

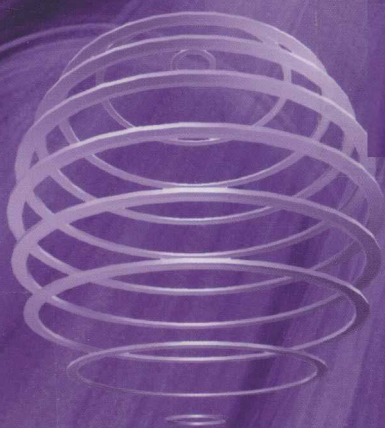


材料科学与工程综合实验教学系列教材

塑料注射成型 综合实验



华中科技大学 周华民 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

材料科学与工程综合实验教学系列教材

· 内容含告册创实、聚走麻器式创实、奇创器式创实、团目强英团强实合

册下出、册动主保寺册主保本册业寺器工工械样材对强等高册下计本

塑料注射成型综合实验

主编 周华民

参编 曾盛渠 黄志高

主审 李德群



机械工业出版社

www.cmpbook.com
http://www.cmpedu.com

(010) 88361066 中心在服社

(010) 88361066 第一册

(010) 88361066 第二册

(010) 88361066 第三册

(010) 88361066 第四册

(010) 88361066 第五册

(010) 88361066 第六册

(010) 88361066 第七册

(010) 88361066 第八册

(010) 88361066 第九册

(010) 88361066 第十册

本书论述了塑料注射成型工艺与模具的基本理论以及塑料注射成型综合实验的实验目的、实验仪器设备、实验方法和步骤、实验报告等内容。

本书可供高等院校材料加工工程专业的本科生和专科生使用,也可供研究生和从事塑料加工生产与科研开发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑料注射成型综合实验/周华民主编. —北京:
机械工业出版社, 2010. 8

材料科学与工程综合实验教学系列教材

ISBN 978-7-111-31487-5

I. ①塑… II. ①周… III. ①注塑-实验-高等学校
-教材 IV. ①TQ320.66-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第151327号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:冯春生 责任编辑:冯春生

版式设计:张世琴 责任校对:程俊巧

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2010年10月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·6印张·126千字

标准书号:ISBN 978-7-111-31487-5

定价:12.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

序

材料是重要的。材料的进步是科学技术进步的先导。可以说,没有材料就没有世界。材料的研究、制备与加工是影响国家竞争力的关键领域,许多关系到国计民生的重大工程和核心装备的限制性环节往往归结到材料及材料加工上。然而,从本质上讲,这些问题能否科学合理地解决,取决于该领域人才的水平与能力。因此,如何培养合格的材料学科人才,特别是培养具有创新精神、实践能力、高素质的材料学科人才是高等学校面临的一个重要课题。

近些年来,华中科技大学材料科学与工程学院在实践教学方面进行了有益的探索,先后承担了教育部“人才培养模式创新实验区”、湖北省“材料学科综合性、开放性实验平台建设的研究与实践”等教学改革项目,目的是研究建立适合新形势下的材料学科创新性、综合性实践教学体系,探索行之有效的实施办法,提高人才培养质量。而提高教学质量是高等学校面对的主要课题。

改革的主要措施之一是在本科实验教学中,建立专门的本科实验教学中心,科学合理地整合本科课程的教学实验,形成了10门独立的综合性实验课程,独立考核、单独记学分。这些独立设课的实验课程涵盖了数门理论课程,使传统依附在理论教学的演示性实验转变为以培养学生动手能力、分析能力及创新能力的综合性实验,显著地提升了实验教学的地位,体现了实验教学在人才培养中的重要作用。

在上述背景下,华中科技大学材料科学与工程学院与机械工业出版社合作,编写出版了本套材料科学与工程综合实验教学系列教材,目的是更好地服务于实验教学,不断提高实践教学质量。该系列教材最大的特点就是将材料学科的某一领域(如材料连接、塑料注射成型、金属塑性成形等)的相关实验项目进行提炼,形成各自独立又彼此相关的综合性实验。在编写过程中,还特别注意基础性实验与创新性实验相结合,在切实保障学生达到基本要求的前提下,尽量为培养学生的创新精神与锻炼学生的动手能力提供条件。

我相信,该套综合实验教学系列教材的出版,有助于有效地提高学生的创新、实践能力,对深化材料学科的教学改革、提升人才培养质量具有重要的意义。当然,任何一事物,不可能完美无缺,我也和作者一样,希望读者能对本系列教材的不足之处提出批评与建议。

