

高等院校模具课系列教材

塑料成型工艺 模具设计

主编 ◆ 甘瑞霞

SULIAO CHENGXING
GONGYI YU MOJU SHEJI



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

主 审 钱健清



YZLI 0890089027

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺与模具设计/甘瑞霞主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2010.5

ISBN 978-7-5650-0216-8

I. ①塑… II. ①甘… III. ①塑料成型—工艺—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. ①TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 093148 号

塑料成型工艺与模具设计

主编 甘瑞霞

责任编辑 汤礼广

出版 合肥工业大学出版社
地址 合肥市屯溪路 193 号
邮编 230009
电话 总编室:0551-2903038
发行部:0551-2903198
网址 www.hfutpress.com.cn
E-mail press@hfutpress.com.cn

版次 2010 年 6 月第 1 版
印次 2010 年 6 月第 1 次印刷
开本 787 毫米×1092 毫米 1/16
印张 19.75
字数 450 千字
印刷 合肥工业大学印刷厂
发行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-0216-8

定价: 35.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换



前 言

塑料制品涉及国民经济和人民生活的各个方面,如机电、仪表、机械制造、汽车、家用电器、化工、建材、医疗卫生、农业、军事、航天工业等,人们对塑料模具开发、设计与制造水平及其要求也越来越高,模具设计与制造专业以及相关的材料成型与控制专业已成为国内热门专业。为满足社会对模具人才的迫切需要,培养更多和更优秀的工程技术人才,我们在总结多年教学实践经验的基础上特编写本教材。

本教材主要特点有:

- (1)紧扣课程教学要求,并明确列出各章学习重点及学习目标。
- (2)注重实践能力和职业技能训练,采用图文相配的形式,努力使理论与实践有机地结合起来。
- (3)贯彻“少而精”的原则,论述时力求言简意赅。
- (4)在教材内容的选择和编排上,注意内容的系统性、科学性和实践性。
- (5)本教材在每章内容的后面均有配套的不同类型的习题,便于教师根据教学实际选用,也有利于学生深入理解和巩固所学的内容。

本书可作为高职高专院校的模具设计与制造专业以及本科院校的材料成型与控制、机械设计与自动化、高分子科学与工程等专业的专业课教材,也是从事模具设计与制造的工程技术人员的实用参考书。

本书由蚌埠学院甘瑞霞老师主编并统稿。参加编写的有:蚌埠学院甘瑞霞老师(绪论、第五章)、安徽理工大学袁长颂老师(第一章、第二章、第六章)、安徽机电职业技术学院俞蓓老师(第三章、第四章、第十章)、淮南联合大学温莉娟老师(第七章)、安徽国防科技职业学院张



桂侠老师(第八章)、滁州职业技术学院张信群老师(第九章)。本书由安徽工业大学钱健清教授主审。

在编写本书的过程中,我们还得到了合肥工业大学材料科学与工程学院有关领导和老师的支持与帮助,所引用的各类参考资料也为本书增色不少,在此,对以上给予本书的编写和出版工作以各种帮助的人们表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编写水平有限,书中难免存在错误和不足,请读者给予斧正,以便今后改进。

