
3.7.2 模具标准零部件设计	146	6.2.2 侧滑块的设计	210
习题	152	6.3 斜导柱侧抽芯机构应用形式	222
第4章 双分型面注射模	153	6.3.1 斜导柱安装在定模、侧滑块安装在动模	222
4.1 双分型面注射模概述	153	6.3.2 斜导柱安装在动模、侧滑块安装在定模	226
4.1.1 双分型面注射模结构特点 ..	153	6.3.3 斜导柱与侧滑块同时安装在定模	228
4.1.2 双分型面注射模工作过程 ..	155	6.3.4 斜导柱与侧滑块同时安装在动模	230
4.2 双分型面注射模浇注系统	156	6.3.5 斜导柱的内侧抽芯	230
4.2.1 点浇口浇注系统	156	6.4 其他类型的侧抽芯注射模	231
4.2.2 潜伏浇口	157	6.4.1 弯销侧抽芯机构	231
4.2.3 浇注系统的推出机构	158	6.4.2 斜导槽侧抽芯机构	233
4.3 双分型面注射模典型结构	163	6.4.3 斜滑块侧抽芯机构	235
4.3.1 双分型面注射模结构分类	163	6.4.4 齿轮齿条侧抽芯机构	238
4.3.2 常见双分型面注射模结构	164	6.4.5 液压或气动侧抽芯机构	240
习题	171	习题	241
第5章 其他类型注射模	172	第7章 压缩模与压注模	242
5.1 热流道注射模	172	7.1 压缩模结构及分类	242
5.1.1 热流道注射模结构特点	173	7.1.1 压缩模的典型结构及组成 ..	242
5.1.2 常用的热流道浇注系统	180	7.1.2 压缩模的分类	243
5.2 复杂推出机构注射模	184	7.1.3 压缩模与压机的关系	246
5.2.1 二次推出机构注射模	184	7.2 压注模结构及分类	249
5.2.2 顺序推出机构注射模	193	7.2.1 压注模的典型结构	249
5.2.3 带螺纹塑件的脱模	195	7.2.2 压注模的分类	250
5.3 热固性塑料注射成形	201		
5.4 气体辅助注射成形	203		
习题	206		
第6章 侧分型与抽芯注射模	207		

7.3 压注模成形零件设计	252	9.2.2 塑件设计	294
7.3.1 加料室的结构	252	9.2.3 模具设计	296
7.3.2 压柱的结构	253	9.3 压缩空气成形模具	299
7.3.3 加料室与压柱的配合	254	9.3.1 成形工艺及其特点	299
7.3.4 加料室尺寸计算	255	9.3.2 压缩空气成形模具	299
7.4 浇注系统设计	257	习题	301
7.4.1 主流道	258	第10章 塑料注射模具制造与	
7.4.2 分流道	258	实例	302
7.4.3 浇口	259	10.1 塑料注射模具制造特点	302
7.4.4 溢料槽和排气槽	261	10.1.1 塑料注射模具制造过程	302
习题	262	10.1.2 塑料注射模具技术要求	306
第8章 挤出模	263	10.1.3 塑料注射模具零件常用	
8.1 挤出机头概述	263	材料	307
8.1.1 作用及分类	263	10.2 塑料注射模具零件常用加工	
8.1.2 结构组成	264	方法	310
8.1.3 设计原则	264	10.2.1 零件常用加工方法	310
8.1.4 机头与挤出机的关系	265	10.2.2 塑料注射模具典型零件	
8.2 管材挤出机头	268	加工	330
8.2.1 典型结构	268	10.3 塑料注射模具装配	333
8.2.2 工艺参数的确定	270	10.3.1 塑料注射模具标准件	333
8.2.3 管材的定径和冷却	273	10.3.2 塑料注射模具部件	
8.3 吹塑薄膜挤出机头	275	装配	338
8.3.1 结构类型及参数确定	276	10.3.3 塑料注射模具总装配	343
8.3.2 冷却装置	279	10.4 塑料注射模具设计与制造	
8.4 板材与片材挤出机头	280	实例	344
8.4.1 鱼尾式机头	280	10.4.1 塑件的工艺分析	344
8.4.2 支管式机头	281	10.4.2 模具的基本结构及模架	
8.4.3 螺杆式机头	282	选择	346
习题	283	10.4.3 模具结构、尺寸的设计	
第9章 气动成形模具	284	计算	348
9.1 中空吹塑成形模具	284	10.4.4 模具主要零件图及加工	
9.1.1 分类及特点	284	工艺规程	350
9.1.2 吹塑塑件设计	287	10.4.5 模具总装图及模具的装	
9.1.3 吹塑模具设计	289	配、试模	353
9.2 真空成形模具	291	习题	356
9.2.1 成形方法及其特点	292	参考文献	357