谨为之序。

中国科学院院士

杨叔子

前言

塑料制品在国民经济和人民日常生活中的各个领域都得到了日益广泛的应用，早在20世纪90年代初，塑料的年产量（按体积计算）就已经超过钢铁和有色金属年产量的总和。塑料成型已成为材料加工的重要组成部分，其中注射成型在塑料加工行业中又占有最重要的地位，世界塑料模具产量中约半数以上是注射模。学习、掌握注射模设计及注射成型生产的相关知识已成为材料加工工程专业本科生的必备环节，也是适应市场的要求。

注射模设计及注射成型生产技术具有很强的实践性，只通过课堂的理论教学很难让学生有感性的认识，通过综合实验有利于深化学生对课堂书本理论知识的理解与掌握，并在毕业后的工作中尽快成为优秀的设计技术人员。教育部在《关于进一步深化本科教学改革全面提高教学质量的若干意见》中提出了“高度重视实践环节，提高学生实践能力”的精神，而独立开设综合实验教学课是落实这一精神的重要举措。为此，华中科技大学材料科学与工程学院组织有关教师编写了材料科学与工程综合实验教学系列教材，《塑料注射成型综合实验》是该系列教材中的一本，是作为与普通高等教育“十一五”国家级规划教材《材料成形工艺》（第2版）、普通高等教育“十五”国家级规划教材《模具设计基础与CAD》以及其他相关教材配套的实验教学教材。

实验教学教材与以前的实验指导书的不同与创新之处主要有两点：其一是，它将从前的单纯验证性实验转变为验证和研究相结合的综合性实验；其二是，实验前有基本理论的论述，而这个基本理论部分与课堂教学的相关理论保持一致并互为补充，使实验教学既相对独立以提高实验教学的地位与重要性，又与课堂教学形成完整而统一的体系。其目的在于培养学生的综合分析与创新的能力。

本书首先介绍了塑料注射成型工艺与模具的基本理论，包括塑料的性能与工艺特性、注射成型工艺及注射模、注射模的基本结构、注射机、注射机操作。在此基础上，本书介绍了“注射模拆装实验”、“注射成型加工实验”两个综合实验的实验目的、实验仪器设备、实验方法和步骤、实验报告等内容，并在附录中提供了这两个实验的实验指导、实验注意事项和实验报告蓝本，以方便教学。

本书由华中科技大学周华民主编，具体内容有周华民、曾盛渠、黄志高三人编写。本书由华中科技大学李德群教授主审。

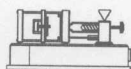
鉴于作者水平有限，书中难免有疏漏和不当之处，诚请读者批评指正。

编者



目 录

序	塑料注射成型工艺与模具的基本理论	1
前言	塑料注射成型工艺与模具的基本理论	1
第一部分 塑料注射成型工艺与模具的基本理论		
第一章 塑料的性能与工艺特性		1
第一节 塑料的性能和用途		1
第二节 塑料的组成和分类		2
第三节 塑料的工艺特性		5
第二章 注射成型工艺及注射模		10
第一节 注射成型工艺过程		10
第二节 注射成型工艺的影响因素		13
第三节 常用塑料及其注射成型工艺		17
第四节 注射模的基本结构		20
第三章 注射机		27
第一节 注射机简介		27
第二节 安全与操作		30
第三节 开机与试模		42
第四章 注射机操作		46
第一节 操作面板说明		46
第二节 主要的操作界面说明		49
第三节 警报说明及故障排除		61
第二部分 塑料注射成型综合实验		
第五章 实验概述		65
第六章 注射模拆装实验		67
第一节 实验目的		67
第二节 实验仪器设备		67
第三节 实验方法和步骤		75
第四节 实验报告		79



第七章 注射成型加工实验	80
第一节 实验目的	80
第二节 实验仪器设备	80
第三节 实验方法和步骤	82
第四节 实验报告	85
附录	86
附录 A 模具拆装实验注意事项	86
附录 B 注射成型加工实验注意事项	86
参考文献	88

第一部分

塑料注射成型工艺与模具的基本理论

第一章 塑料的性能与工艺特性

第一节 塑料的性能和用途

不同品种的塑料具有不同的性能和用途。综合起来，塑料具有如下性能及用途：

1. 质量轻

一般塑料的密度与水相近，大约是钢的 $1/6$ 。虽然塑料的密度小，但它的机械强度比木材、玻璃、陶瓷等要高得多，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、船舶和飞机有着特别重要的意义。由于质量轻，塑料特别适合制造轻巧的日用品和家用电器零件。