编者

2010年6月

第一章 绪论

第一节 塑料的定义、分类及性能

第二节 塑料成型工艺的发展概况

第三节 塑料成型工艺的选择

第四节 塑料成型工艺的发展趋势

本章小结

习题一

第二章 塑料成型工艺基础

第一节 塑料成型工艺的基本概念

第二节 塑料成型工艺的基本原理

第三节 塑料成型工艺的基本设备

第四节 塑料成型工艺的基本操作

第五节 塑料成型工艺的基本安全

本章小结



目 录

绪 论	(1)
第一章 塑料成型基础知识	(5)
第一节 聚合物的分子结构	(5)
第二节 聚合物性质及成型过程中的变化	(6)
第三节 塑料的组成及分类	(11)
第四节 塑料成型的工艺性能	(15)
第五节 常用塑料简介	(21)
第二章 塑件的结构工艺性	(25)
第一节 塑件的尺寸、精度和表面粗糙度	(25)
第二节 塑件的几何形状及结构	(27)
第三节 塑件的螺纹和齿轮	(37)
第四节 嵌 件	(40)
第三章 注射成型原理及工艺特性	(46)
第一节 注射成型原理	(46)
第二节 注射成型工艺过程	(49)
第三节 注射成型工艺参数	(54)
第四节 塑料成型工艺规程的制订	(60)
第四章 注射模基本结构与注射机	(63)
第一节 注射模基本结构与分类	(63)
第二节 注射模与注射机	(70)
第五章 注射模设计	(85)
第一节 分型面及其选择	(85)
第二节 型腔数目的确定与排列方式	(89)
第三节 浇注系统设计	(91)
第四节 排气和引气系统设计	(108)
第五节 成型零件设计	(110)
第六节 合模导向机构设计	(123)



第七节 脱模机构设计	(129)
第八节 侧向分型与抽芯机构	(149)
第九节 温度调节系统设计	(166)
第十节 模架设计	(173)
第十一节 注射模设计实例	(182)
第六章 压缩成型工艺及模具设计	(194)
第一节 压缩成型工艺	(194)
第二节 压缩模的结构组成与分类	(199)
第三节 压缩成型设备与参数校核	(202)
第四节 压缩模具设计	(207)
第七章 压注成型工艺及模具设计	(225)
第一节 压注成型工艺	(225)
第二节 压注模的结构组成与分类	(229)
第三节 压注模具设计	(232)
第八章 挤出成型工艺及模具设计	(243)
第一节 挤出成型工艺	(243)
第二节 挤出机头概述	(247)
第三节 管材挤出机头设计	(256)
第九章 气动成型工艺与模具设计	(267)
第一节 中空吹塑成型	(267)
第二节 真空吸塑成型	(274)
第三节 压缩空气成型	(280)
第十章 模具 CAD/CAM/CAE 简介	(283)
第一节 模具 CAD/CAM/CAE 概述	(283)
第二节 CAD/CAM/CAE 常用软件简介	(286)
附录	(298)
参考文献	(309)



绪 论

一、模具与模具工业

模具是在合理的加工工艺参数、工艺条件下,利用其本身特定形状与成型设备,去成型产品零件的生产装备,是现代制造业中产品零件的成型工具或成型工艺装备。其成型加工具有以下特点:

- (1)加工效率高。
- (2)节约原材料(相对于切削加工)。
- (3)加工完成的零件具备高精度、高复杂程度、高一致性,并且互换性好。
- (4)由于模具必须针对制造业中产品零件的形状、尺寸以及精度和使用要求进行专门设计与制造,故模具又称定制型技术产品。

模具不仅是现代制造业中产品生产不可或缺的技术装备,而且已成为许多产品的核心工艺技术装备。在现代工业生产中,60%~90%的工业产品需要使用模具,模具在很大程度上决定产品的质量、效益和新产品的开发能力。随着国民经济总量和工业产品技术的不断发展,各行各业对模具的需求量越来越大,技术要求也越来越高,模具工业已成为工业发展的基础。例如,美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”,日本把模具誉为“进入富裕社会的原动力”,德国则将模具工业冠之为“加工工业中的帝国”,欧美其他发达国家称模具工业为“磁力工业”。

模具作为一种高附加值和技术密集型产品,其技术水平已成为衡量一个国家制造水平的重要标志之一,随着工业生产的不断发展,模具工业在国民经济中的地位日益提高并将会发挥越来越重要的作用。

二、塑料成型工业在生产中的重要地位

塑料作为一种新的工业材料,被不断地开发和应用,并已经成为金属的良好代用材料,出现了金属零件塑料化的趋势。塑料已部分地取代了纸张、玻璃、木材、金属、陶瓷、皮革及其他传统材料,成为四大工业材料(钢铁、木材、水泥和塑料)之一。

塑件成型生产大致包括产品设计、塑料选择、塑件成型、模具设计与制造四个环节。目前塑料制品已涉及国民经济和生活中的各个方面,如机电、仪表、机械制造、汽车、家用电器、化工、建材、医疗卫生、农业、军事、航天工业等。随着塑件的品种和需求量日益增加,塑料产品更新换代的周期越来越短,人们对塑件的质量要求越来越高,因此对塑料模具的开发、设计和制造水平的要求也不断提高。