第 1 章 塑料成形基础

1.1 塑料概论

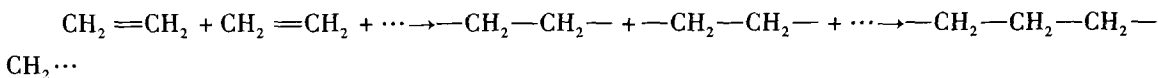
1.1.1 聚合物的分子结构

1. 聚合物的分子结构

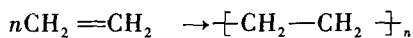
塑料是以高分子合成树脂为基本原料，加入一定量的添加剂组成，在一定的温度、压力下可塑制成具有一定结构形状，能在常温下保持其形状不变的材料。

合成树脂是由一种或几种简单化合物通过聚合反应生成的一种高分子化合物，也叫聚合物，这些简单的化合物也称为单体。

例如：若干个乙烯单体分子，在适当条件(100 MPa, 200 ℃)下，聚合形成高分子化合物(即聚合物)聚乙烯。其反应式如下：



或者



上式中： $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ 是乙烯单体； $\text{—}[\text{CH}_2\text{—CH}_2\text{—}]_n\text{—}$ 是聚乙烯，将其展开得到 $\sim\text{CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\cdots\text{CH}_2\text{—CH}_2\sim$ ，其中 $\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—}$ 是结构单元，也叫链节； n 称为链节数或者聚合度，表示有多少链节聚合在一起。由许多链节构成一个很长的聚合物分子，称为“分子链”。

与低分子结构相比，聚合物的高分子结构有如下特点：①低分子所含原子数都很少，而一个高分子中含有几千个、几万个，甚至几百万个原子。②相对分子质量。低分子化合物如水的相对分子质量为 18，石灰石的相对分子质量为 100，酒精的相对分子质量为 46，蔗糖的相对分子质量为 324，这些低分子化合物的相对分子质量只有几十或几百。而高分子化合物的相对分子质量比低分子高得多，一般可自几万至几十万、几百万甚至上千万。例如尼龙分子的相对分子质量为二万三千左右，天然橡胶为四十万。③分子长度。低分子例如乙烯的长度约为 $0.0005\ \mu\text{m}$ ，而高分子聚乙烯的长度为 $6.8\ \mu\text{m}$ ，后者是前者的 13 600 倍。

如果聚合物的分子链呈不规则的线状(或者团状)，则聚合物是一根根分子链组成的，称为线型聚合物，如图 1.1a 所示。如果在大分子的链之间还有一些短链把它们连接起来，成

为立体结构，则称为体型聚合物，如图 1.1c 所示。此外，还有一些聚合物的大分子主链上带有一些或长或短的小支链，整个分子链呈枝状，如图 1.1b 所示，称为带有支链的线型聚合物。