2. 比强度高

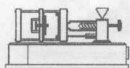
如果按单位重量计算材料的抗拉强度（称之为比强度），塑料并不逊于金属，有些塑料如工程塑料、碳纤维增强塑料等，还远远超过金属。所以一般塑料除制造日常用品外，还可用于工程机械中。纤维增强塑料可用负载较大的结构零件。塑料零件在运输工具中所占比例越来越大。目前，在小轿车中塑料的重量约占整车重量的 $1/10$ ，而在宇宙飞船中塑料的体积约占飞船总体积的一半。

3. 耐化学腐蚀能力强

塑料对酸、碱、盐等化学物质均有耐腐蚀能力。其中，聚四氟乙烯是化学性能最稳定的塑料，它的化学稳定性超过了所有的已知材料（包括金与铂）。最常用的耐腐蚀材料硬聚氯乙烯，可以耐 90% 的浓硫酸、各种盐酸及碱液，被广泛用来制造化工管道及容器。

4. 绝缘性能好

塑料对电、热、声都有良好的绝缘性能，被广泛地用来制造电绝缘材料、绝热保温材料以及隔声吸声材料。塑料优越的电气绝缘性能和极低的介电损耗性能，可以与陶瓷



和橡胶媲美。除用作绝缘外,现又制造出半导体塑料、导电磁塑料等,它对电子工业的发展具有独特的意义。

5. 光学性能好

塑料的折光率较高,并且具有很好的光泽。不加填充剂的塑料大都可以制成透光性良好的制品,如有机玻璃、聚苯乙烯、聚碳酸酯等都可制成晶莹透明的制品。目前这些塑料已广泛地被用来制造玻璃窗、罩壳、透明薄膜以及光导纤维材料。

6. 多种防护性能

上述塑料的耐化学腐蚀性能、绝缘性能等,皆体现出塑料对其他物质的防护性,塑料还具有防水、防潮、防辐射、防振等多种防护性能,被广泛地用来制造食品、化工、航天、原子能工业的包装材料和防护材料。

应该指出的是,塑料也存在着一些缺点,在应用中受到一定的限制。一般塑料的刚性差,如尼龙的弹性模量约为钢铁的 $1/100$ 。塑料的耐热性差,在长时间工作的条件下一般使用温度在 100°C 以下,在低温下易形裂。塑料的热导率只有金属的 $1/200 \sim 1/600$,这对散热而言是一个缺点。若长期受载荷作用,即使温度不高,塑料也会渐渐产生塑性流动,即产生“蠕变”现象。塑料易燃烧,在光和热的作用下性能容易变坏,发生老化现象。所以,在选择塑料时要注意扬长避短。

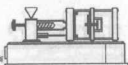
第二节 塑料的组成和分类

塑料是一类以合成树脂为基本成分,加入一定量不同添加剂的混合物,在一定温度、压力和时间下能制成规定形状和尺寸且具有一定功能的制品。

合成树脂是高分子聚合物,其分子由无数个单体单元构成,这些单体单元称之为链节。与低分子化合物不同,高分子聚合物的每个分子中可以包含数百、数千、数万乃至数十万个链节,因此高分子聚合物的相对分子质量可以是数万、数十万到数百万。这些链节相互连接构成很长的链状分子,热塑性塑料的链状分子在加热前和加热后只是互相缠绕并不以化学链相连接,通常称为线型聚合物。热固性塑料在加热开始时也具有链状结构,但在受热后这些链状分子通过交联后应逐渐结合成三维的网状结构,成为既不熔化又不溶解的物质,通常称为体型聚合物。

聚合物大分子中所含链节数称为聚合度。同一种聚合物的各个大分子,聚合度会有很大差别,通常称为相对分子质量的多分散性。这是由于在生成聚合物时,受诸多复杂因素的影响,分子链的增长是一个随机过程,各个大分子的链长会有较大差别。因此,聚合物的相对分子质量总是用平均值来表示。同一种聚合物的平均相对分子质量相同,但相对分子质量的多分散性也会有差别。平均相对分子质量及其多分散性对聚合物的许多性能,特别是对其力学性能有着重要影响。平均相对分子质量越大,力学性能越好;平均相对分子质量相同,相对分子质量多分散性越小,力学性越好。