塑料模具是指利用其本身特定密闭腔体去成型具有一定形状和尺寸的立体形状塑料制品的工具。模具是决定最终产品性能、规格、形状及尺寸精度的载体,塑件的质量与塑料成



型模具、塑料成型设备和塑料成型工艺相关。塑料成型模具的质量最为关键,它的功能是双重的:一是赋予塑料熔体以期望的形状、性能、质量;二是冷却并推出成型的制件。可见成型模具是使塑件成型生产过程顺利进行、保证塑件质量的不可缺少的工艺装备,是体现塑件成型设备高效率、高性能和先进塑件成型工艺的具体实施者,也是新产品开发的决定性环节。

据统计,目前塑料模具已占模具总量的 1/3 左右,与冲压模具大致相当。随着国民经济持续稳定发展,工业塑料制件和日用塑料制件的应用迅速增加,从事塑料模具设计与制造和塑料成型的各类企业越来越多,使塑料成型工业在基础工业中的地位以及对国民经济的影响越来越重要。

三、塑料成型及模具技术的发展动向

在塑料成型生产中,先进的模具设计、高质量的模具制造、优质的模具材料、合理的加工工艺和现代化的成型设备等是成型优质塑件的重要条件。分析国内外模具工业现状,可以发现塑料成型及模具技术大致有以下几个方面的发展趋势:

1. CAD/CAM/CAE 技术在模具设计与制造中的应用

经过多年的推广应用,模具设计“软件化”和模具制造“数控化”已经在模具企业中成为现实。CAE 技术可以在模具加工前,在计算机上对整个注射成型过程进行模拟分析,以便尽早发现问题,及时修改塑件和模具设计,而不是等到试模后再返修模具,减小返修成本。CAE 技术的使用是对传统模具设计方法的一次变革与突破,使模具分析智能化得以实现。

2. 模具加工技术发展趋势

开发优质模具材料,研制新设备,逐步推广高速铣削在模具加工中的应用。近年来发展的高速铣削加工,其主轴转速可达 $40000 \text{ r/min} \sim 100000 \text{ r/min}$,快速进给速度可达 $30 \text{ m/min} \sim 40 \text{ m/min}$,加工模具的硬度可达 60HRC。高速铣削加工与传统切削加工相比,具有加工效率高、温升低、热变形小等优点。高速铣削加工促进了模具加工技术的发展,特别是为大型塑料模具制造注入了新的活力。

3. 快速原型制造技术的应用

在现代模具制造中,可以不急于先加工难以测量和加工的模具的凸模和凹模,而是采用快速原型制造(RPM)技术先制造与实物相同的样品,分析该样品是否满足设计要求和工艺要求,然后再开发模具。快速原型制造(RPM)技术综合运用了计算机辅助设计技术、数控技术、激光技术以及材料科学最新发现的成果,采用了分层增材制造的新概念取代传统的取材或变形加工,是当代最具有代表性的制造技术之一。

4. 运用模具的快速测量技术与逆向工程

在产品的开发设计与制造过程中,设计者往往面对的并非是由 CAD 模型描述的复杂曲面实物样件,这就必须通过一定的三维数据采集方法,将这些实物原型转化为 CAD 模型,从而获得零件几何形状的数学模型,使之能利用 CAD、CAM、RPM 等技术进行管理和设计。这种从实物样件获取数学模型的相关技术,称为逆向工程或反求工程技术。对于复杂自由曲面的模具设计,可采用逆向工程。实物原型表面三维数据的快速测量是逆向工程的关键。三维数据采集可采用接触式(三坐标测量机和接触扫描测量)和非接触式(激光摄像法)方法进行。采用逆向工程技术可以缩短模具设计周期、提高模具的设计质量以及企业快速应变市场的能力。



5. 发展优质模具材料和先进的表面处理技术

模具材料的选用关系到模具的加工工艺、模具的使用寿命、塑件成型质量和加工成本等方面。目前已研制开发了具有良好的使用性能和工艺性能、热处理变形小、抗热疲劳性能好的新型模具材料。另外模具成型零件的表面处理技术发展也很快,如采用真空热处理、气相沉积、等离子喷涂等先进技术。