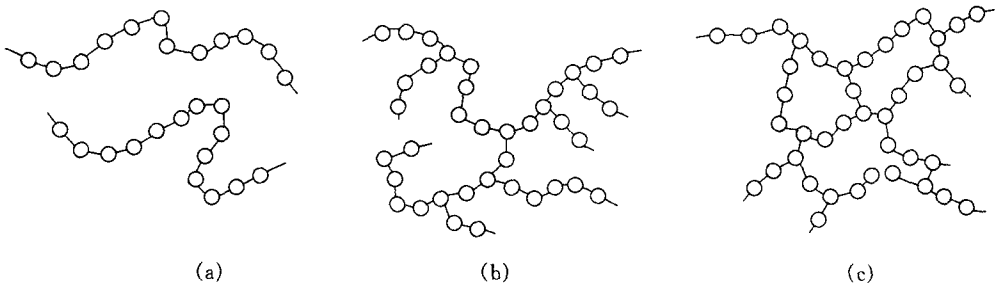


图 1.1 聚合物分子链结构示意图

2. 聚合物的聚集态结构及其性能

聚合物由于分子特别大且分子间引力也较大，容易聚集为液态或固体而不形成气态。固体聚合物的结构按照分子排列的几何特征，可分为结晶型和非结晶型(或无定型)两种。

结晶型聚合物由“晶区”(分子做有规则紧密排列的区域)和“非晶区”(分子处于无序状态的区域)所组成，如图 1.2 所示。晶区所占的质量百分数称为结晶度，例如低压聚乙烯在室温时的结晶度为 85% ~ 90%。通常聚合物的分子结构简单，主链上带有的侧基体积小、对称性高，分子间作用力大，有利于结晶；反之，则对结晶不利或不能形成结晶区。结晶只发生在线性聚合物和含交联不多的体型聚合物中。



图 1.2 结晶型聚合物结构示意图

1—晶区；2—非晶区

结晶对聚合物的性能有较大影响。由于结晶造成了分子紧密聚集状态，增强了分子间的作

用力, 所以使聚合物的强度、硬度、刚度及熔点、耐热性和耐化学性等性能有所提高, 但与链运动有关的性能如弹性、伸长率和冲击强度等则有所降低。

对于非结晶聚合物的结构, 过去一直认为其分子排列是杂乱无章的、相互穿插交缠的。但在电子显微镜下观察, 发现无定型聚合物的质点排列不是完全无序的, 而是大距离范围内无序, 小距离范围内有序, 即“远程无序, 近程有序”。体型聚合物由于分子链间存在大量交联, 分子链难以做有序排列, 所以绝大部分是无定型聚合物。

1.1.2 塑料的组成及分类

1. 塑料的组成

塑料是以合成树脂为主要成分, 再加入改善其性能的各种各样的添加剂(也称助剂)制成的。在塑料中, 树脂起决定性的作用, 但也不能忽略添加剂的作用。

(1) 树脂

树脂是塑料中最重要的成分, 它决定了塑料的类型和基本性能(如热性能、物理性能、化学性能、力学性能等)。在塑料中, 它联系或胶黏着其他成分, 并使塑料具有可塑性和流动性, 从而具有成形性能。树脂包括天然树脂和合成树脂。在塑料生产中, 一般都采用合成树脂。

(2) 填充剂

填充剂又称填料, 是塑料中的重要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, 它们之间不起化学作用, 但与树脂牢固胶黏在一起。

填充剂在塑料中的作用有两个: 一是减少树脂用量, 降低塑料成本; 二是改善塑料的某些性能, 扩大塑料的应用范围。在许多情况下, 填充剂所起的作用是很大的, 例如聚乙烯、聚氯乙烯等树脂中加入木粉后, 既克服了它的脆性, 又降低了成本。用玻璃纤维作为塑料的填充剂, 能使塑料的力学性能大幅度提高, 而用石棉作填充剂则可以提高塑料的耐热性。有的填充剂还可以使塑料具有树脂所没有的性能, 如导电性、导磁性、导热性等。常用的填充剂有木粉、纸浆、云母、石棉、玻璃纤维等。