根据需要,在合成树脂中加入其他成分的助剂,可以改善或调节塑料的性能。常用



的助剂有填料、增强剂、增塑剂、润滑剂、着色剂、抗氧剂、光稳定剂、固化剂、阻燃剂等。并非所有塑料中都必须加入上述助剂，而是根据塑料的预定用途和树脂的基本性能有选择性地加入某些助剂。以同一树脂为基础的塑料，所含助剂品种和数量不同，性能也有很大差别，这就使得塑料的品种、品级出现了性能的多样化和应用的广泛性。

塑料的品种繁多，通常可按如下方法分类：

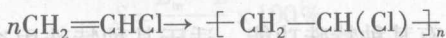
1. 按受热时的行为分为热塑性塑料和热固性塑料

热塑性塑料加热时变软，冷却时变硬，其过程是可逆的，能够反复进行。聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲醛、聚碳酸酯、聚酰胺（尼龙）、丙烯酸类、其他聚烯烃及其共聚物、聚砜、聚苯醚等都是热塑性塑料。热塑性塑料中聚合物的分子链都是线型或带支链结构，分子链之间无化学键产生，加热时软化流动和冷却变硬的过程都是物理变化。

热固性塑料第一次加热时可以软化流动，加热到一定温度时产生化学反应，交联固化而变硬，其过程是不可逆的，再次加热已不能再变软。热固性塑料的聚合物在固化前是线型或带支链的结构，固化后分子链之间形成化学键，成为三维的网状结构。酚醛、脲醛、三聚氰胺、环氧、不饱和聚酯、有机硅等塑料，都是热固性塑料。

2. 按反应类型分为加聚型塑料和缩聚型塑料

由低分子单体合成聚合物的反应称为聚合反应。单体加成聚合起来的反应称之为加聚反应，例如由氯乙烯聚合成聚氯乙烯的反应为



由加聚反应生成的聚合物称为加聚物。反应过程中无低分子产物释出，其元素组成与单体相同，加聚物相对分子质量是单体相对分子质量与聚合度的乘积。聚烯烃、聚卤代烯烃、聚苯乙烯、聚甲醛、丙烯酸类等塑料都属于加聚物。加聚型塑料都是热塑性塑料。

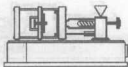
若在反应过程中，除形成聚合物外，同时还有低分子副产物形成，则此种聚合反应称为缩聚反应，其产物亦称为缩聚物。由于有低分子副产物析出，所以缩聚物的元素组成与相应的单体不同。例如己二胺与己二酸之间的缩聚反应可表示为



反应中析出低分子水，生成的主链中含 N 个聚酰胺。聚酰胺、聚碳酸酯、聚苯醚、聚砜、酚醛、环氧、氨基塑料等都是缩聚型塑料。缩聚型塑料的部分品种是热固性塑料，另一部分品种为热塑性塑料。

3. 按大分子排列状态分为无定形塑料和结晶型塑料

无定形塑料的聚合物大分子的排列是无序的。这种塑料由于聚合物分子链的结构特点或者是成型过程中工艺条件的限制，分子链不会产生有序的整齐堆砌形成结晶结构，而呈现无规则的随机排列。属于无定形的常用塑料，如聚苯乙烯、聚碳酸酯、聚氯乙烯、ABS 等。



结晶型塑料的聚合物大分子呈三维有序排列。在熔融状态冷却成为制品的过程中,聚合物的分子链能够有序地紧密堆砌产生结晶结构。结晶型塑料不像低分子晶体那样能产生 100% 的结晶度,一般结晶度在 10% ~ 60%,称之为半结晶。聚合物大分子链呈无定形相与结晶相共存的状态。成型条件对结晶度和晶态结构有明显影响。结晶结构只存在于热塑性塑料中。属于结晶型的常用塑料如聚乙烯、聚丙烯、聚四氟乙烯、尼龙、聚甲醛等。

4. 按性能和应用范围分为通用塑料、工程塑料和特种塑料

通用塑料是指生产量大、货源广、价格低、适于大量应用的塑料。通用塑料具有良好的成型工艺性,可采用多种成型工艺生产出各种不同用途的制品。聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯和酚醛塑料被称为五大通用塑料,其他聚烯烃、乙烯基塑料及其共聚物与改性材料、丙烯酸塑料和氨基塑料等也都属于通用塑料。