6. 提高模具标准化水平和模具标准件的使用率

模具标准化的水平在一定程度上体现一个国家模具工业发展的水平。采用标准化模架和使用标准化零件,对于提高模具设计和制造水平、提高模具质量和使用性能、缩短模具制造周期、降低成本、节约材料以及采用高新技术,都具有十分重要的意义。

四、塑料成型模具的分类

按照塑件成型方法不同,塑料成型模具通常可以分成以下几类:

1. 注射模

注射模又称注塑模。塑料注射成型是在金属压铸成型的基础上发展起来的,是将粒状或粉状的塑料原料加入注射机的料筒中,经过加热熔融成粘流态,然后在螺杆或柱塞的推动下,熔融塑料以一定的速度通过料筒前端的喷嘴射入闭合的模具型腔,并经保压、补缩和冷却定型后,打开模具,取出塑件。注塑模主要用于热塑性塑料制品的成型,近年来也越来越多地用于热固性塑料制品的成型,塑料注射成型是塑料成型生产中自动化程度最高、运用最为广泛的一种塑料成型方法。注射成型所用的设备是注射机。

2. 压缩模

压缩模又称压塑模。压缩成型是较早的塑件成型方法,将预热过的塑料原料直接经过加热的模具型腔内,在压力作用下,熔融塑料充满型腔,这时型腔中的塑料产生交联反应,逐步转变为不熔的硬化定型塑件。压缩模多用于热固性塑料制品的成型,塑料压缩成型与注射成型相比,塑料压缩成型周期较长、生产效率较低。压缩成型所用的设备是塑料成型压力机。

3. 压注模

压注模又称传递模。压注成型所用的设备与压缩成型相同,也主要用于固塑性塑料制品的成型,只是模具结构不同。

4. 挤出模

挤出模又称挤出机头。挤出成型是将热塑性塑料加热成为熔融状态,然后在一定压力作用下通过特定截面形状机头口模成型,并借助于牵引装置将挤出的塑料型材均匀拉出,同时冷却定型获得连续型材。挤出成型所用设备是挤出机。

5. 气动成型模

气动成型模是指利用气体作为动力介质成型塑件的模具。与其他模具相比较气动成型模具结构最简单,只有热塑性塑料才能用此方法成型。

五、课程的学习目的与要求

塑料成型工艺与模具设计是模具专业的一门重要的专业课,学习本课程应达到以下目的:

(1)了解塑料及其主要性能,能对塑件结构工艺性进行正确分析。



(2)掌握各种塑料成型方法、基本原理和特点。

(3)掌握常用塑料成型性能、塑料成型工艺编制方法。

(4)具备进行中等复杂塑料件的成型工艺编制、塑料模设计的能力。

(5)了解先进的塑料模具设计与制造技术。

本课程实践性强,在学习过程中应做到理论联系实际,注重培养分析问题与解决实际问题的能力,树立对生产负责的观念,同时多向有经验的工程技术人员请教,认真进行课程设计。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。

本课程主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法,并介绍塑料成型工艺与模具设计的前沿技术和最新成果。



第一章 塑料成型基础知识

【内容提要】 本章主要介绍了聚合物分子的结构特点;聚合物的热力学性能;聚合物的流变学性质;聚合物熔体在成型过程中的流动状态;聚合物在成型过程中的物理和化学变化;塑料的概念、成分、特性与用途;塑料成型的工艺性能;常见的塑料性能与用途。

【目标要求】 了解聚合物的基础知识及其成型时的物理化学变化;了解聚合物的热力学性能,聚合物的流变学性质,聚合物熔体在成型过程中的流动状态;掌握塑料的概念和常用塑料的使用性能;掌握热固性塑料和热塑性塑料的工艺性能。

第一节 聚合物的分子结构

聚合物在希腊语中是多单元物质的意思。它属于有机化合物,主要由碳原子和氢原子组成。与普通钢铁材料相比,聚合物在工程应用中具有一系列突出优点,如相对密度小、比强度大、绝缘性能好等。塑料、橡胶、合成纤维和高分子添加剂等都属于聚合物。