(3) 增塑剂

有些树脂(如硝酸纤维、醋酸纤维、聚氯乙烯等)的可塑性很小, 柔软性也很差。为了降低树脂的熔融黏度和熔融温度, 改善其成形加工性能, 改进塑件的柔韧性、弹性以及其他各种必要的性能, 通常加入能与树脂相容的、不易挥发的高沸点有机化合物, 这类物质称为增塑剂。

在树脂中加入增塑剂后, 增塑剂分子插入到树脂高分子链之间, 增大了高分子链间的距离, 因而削弱了高分子间的作用力, 使树脂高分子容易产生相对滑移, 从而使塑料能在较低的温度下具有良好的可塑性和柔软性。常用的增塑剂有邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯等。

(4) 着色剂

为使塑件获得各种所需色彩, 常常在塑料组分中加入着色剂。着色剂品种很多, 但大体分为有机颜料、无机颜料和染料三大类。要求着色剂着色力强; 与树脂有很好的相容性; 不与塑料中其他成分起化学反应; 成形过程中不因温度、压力变化而分解变色; 而且在塑件的长期使用过程中能够保持稳定。

(5) 稳定剂

为了防止或抑制塑料在成形、储存和使用过程中,因受外界因素(如热、光、氧、射线等)作用所引起的性能变化,即所谓“老化”,需要在聚合物中添加稳定剂。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。

(6) 固化剂

固化剂又称硬化剂、交联剂。成形热固性塑料时,线型高分子结构的合成树脂需发生交联反应转变成体型高分子结构。添加固化剂的目的是促进交联反应。如在环氧树脂中加入乙二胺、三乙醇胺等。

塑料的添加剂还有发泡剂、阻燃剂、防静电剂、导电剂和导磁剂等。并不是每一种塑料都要加入全部这些添加剂,而是依塑料品种和塑件使用要求按需要有选择地加入某些添加剂。

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

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、ABS、聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、有机玻璃、聚砜、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。上述成形过程中,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。

(2) 根据塑料性能及用途分类

1) 通用塑料

这类塑料是指产量大、用途广、价格低的塑料。主要包括聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、酚醛塑料和氨基塑料六大品种,它们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

这类塑料常指在工程技术中用做结构材料的塑料。除具有较高的机械强度外,这类塑料还具有很好的耐磨性、耐腐蚀性、自润滑性及尺寸稳定性等。它们具有某些金属特性,因而现在越来越多地代替金属来做某些机械零件。

目前常用的工程塑料包括聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、ABS、聚砜、聚苯醚、聚四氟乙烯等。

3) 增强塑料

在塑料中加入玻璃纤维等填料作为增强材料,以进一步改善塑料的力学性能和电性能,这种新型的复合材料通常称为增强塑料。它具有优良的力学性能,比强度和比刚度高。增强塑料分为热塑性增强塑料和热固性增强塑料。

4) 特殊塑料

特殊塑料指具有某些特殊性能的塑料。如氟塑料、聚酰亚胺塑料、有机硅树脂、环氧树脂、导电塑料、导磁塑料、导热塑料以及为某些专门用途而改性得到的塑料。

1.1.3 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形加工有着非常重要的意义。

1. 塑料的热力学性能

(1) 热塑性塑料在受热时的物理状态

热塑性塑料在受热时常存在的物理状态为玻璃态(结晶聚合物亦称结晶态)、高弹态和黏流态。图 1.3 所示为线型无定型聚合物和线型结晶型聚合物受恒定压力时变形程度与温度关系的曲线,也称热力学曲线。