工程塑料是指那些具有突出力学性能和耐热性,或优异耐化学试剂、耐溶剂性,或在变化的环境条件下可保持良好的绝缘介电性能的塑料。工程塑料一般可以作为承载结构件,高温环境下的耐热件和承载件,高温条件、潮湿条件、大范围变频条件下的介电制品和绝缘用品。工程塑料的生产批量小,价格也较昂贵,用途范围相对狭窄,一般都是按某些特殊用途生产一定批量的材料。工程塑料主要品种有聚酰胺(尼龙)、聚碳酸酯、聚甲醛、聚苯醚、ABS、PET、聚砒、氟塑料、超高相对分子质量聚乙烯、环氧塑料和不饱和聚酯等。

特种塑料是指那些具有某种特殊功能,适于某种特殊用途的塑料,例如用于导电、压电、热电、导磁、感光、防辐射、光导纤维、液晶、高分子分离膜、减摩耐磨用途等塑料。

由于塑料的名称大都冗长繁琐,说与写均不方便,所以常用国际通用的英文缩写字母来表示。表 1-1 为常用的塑料名称及英文代号。

表 1-1 常用的塑料名称及英文代号

塑料种类	塑料名称	代号
热塑性塑料	聚乙烯	PE
	高密度聚乙烯	HDPE
	低密度聚乙烯	LDPE
	聚丙烯	PP
	聚苯乙烯	PS
	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物	ABS
	聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)	PMMA
	聚苯醚	PPO
	聚酰胺(尼龙)	PA(N)
	聚砒	PSF
	聚氯乙烯	PVC
	聚甲醛	POM
	聚碳酸酯	PC



(续)

塑料种类	塑料名称	代号
热固性塑料	酚醛	PF
	脲醛	UF
	三聚氰胺甲醛	MF
	环氧	EP
	不饱和聚酯	UP

第三节 塑料的工艺特性

本节着重讲述塑料的收缩性、流动性、结晶性及其他工艺性能。

一、塑料的收缩性

塑料制品从模具中取出发生尺寸收缩的特性称为塑料的收缩性。因为塑料制品的收缩不仅与塑料本身的热胀冷缩性质有关，而且还与模具结构及成型工艺条件等因素有关，所以通常所指的塑料的收缩性实际上是指塑料制品的成型收缩性能。

塑料的收缩性可用塑料制品的收缩率表示。收缩率定义为

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

式中 S ——塑料的收缩率 (%)；

L_m ——模具型腔尺寸 (mm)；

L ——收缩后塑料制品的尺寸 (mm)。

由式 (1-1) 可得

$$L_m = \frac{L}{1 - S} = L(1 + S + S^2 + S^3 + \dots) \quad (1-2)$$

由于塑料的收缩率 S 一般为 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ 数量级，略去式 (1-2) 右边 S 的平方项和高次方项，有

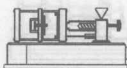
$$L_m = L(1 + S) \quad (1-3)$$

式 (1-3) 即为由给定的塑料制品尺寸和收缩率计算模具型腔尺寸的基本关系式。

塑料的收缩率数据是以标准试样实测得到的。部分常用热塑性塑料的收缩率见表 1-2。

表 1-2 部分常用热塑性塑料的收缩率

成型物料			线膨胀系数 / $10^5 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	收缩率 (%)
	塑料名称	填充材料		
结晶型	聚乙烯(低密度)	—	10.0 ~ 20.0	1.5 ~ 5.0
	聚乙烯(中密度)	—	14.0 ~ 16.0	1.5 ~ 5.0
	聚乙烯(高密度)	—	11.0 ~ 13.0	2.0 ~ 5.0



(续)

	成型物料		线膨胀系数	收缩率(%)
	塑料名称	填充材料	$/10^5\text{℃}^{-1}$	
结晶型	聚丙烯	—	5.8~10.0	1.0~2.5
	聚丙烯	玻璃纤维	2.9~5.2	0.4~0.8
	聚酰胺(b)	—	8.3	0.6~1.4
	聚缩醛	20% 玻璃纤维	3.6~8.1	1.3~2.8
无定型	聚苯乙烯(通用)	—	6.0~8.0	0.2~0.6
	聚苯乙烯(抗冲击型)	—	3.4~21.0	0.2~0.6
	聚苯乙烯	20%~30% 玻璃纤维	1.8~4.5	0.1~0.2
	ABS(抗冲击型)	—	9.5~13.0	0.3~0.8
	ABS	20%~40% 玻璃纤维	2.9~3.6	0.1~0.2
	聚碳酸酯	—	6.6	0.5~0.7
	聚碳酸酯	10%~40% 玻璃纤维	1.7~4.0	0.1~0.3
	聚氯乙烯(硬质)	—	5.0~18.5	0.1~0.57