一、高分子聚合物的形成

高分子聚合物是指以由许多相同的简单的结构单元通过共价键重复连接而成的高分子量(通常可达 $10^4 \sim 10^6$) 化合物为主要组分的有机材料。

高分子化合物由低分子化合物通过聚合反应获得。组成高分子化合物的低分子化合物称作单体。高分子化合物中的原子连接成很长的线状分子或连接成线状但带有较长分支的,叫线型高分子(如聚乙烯的分子)。这种高分子在加热时可以熔融,在适当的溶剂中可以溶解。

如果高分子化合物中的原子连接成网状时,这种高分子由于一般都不是平面结构而是立体结构,所以也叫体型高分子(如酚醛塑料的分子)。体型高分子加热时不能熔融,只能变软;不能在任何溶剂中溶解,只能在某些溶剂中溶胀。

二、高分子聚合物的结构

高分子聚合物是由许多单个的高分子链聚集而成,它的分子结构有如下特点:

(1)它是长链分子。有机高分子化合物是通过聚合反应得到的,因此它具有很长很长的分子链。它们通过共价链连成不同的结构——线型、支链型、网状等,如图 1-1 所示。



图 1-1 高分子链骨架形状示意图

(2) 分子长链具有柔性。高分子链能改变其形态(构象)的性质称为柔顺性,简称柔性。也就是说柔性是从一种形态过渡到另一种形态的可能性,它是聚合物的许多性能不同于低分子物质的主要原因。

(3) 高分子链间一旦存在有交联结构,即使交联度很小,高聚物的物理力学性能也能发生很大的变化,主要是不溶不熔。

(4) 高聚物存在晶态和非晶态两种聚集态。高聚物的晶态比小分子晶态的有序程度差得多,但高聚物的非晶态却比小分子液态的有序程度高。这是由于高分子的分子移动困难,分子的几何不对称性大,致使高分子链的聚集体具有一定程度的有序排列。

第二节 聚合物性质及成型过程中的变化

一、聚合物的热力学性能

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。

1. 非晶态高聚物的热力学性能

如图 1-2 所示为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 1-2 中曲线 1 为非晶态高聚物的热力学曲线,根据曲线的变化特征,可以将非晶态高聚物按温度区域不同划分为三种力学状态:玻璃态、高弹态和粘流态。

(1) 玻璃态 当温度在 T_g 以下温度时,高聚物所有的分子链的运动都被“冻结”,弹性模量高,整个物质的状态是坚硬的固体,像玻璃那样,称为玻璃态,它是大多数塑件的使用状态。处于此状态的高聚物,受外力作用时,只能通过高分子主链键长、键角的微小改变来发生变形,所以变形度很小,同时在极限应力范围内变形是可逆的,即外力消失后,其变形也随之消失。在玻璃态状态下聚合物不能进行大变形成型,但可进行一系列的机械加工, T_g 是大多数塑料成型加工的最低温度,也是合理选用塑料的重要参数,是多数塑料使用温度的上限。在 T_g 以下某一温度,塑料受力容易发生断裂破坏,这一温度称为脆化温度,它是塑料使用温度的下限。

(2) 高弹态 当受热温度超过 T_g 时,由于聚合物的链段运动,高聚物进入高弹态。处于这一状态的高聚物类似橡胶状态的弹性体,仍具有可逆的形变性质。在这种状态下,可进行真空成型、中空成型、冲压、锻造等。但进行上述成型加工时,为得到所需形状和尺寸的塑