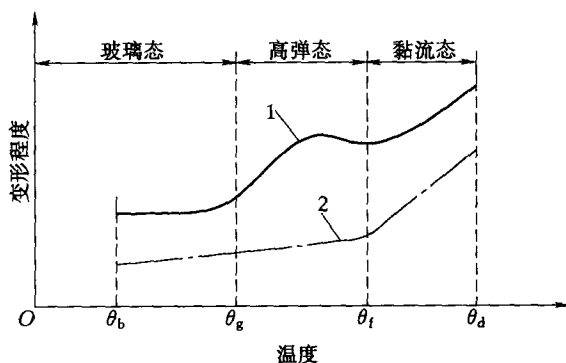


图 1.3 线型聚合物的热力学曲线

1—线型无定型聚合物; 2—线型结晶聚合物

1) 玻璃态

塑料在温度 θ_g 以下的状态是坚硬的固体,称之为玻璃态,它是大多数塑件的使用状态。处于此状态的塑料,在外力作用下分子链只能发生很小的弹性变形(服从胡克定律)。 θ_g 称为玻璃化温度,是聚合物从玻璃态转变为高弹态(或高弹态转变为玻璃态)的临界温度,也是合理选择塑料的重要参数,是多数塑料使用温度的上限。聚合物在 θ_g 以下还存在一个脆化温度 θ_b , 聚合物在此温度下受力很容易断裂,所以 θ_b 是塑料使用的下限温度。

2) 高弹态

当塑料受热温度超过 θ_g 时,由于聚合物的链段运动,塑料进入高弹态。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。从图 1.3 曲线 1 可以看到,线型无定型聚合物有明显的高弹态;而从曲线 2 可看到,线型结晶聚合物无明显的高弹态。这是因为,完

全结晶的聚合物无高弹态，或者说在高弹态温度下也不会有明显的弹性变形，但结晶型聚合物一般不可能完全结晶，都含有非结晶的部分，所以它们在高弹态温度阶段仍能产生一定程度的变形，只不过比较小而已。

3) 黏流态

当塑料受热温度超过 θ_f 时，由于分子链的整体运动，塑料开始有明显的流动，塑料开始进入黏流态变成黏流液体，通常也称之为熔体。塑料在这种状态下的变形不具可逆性质，一经成形和冷却后，其形状会永远保持下来。

θ_f 称为黏流化温度，是聚合物从高弹态转变为黏流态（或黏流态转变为高弹态）的临界温度。当塑料继续加热至温度 θ_d 时，聚合物开始分解变色。 θ_d 称为热分解温度，是聚合物在高温下开始分解的临界温度。 θ_f 是塑料成形加工重要的参考温度， $\theta_f \sim \theta_d$ 的范围越宽，塑料成形加工就越容易进行。

(2) 热固性塑料在受热时的物理状态

热固性塑料在受热时伴随着化学反应，它的物理状态变化与热塑性塑料明显不同。开始加热时，由于树脂是线型结构，和热塑性塑料相似，加热到一定温度时树脂分子链运动的结果使之很快由固态变成黏流态，这使它具有成形的性能。但这种流动状态存在的时间很短，很快由于化学反应的作用，分子结构变成网状，塑料硬化变成坚硬的固体。再加热分子运动仍不能恢复，化学反应继续进行，分子结构变成体型，塑料还是坚硬的固体。当温度升到一定值时，塑料开始分解。

2. 塑料的加工工艺性

塑料在受热时的物理状态决定了塑料的成形加工性能。

当温度高于 θ_g 时，塑料由固体状的玻璃态转变为液体状的黏流态即熔体。从 θ_f 开始分子热运动大大激化，材料的弹性模量降低到最低值，这时塑料熔体形变特点是，在不太大的外力作用下就能引起宏观流动，此时形变中主要是不可逆的塑性形变，冷却聚合物就能将形变永久保持下来。因此，这一温度范围常用来进行注射、挤出、吹塑和贴合等加工。