从表中可见,塑料收缩率的绝对数值一般在 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ 的数量级,比金属、玻璃、陶瓷大1~2个数量级。收缩率绝对值大对塑料制品成型不利,容易造成制品的表面凹陷和内部缩孔,特别是当制品壁厚较大时,会使制品的内应力较大而产生翘曲。从表中还可看出,所有塑料的收缩率都不是一个固定不变的数值,而是在一定范围内变化。在实际成型时不仅不同品种的塑料收缩率不同,而且不同批次的同一品种塑料或者同一制品的不同部位的收缩率也经常不同。收缩率的大小不仅与聚合物相对分子质量大小、相对分子质量分散度有关,更与成型时工艺参数的选择有关。收缩率波动使生产中难以控制制品尺寸,难于生产高精度尺寸的塑料制品。收缩率波动也使计算模具型腔尺寸时准确选取收缩率变得困难。

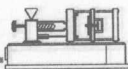
影响塑料收缩率的因素可以从以下三个方面来分析:

1. 成型工艺参数的影响

成型工艺参数中影响最大的因素当属成型压力。提高压力可以导致塑料制品密度增加,使收缩率减小。

提高物料温度,会使塑料制品体积膨胀而使压入型腔的物料减少,收缩率增大,但物料温度的升高、粘度减小却有利于向型腔内传递压力,收缩率又减小,最终收缩率的大小取决于这两种效应的综合影响。一般,粘度对温度变化敏感的塑料,后一种效应影响大,致使收缩率减小;粘度对温度变化不敏感的塑料,前一种效应影响大,导致收缩率增大。

提高模具温度,一般会使收缩率增大,特别是对于结晶型塑料。延长保压时间,可以使收缩率减小。但是一旦浇口已经封闭,再延长保压时间也不会对收缩率有影响。



2. 塑料制品结构的影响

制品壁厚增大,收缩率增大。同一制品壁厚较大部位的收缩率总是大于壁厚较小部位。制品收缩受到阻碍方向的收缩率总比无阻碍方向要小,例如带通孔制品的孔方向收缩率要小于其轴向收缩率,靠近嵌件部位的收缩率要小于远离嵌件部位的收缩率。形状复杂制品的收缩率要小于形状简单制品的收缩率。流动方向与垂直于流动方向的收缩率也有明显差别。一般地,流动方向收缩率大于垂直于流动方向的收缩率。

3. 模具结构的影响

模具结构对收缩率主要的影响因素是浇注系统的设置,包括浇口位置、浇口截面积和浇口数量。浇口的数量和开设的位置不同,熔体进入型腔后的流向和流程便不同,使聚合物分子链取向方向和程度不同,不仅影响到收缩率大小,还影响到制品各部位和各方向收缩率的差别程度。浇口截面积大,有利于传递压力和补料,使收缩率减小。但采用截面积大的浇口,要求有相应的较长保压时间,以便使浇口处熔体凝固,否则过早地结束保压,会因浇口尚未冻结封闭而使熔体从型腔内倒流至浇口外,反而会增大收缩率并引起制品的其他缺陷。制品远离浇口部位的收缩率要比靠近浇口部位的收缩率大。

模具温度调节系统的设置有助于保持模具温度的恒定,能减少收缩率的波动。在可能的情况下采用较低的模具温度可以减小收缩率。

二、塑料的流动性

所有塑料都是在熔融状态下加工成型的,流动性是塑料成型过程中应具备的基本特性和标志。流动性好的塑料容易充满复杂的型腔并获得精确的形状。热塑性塑料的流动性常用熔体流动速率指数来表征,简称熔融指数(MI)。熔融指数是将塑料在规定温度下使之熔融并在规定压力下从一个规定直径和长度的仪器口模中挤出,在10min内挤出的材料克数,即g/10min。熔融指数值越大,材料流动性越好。由于材料的流动性与聚合物的相对分子质量有关,相对分子质量越大,流动性越差。因此,熔融指数用于定性地表示相对分子质量的大小,成为热塑性塑料规定品级的重要数据。同一种品种的塑料材料,规定出各种不同的熔融指数范围,以满足不同成型工艺的要求。

熔融指数测量仪虽然具有结构简单、使用简便等优点,但测试时熔体的剪切速率仅在 $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 范围内,属于低剪切速率下的流动,远比塑料注射成型加工中通常的剪切速率 $10^2 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ 的范围要低。因此,通常测量的熔融指数并不能说明注射成型时塑料熔体的实际流动性能。