件,成型后必须将塑件迅速冷却到 T_g 以下温度,从图 1-2 中的曲线 1 可看到,线型非结晶型高聚物有明显的高弹态。

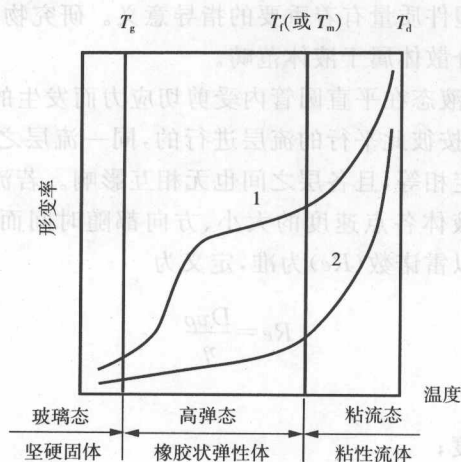


图 1-2 聚合物的聚集态与温度的关系

1—非结晶型树脂 2—结晶型树脂

T_g —玻璃化温度 T_f —非结晶型塑料粘流温度 T_d —分解温度 T_m —结晶型塑料熔点

(3)粘流态 当受热温度超过 T_f 时,由于分子链的整体运动,高聚物开始有明显的流动,开始由粘流态变成粘性流体,通常称之为熔体。在这种状态下可进行注射、挤出、吹塑等成型加工。当塑料继续加热,温度至 T_d 附近时,聚合物开始分解变色,所以 T_f 、 T_d 是塑料成型加工时重要的参考温度, $T_f \sim T_d$ 的范围越宽,其成型加工就越容易。

2. 晶态高聚物的热力学性能

图 1-2 中的曲线 2 为晶态高聚物的热力学曲线,可看到与非晶态高聚物的热力学曲线的不同之处,一是 T_f 对应的温度叫熔点 T_m ,是线型结晶型高聚物熔融与凝固的临界温度;二是线型结晶型高聚物在 T_g 与 T_m 之间基本不呈现高弹态,这对扩大聚合物的使用温度范围非常重要。

一般来说,线型结晶高聚物的结晶过程不可能很彻底,总有非结晶部分。由于非晶区的存在,非晶部分在不同温度下,也一样发生玻璃态与高弹态、高弹态与粘流态之间的转变。

随着结晶度的不同,结晶型高聚物的宏观表现是不同的,在轻度结晶的聚合物中,微晶体起着类似交联点的作用,这种聚合物仍然存在明显的玻璃化转变;随着结晶度的增加,非晶部分的高弹态的结晶聚合物的硬度将逐渐增加,当结晶度大于 40%,微晶体彼此衔接,形成贯穿整个材料的连续结晶相,此时结晶相承受的应力要比非结晶相大得多,使材料变硬,宏观上察觉不到它有明显的玻璃化转变。

综上所述,对于线型聚合物而言,玻璃态是材料的使用状态, T_g 是衡量材料使用范围的重要标志之一, T_g 越高其对环境的适应性越强。 T_f (T_m) 和 T_d 可用来衡量聚合物的成型性能, T_f (T_m) 低,有利于熔融,生产时耗能少; T_f (T_m) $\sim T_d$ 温度区间大时,聚合物的热稳定性好,可在较宽的温度范围内变形和流动而不分解,即 T_f (T_m) $\sim T_d$ 范围越宽,聚合物成型加工就越容易。



二、聚合物的流变性质

了解一些流变学的概念,对于恰当地选用塑料原料,正确地拟定成型工艺条件、设计模具和选择成型设备来提高塑件质量有着重要的指导意义。研究物质形变与流动的学科称为流变学。聚合物熔体及其分散体属于液体范畴。

由流体力学知识可知:液态在平直圆管内受剪切应力而发生的形式有层流和湍流两种。层流时,流体主体的流动是按彼此平行的流层进行的,同一流层之中的各点速度彼此相同,但各层之间的速率却不一定相等,且各层之间也无相互影响。若流速超过一定的临界值时,层流即转变为湍流。这时液体各点速度的大小、方向都随时间而变化,液体内部相互干扰严重。层流与湍流的分界点以雷诺数(Re)为准,定义为

$$Re = \frac{Dv\rho}{\eta} \quad (1-1)$$

式中: D ——导管直径;

v ——液体的平均速度;

ρ ——液体的密度;

η ——液体的剪切粘度。

通常,当 $Re < 2100 \sim 4000$ 时为层流, $Re > 40000$ 时为湍流。在塑料成型中,聚合物的 Re 一般小于 10, 聚合物分散体也不大于 2100, 所以应属于层流。

描述液体层流的牛顿定律是:当剪切应力 τ 于定温下加于两个相距 dr 的液体平行层面以相对速度 dv 移动时,其剪切应力与剪切速率 dv/dr (也称为应变速率、流变速率或速度梯度)之间呈下列线性关系:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dr} = \eta \dot{\gamma} \quad (1-2)$$