过高的温度将使塑料的黏度大大降低，不适当地增大流动性容易引起诸如注射成形中的溢料、挤出塑件的形状扭曲、收缩和纺丝过程中纤维的毛细断裂等现象。温度高到分解温度 θ_d 附近还会引起聚合物分解，以致降低产品物理力学性能或引起外观不良等。

不同状态下热塑性塑料的物理性能与加工工艺性能见表 1-1。

表 1-1 热塑性塑料在不同状态下的物理、工艺性能

状 态	玻 璃 态	高 弹 态	黏 流 态
温度	θ_g 以下	$\theta_g \sim \theta_f$	$\theta_f \sim \theta_d$
分子状态	分子纠缠为无规则线团或卷曲状	分子链展开，链段运动	高分子链运动，彼此滑移
物理状态	坚硬的固态	高弹态固态，橡胶状	塑性状态或高黏滞状态
加工可能性	可作为结构材料进行锉、锯、钻、车、铣等机械加工	弯曲、吹塑、真空成形、冲压等，成形后会产生较大的内应力	可注射、挤出、压延、模压等，成形后应力小

1.1.4 塑料在成形过程中的流动状态

1. 塑料熔体在简单截面导管内的流动

塑料熔体在成形过程中常常要流经各种导管(包括模具中的流道), 以使其受热、受压、冷却和定型。为了更好地设计模具, 制定合理的工艺条件, 了解并掌握塑料熔体在导管内流动时流速与压力降的关系, 以及沿着导管截面上的流速分布是很有必要的。下面简单分析塑料在两种简单截面导管内的流动情况。

(1) 在圆形导管内的流动

为了研究塑料熔体在圆形导管内的流动状况, 假设导管的半径为 R , 熔体在管内做等温稳定的层流运动, 且服从指数定律。取离管中心半径为 r 的流体圆柱体单元, 其长度为 L , 如图 1.4 所示。

当它在压力 p 的作用下, 由左向右移动时, 在流体层间产生摩擦力, 于是, 其中压力降 Δp 与圆柱体截面的乘积必等于切应力 τ 与流体层间接触面积的乘积, 即

$$\Delta p(\pi r^2) = \tau(2\pi rL)$$

所以切应力为

$$\tau = \frac{r\Delta p}{2L} \quad (1-1)$$

在管壁处

$$r = R, \quad \tau = \tau_w$$

则

$$\tau_w = \frac{R\Delta p}{2L} \quad (1-2)$$

即

$$\tau = \tau_w \frac{r}{R} \quad (1-3)$$

由此可以看出, 切应力在管中心为零, 逐渐增大, 至管壁处为最大值 τ_w 。据此进一步推导可以得出流速与压力降的关系为

$$v_r = \frac{nR}{1+n} \left(\frac{R\Delta p}{2KL} \right)^{\frac{1}{n}} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{1+\frac{1}{n}} \right] \quad (1-4)$$

式中 K ——液体稠度。

(2) 在扁形导槽内的流动

在等温条件下, 聚合物熔体经扁形导槽(扁槽)做稳定层流运动时, 其情况如图 1.5 所示。

在扁槽内以中心平面为中心取一矩形单元体, 其厚度为 $2y$, 宽度取一个单位长度, 长度为 L 。假定扁槽上下两面为无限宽平行面(扁槽宽度 W 应大于扁槽上下平行面距离 $2B$ 的 20 倍, 此时扁槽两侧壁对流速的减缓作用可忽略不计)根据压力与切应力的关系, 可得