采用毛细管流变仪可测得剪切速率在 $10^1 \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$ 范围内的熔体表观粘度。粘度是描述塑料流动行为的最重要参数,在塑料注射成型计算机模拟技术中已广泛应用。毛细管流变仪的工作原理也十分简单,塑料熔体在流变仪料筒内保持恒温并被压入规定内径和长度的毛细管内,通过测量其流量和压力降便可获得其表观粘度值。

一般可将常用的热塑性塑料的流动性分为三类:



1. 流动性好

如聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、尼龙、醋酸纤维素等。

2. 流动性较好

如有机玻璃、聚甲醛、改性聚苯乙烯 (ABS、AS、HIPS) 以及氯化聚酯等。

3. 流动性差

如聚碳酸酯、硬聚氯乙烯、聚砜、聚芳砜、聚苯醚等。

热固性塑料的流动性测试方法与热塑性塑料类似, 但又不完全相同。最常用的有拉西格流动性和螺旋流动长度测试两种。拉西格流动性以在规定温度和压力下, 将塑料配料从规定口径和长度的拉西格流动仪中在规定时间内挤出的长度 (mm) 来表示, 其值越大塑料的流动性越好。螺旋流动长度测试是将塑料配料装入一个标准的传递模加料室中, 模具的型腔呈螺旋状。在规定的温度、压力和时间内, 在柱塞的挤压下, 塑料通过流道被挤入螺旋状型腔的长度即为该塑料的螺旋流动长度, 其值越大, 流动性越好。拉西格流动性和螺旋流动长度都是热固性塑料配料在规定条件下对熔融塑化、熔体粘度、凝胶速率等综合特性的一个量度。

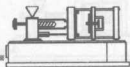
三、塑料的结晶性及其他工艺性能

如前所述, 高分子聚合物按其分子结构可分为结晶型和无定形两类。用 X 射线衍射方法研究发现, 尽管许多聚合物并不具有很规则的宏观外形, 但却包含着许多微小晶粒, 这些晶粒内部结构与普通晶体类似, 具有三维远程有序的特征。通过规则的折叠方式, 长径比很大的链状分子整齐地排列成微小晶粒。聚合物结晶结构的基本单元为薄片, 称之为片晶。在一定条件下, 无数片晶可以一个结晶中心向四面八方生长, 发展成球状的多晶聚集体, 称之为球晶。球晶在热塑性塑料的制品中是一种最常见的结晶结构单元。

聚合物能否结晶取决于分子链结构的规整性, 只有具有充分规整结构的聚合物才能形成结晶结构。因此, 只有那些具有高度规整结构的线性或带轻微支链结构的热塑性聚合物才有可能结晶。热固性聚合物由于具有三维网状结构, 根本不可能结晶。热塑性聚合物中, 那些分子链上含有不规则排列的侧基, 或者分子链是由两种单体共聚生成, 而两种单体又以随机方式排列, 都大大减小了结晶的可能性。聚合物是否容易结晶, 还与分子链的柔性有关, 柔性越好, 结晶越容易, 因为其柔性有助于结晶时分子链的重排与折叠。

聚合物的结晶与低分子物质的结晶有着很大区别。聚合物结晶速度慢, 结晶不完全, 晶体不整齐。由于结晶不完全, 结晶型塑料不像低分子结晶化合物那样具有明确的熔点, 结晶型塑料的熔化是在比较宽的温度范围内完成的, 其完全熔化时的温度被称为熔点。熔点和熔化温度随着聚合物的结晶程度变化, 结晶程度高的熔点较高。

聚合物结晶的不完全性, 通常用结晶度来表示, 一般聚合物的结晶度为 10% ~ 60%。由于聚合物达到完全结晶时所需时间太长, 有的需要几年甚至几十年的时间, 因



此通常将结晶度达到 50% 时的倒数作为评定各种聚合物结晶速度的标准。

能够结晶的常用塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚四氟乙烯、尼龙、聚甲醛等。无定形的常用塑料有聚苯乙烯、ABS、有机玻璃、聚砜、聚碳酸酯等。

结晶型塑料在注射成型时有如下特点：

1) 结晶型塑料必须要加热至熔点以上才能达到软化状态。由于结晶熔解需要热量，结晶型塑料达到成型温度要比无定形塑料达到成型温度需要更多的热量。

2) 塑料制品在模内冷却时，结晶型塑料要比无定形塑料放出更多的热量，因此结晶型塑料制品在模具内冷却时需要较长的冷却时间。

3) 由于结晶型塑料固态的密度与熔融时的密度相差较大，因此结晶型塑料的成型收缩率较大，达到 0.5% ~ 3.0%，而无定形塑料的成型收缩率一般为 0.4% ~ 0.6%。