式中 η 为比例常数,统称为牛顿粘度,是物料的一种基本特性,取决于物料的分子结构和温度。凡液体层流时符合式(1-2)所示关系的称为牛顿流体,其流动关系为直线,如图 1-3 所示。

聚合物熔体的流动行为很复杂,成型中,熔体流动时剪切力和剪切速率不一定成比例关系,而且粘度也不是一常数,因而聚合物熔体和聚合物分散体的流动行为不符合牛顿定律,即为非牛顿型流体,用表观粘度来表征该类液体的特性。与牛顿粘度不同的是表观粘度在一定温度下随施加的剪切应力而变化。若忽略熔体的弹性,可将这种粘度的变化形式归为以下两个系统。

1. 粘性系统

这一系统在受力流动时的特性是:其剪切速率只依赖于所施加的剪应力大小,按其剪切应力—剪切速率的关系,又可分为宾哈流体、假塑型流体和膨胀型流体三种。

(1)宾哈流体 这种流体与牛顿流体相同的是:其剪切应力—剪切速率也表现为直线关

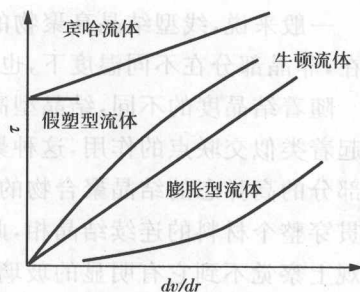


图 1-3 不同类型流体的流动曲线



系;不同的是:其流动只有当剪应力高到一定程度后才开始(如图 1-3 所示)。使液体产生流动的最小应力 τ_y ,称为屈服应力。

宾哈流体具有这种性质是因为液体在静止时内部存在凝胶型结构,使得流体流动前存在剪切屈服应力,当外加应力超过 τ_y 时完全崩溃。几乎所有聚合物在其他溶剂中的浓溶液和凝胶型糊塑料的流动都与这种流体接近。

(2)假塑型流体 这种流体是非牛顿流体中最普通的一种,它的流动曲线是非直线的(如图 1-3 所示),不存在屈服应力,流体的表观粘度随剪切应力的增加而下降。大多数聚合物熔体以及所有聚合物在其他溶剂中的溶液,其流动行为都倾向于这类假塑型流体。

(3)膨胀型流体 这种流体的流动曲线也是非直线的,不存在屈服应力。但与假塑型流体不同的是,它的表观粘度会随剪切应力的增加而上升(如图 1-3 所示)。属于这类的液体大多数是固体含量高的悬浮液。如处于高剪切速率下的聚氯乙烯糊塑料的流动行为就很接近这种液体。

2. 有时间依赖性的系统

属于这一系统的液体剪切速率不仅与所施加的剪切应力大小有关,而且还依赖于应力施加的时间长短。当所施加的剪切应力不变时,这种液体在恒温下的表观粘度会随施加应力持续时间而逐渐上升或下降。当上升或下降到一定值后就会停止,此时系统达到平衡。这种变化是可逆的,因为液体中的粒子或分子并没有发生永久性的变化。表观粘度随剪切应力持续时间下降的液体称为摇溶性液体,如涂料、石墨等聚合物的溶液属于这类的液体;表观粘度随剪切应力持续时间上升的称为震凝性液体,如石膏的水溶液属于此类。

在塑料成型过程中,所遇到的同一聚合物的熔体或分散体,由于条件不同,常会分别具有以上几种类型的行为。

几种主要塑料成型中,塑料所受剪切速率的范围见表 1-1。对于给定的塑料,若通过实验求得了这种剪切速率范围下的粘度数据(即流动曲线图),则对该种塑料在指定成型方法中的操作难易程度就能做出初步判断。例如在注射成型时,如果某一塑料熔体在加工温度范围内,剪切速率为 $10^5/s$ 的情况下测得其表观粘度为 $5 \text{ Pa} \cdot \text{s} \sim 500 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,则熔体在注射中不会发生困难。表观粘度过大时,模具的大小与设计就受到较大限制,塑件很容易出现缺陷;过小时,则溢模现象较严重,塑件质量也受到影响。