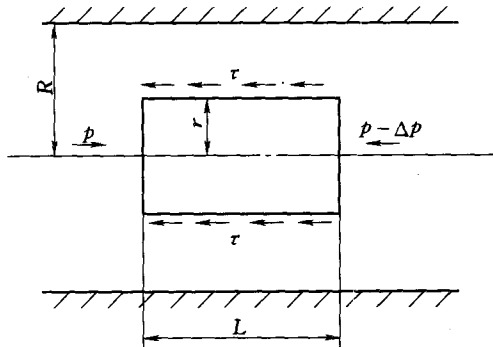


图 1.4 圆形导管中流动液体受力分析

$$\Delta p(2y \times 1) = \tau(1 \times L \times 2)$$

得

$$\tau = \frac{\Delta p}{L} y \quad (1-5)$$

从非牛顿指数规律 $\tau = K\left(\frac{dv}{dy}\right)^n$ 得

$$\frac{dv}{dy} = \left(\frac{\tau}{K}\right)^{\frac{1}{n}}$$

将式(1-5)代入上式并积分, 得距离中心平面为 y 的平面上任一点的流速与压力降的关系为

$$v_y = \left(\frac{\Delta p}{KL}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{n+1} \left[B^{\frac{n+1}{n}} - y^{\frac{n+1}{n}} \right] \quad (1-6)$$

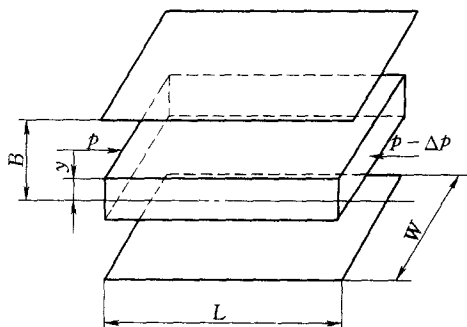


图 1.5 扁槽内流动液体受力分析

2. 塑料成形过程中的取向行为

所谓取向, 就是在应力作用下聚合物分子链倾向于沿应力方向作平行排列的现象。在塑料成形中, 取向可分为两种情况:

(1) 注射、压注成形塑件中固体填料的流动取向

聚合物中的固体填料也会在注射、压注成形过程中取向, 而且取向方向与程度取决于浇口的形状和位置, 如图 1.6 所示。可以看出, 填料排列的方向主要顺着流动的方向, 碰到阻力(如模壁等)后, 它的流动就改为与阻力成垂直的方向, 并据此定型。

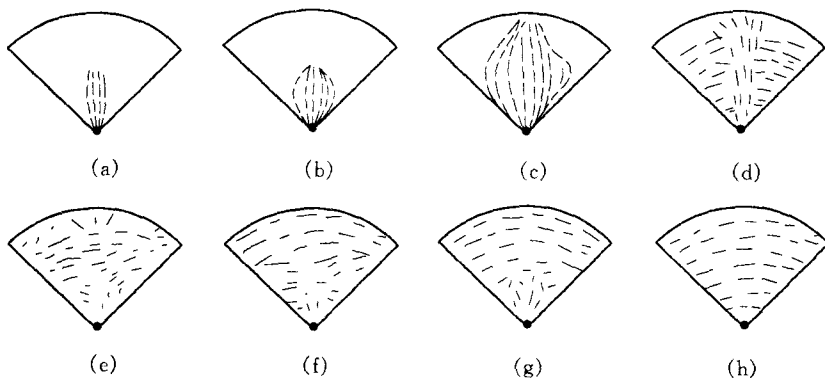


图 1.6 扇形薄片试样中填料的取向

(2) 注射、压注成形塑件中聚合物分子的流动取向

聚合物在注射和压注成形过程中, 总是存在熔体的流动。有流动就会有分子的取向。由于塑件的结构形态、尺寸和熔体在模具型腔内流动的情况不同, 取向结构可分为单轴取向和多轴取向(或称平面取向), 如图 1.7 所示。单轴取向时, 取向结构单元均沿着一个流动方向有序排列; 而多轴取向时, 结构单元可沿两个或两个以上流动方向有序排列。

分子取向会导致塑件力学性能的各向异性, 顺着分子定向方向(也称直向)上的机械强度和伸长率总是大于与其垂直方向(也称横向)上的。在塑料制件不同方向截取试样进行冲击实验, 就会得出上述结论。