4) 结晶型塑料的结晶度与冷却速度密切相关，在结晶型塑料成型时应按要求控制好模具的温度。

5) 结晶型塑料各向异性显著，内应力大，脱模后制品内未结晶的分子有继续结晶的倾向，易使制品变形和翘曲。

塑料的其他工艺性能包括塑料的热敏性、水敏性、应力敏感性、吸湿性、粒度以及塑料的各种热性能指标。

热敏性是指某些塑料（如硬聚氯乙烯、聚甲醛等）对热较为敏感，在高温下受热时间较长或浇口截面积过小，剪切作用大时，物料温度升高易发生变色和降解的倾向。对于这类热敏性塑料必须严格控制成型温度、模具温度和加热时间。

水敏性是指某些塑料（如聚碳酸酯等）即使只含有少量水分，在高温和高压下也容易分解。对于这类水敏性塑料在成型前必须加热干燥。

应力敏感性是指某些塑料对应力敏感，成型时质脆易开裂。对于这类应力敏感性塑料，除了在原材料内加入助剂提高抗裂性外，还应合理地设计制品和模具，并选择有利的成型工艺条件，以减小内应力。

粒度是指塑料粒料的细度和均匀度。塑料的热性能指标是指塑料的比热容、热导率、热变形温度等，这些指标对塑料成型都有较大的影响。



CD 段是保压阶段，此时熔体仍处于螺杆所提供的注射压力之下，因此熔体会继续流入型腔内，以补偿因冷却收缩而产生的空隙。由于熔体流动速度很慢，螺杆只有微小的补缩位移。在保压阶段，熔体在型腔内逐渐成型。

保压结束后螺杆开始后退，此时熔体压力迅速下降至零。若塑料熔体在此刻还具有一定的流动性，在重力作用下，熔体可能从型腔向浇注系统倒流，致使型腔压力从 p_c 降至 p_s 。在 t_4 时熔体在浇口处凝固，使流动封断，浇口尺寸越小封断越快。 p_s 称为封断压力， p_c 和与熔体流动速度密切相关，对制品性能有很大影响。

EF 段为冷却定型阶段，此时熔体在型腔内冷却收缩，当冷却到一定温度时脱模。脱模时制品的残余压力为 p_r ，残余压力的大小对制品的变形和卡模有很大影响。

第二章 注射成型工艺及注射模

第一节 注射成型工艺过程

注射成型工艺过程包括成型前的准备、注射过程和制品的后处理。

一、成型前的准备

一般在成型前应对塑料原料进行外观检验，如原料的色泽、细度及均匀度等，必要时应对塑料的工艺性能进行测试。对容易吸湿的塑料，如尼龙、聚碳酸酯、ABS等，成型前应进行充分的干燥，避免制品表面出现银丝、斑纹和气泡等缺陷。

在成型前，还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，以减小塑料熔体与金属嵌件之间的温度差。为了使制品容易从模具内脱出，对有的模具型腔或型芯还需涂上脱模剂，常用的脱模剂有硬脂酸锌、液体石蜡和硅油等。在成型前，有时还需对模具进行预热。

二、注射过程

塑料在注射机料筒内经过加热、塑化达到流动状态后，由模具的浇注系统进入模具型腔，其过程可以分为充模、压实、保压和冷却四个阶段。

对于螺杆式注射机，充模是注射机的螺杆从预塑后的位置向前运动开始，如图 2-1 所示。在液压缸的推力作用下，螺杆头部产生注射压力，迫使料筒计量室中已塑化好的熔体流经注射机喷嘴、模具主流道、分流道，最后从浇口处注入并充满模具型腔。

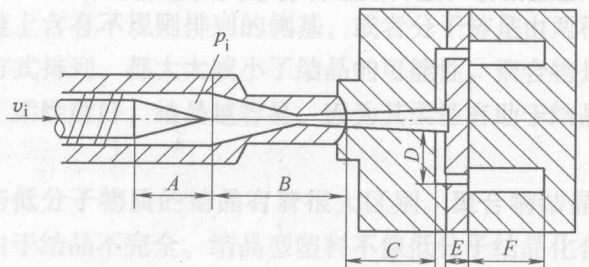


图 2-1 熔体经由流道充模

v_i —螺杆速度 p_i —型腔压力 A—计量室流道 B—喷嘴流道

C—主流道 D—分流道 E—浇口 F—型腔