表 1-1 塑料在成型时的剪切速率范围

熔体的成型		糊塑料的成型	
成型方法	剪切速率范围	成型方法	剪切速率范围
压缩成型	$1 \sim 10$	涂层	$10^2 \sim 10^3$
混炼与压延	$10 \sim 10^2$	浇注与蘸浸	~ 10
挤压	$10^2 \sim 10^3$	——	——
注射成型	$10^3 \sim 10^5$	——	——

通常所见的熔融塑料的粘度范围为 $10 \text{ Pa} \cdot \text{s} \sim 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,分散体的粘度范围约为 $1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

值得注意的是,在塑料成型时,引起聚合物熔体流动的应力因素除了剪切应力外,还有拉伸应力,这里就有一个拉伸粘度的问题。不同原因引起的流动是有区别的,剪切应力引起



的流动是液体中的一个平面在另一个平面上的滑动;而拉伸应力引起的流动是一个平面内两个质点间的距离拉长。此外,拉伸粘度还随施加的拉伸应力是单向、双向而异,这是剪切粘度所没有的。

当施加的拉伸应力不大时,聚合物熔体的拉伸粘度并不随应力的大小而变化,如果拉伸应力是单向的,拉伸粘度的值约为剪切粘度的三倍;双向且相等时约为六倍。

对成型中物料所受拉伸应力的分析及由实验提供的拉伸粘度数据,在成型工艺和设备设计上都具有指导意义。如在吹塑薄膜或挤压中空容器型胚时,如果采用的是拉伸粘度随拉伸应力增大而上升的物料,则很少会使塑件或半成品出现应力集中或局部强度变弱的现象。反之,采用拉伸粘度随拉伸应力增大而下降的物料时,这种现象就易于发生,甚至导致塑件破裂。

三、聚合物在成型过程中的物理变化

聚合物在成型过程中发生的物理变化主要是结晶和取向。

1. 聚合物的结晶

根据聚合物从高温熔体向低温玻璃态冷却转变的过程中是否出现聚合物的分子链构型规则排列,可将其分为结晶型与非结晶型(无定型)。一般分子结构简单、对称性高或分子链节虽大,但分子间力也很大的聚合物,从高温向低温转变时均可结晶,如聚乙烯、聚四氟乙烯、聚甲醛等;对于分子刚性大或带有庞大侧基的聚合物一般很难结晶,如聚苯乙烯、聚砒等。

结晶型聚合物和非结晶型聚合物的物理和力学性能相差很大。通常结晶型聚合物具有耐热性、非透明性和较高的力学性能,而非结晶型聚合物则相反。另外高分子聚合物的结晶态与低分子物质的结晶态也有很大的差异,主要表现为晶体不整齐,结晶不完全,结晶速度慢以及没有明显的熔点等。

用结晶度来表征聚合物的结晶程度,聚合物所能达到的最大结晶度与其自身结构和外部条件有关。大多数聚合物的结晶度为 10%~60%,也有些聚合物可以达到更高的比例,如聚丙烯的结晶度可达到 70%~95%。通常结晶度大的塑料密度大,强度、硬度高,刚度、耐磨性好,耐化学性和电性能好;结晶度小的塑料柔软性、透明性好,伸长率和冲击韧度较大。

2. 聚合物的取向

聚合物高分子及其链段或结晶聚合物的微晶粒子在应力作用下形成的有序排列称为取向(定向)。根据应力性质不同,聚合物的取向分为两种:一是在切应力作用下沿着熔体流动的方向形成的流动取向;二是由拉应力引起的与应力方向一致的拉伸取向。无论何种取向都会引起各向异性,即沿取向方向的强度总是大于与其垂直方向的强度。

聚合物的取向性质已被广泛用于工业生产中,例如合成纤维中使用的牵伸工艺就是利用了取向机理来大幅度提高纤维的强度。

四、聚合物成型过程中的化学变化

聚合物在成型过程中发生的化学变化可分为大分子的交联与降解两类。

1. 聚合物的交联

大分子与大分子相联,使大分子从线型结构变成体型结构的过程,称为大分子的交联反