



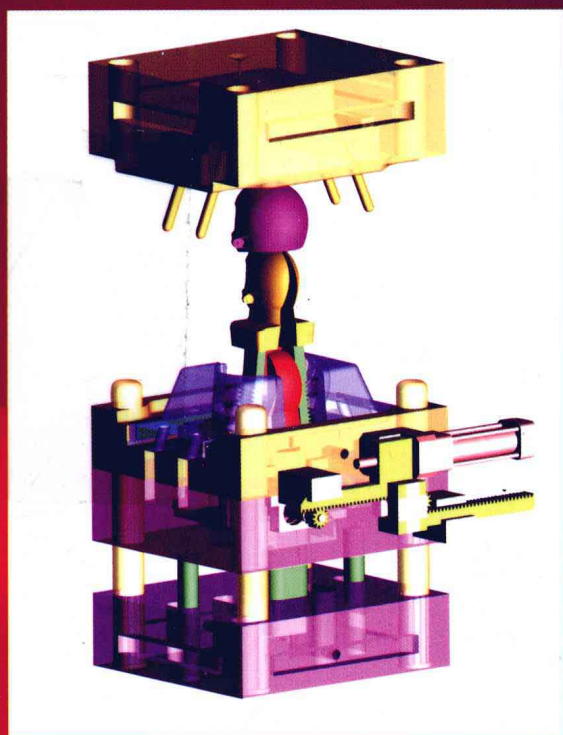
高等职业教育模具设计与制造专业“十二五”规划教材

塑料成型工艺与模具设计

主编 吴泊良 周宗明

CDIO教育理念

· 任务驱动
· 项目导向
· 能力培养
· 面向就业



国防工业出版社

National Defense Industry Press

高等职业教育模具设计与制造专业“十二五”规划教材

塑料成型工艺与模具设计

主 编	吴泊良	周宗明			
副主编	于盛睿	黄政魁			
参 编	吕超珍	李冠文	梁 庆	韦兰花	
主 审	王月全				

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书根据高职学生的特点,根据一个塑料模具初学者由接触塑料、认识和设计一些简单的塑料模具到逐渐了解、认识、参与设计较复杂的具有代表性动作机构的典型塑料模具,从而逐渐全面了解塑料模具设计的一般方法和技巧这一主线,循序渐进地介绍了塑料成型工艺及现代塑料模具设计方法。

全书共分为五个学习情境。学习情境一简要介绍塑料及塑料成型的一些常识;学习情境二以肥皂盒体注射模具的设计为例,介绍塑料模具的基本结构和工作原理,并详细介绍了模架及模架的选用方法、模具常用辅助机构等,还简单介绍了肥皂盒体注射模具的制造、装配、调试与生产等知识;学习情境三以电池盖斜顶出模具设计为例,讲解斜顶出模具的特点、工作原理和斜顶零件的常见形式和设计方法等,并详细介绍塑料模具的浇注系统、顶出系统、冷却系统和排气系统的设计方法;学习情境四以带卡扣盖板侧抽芯模具设计为例,详细介绍带侧滑块模具的工作原理、常见滑块机构及其工作原理、滑块相关零部件尺寸设计方法等;学习情境五以耳塞盖三板模的设计为例,讲解三板模的工作原理及设计要点。附录部分收录了模具设计的一些常用资料。

本书突出工程应用型人才培养要求,实用性较强,适合作为高职院校模具设计与制造专业及机械类相关专业的教材,也可以作为工程技术人员自学用书或设计参考书。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺与模具设计/吴泊良,周宗明主编. —北京:国防工业出版社,2011.12
高等职业教育模具设计与制造专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-118-07718-6

I. ①塑... II. ①吴...②周 III. ①塑料成型-生产工艺-高等职业教育-教材②塑料模具-设计-高等职业教育-教材 IV. ①TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 237159 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22 1/4 字数 526 千字

2011 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 43.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

“做中学”是一种非常有效的学习方法,本书力求以一系列由简单到复杂的典型模具设计实例为工作任务,通过引导学生对这些工作任务进行分析,寻找、学习和探讨这些任务的相关理论知识和方法并应用到解决具体任务中去,从而在分析问题、解决问题的过程中学习模具设计的一般方法、步骤和经验技巧,实现在做中学。

本书在内容的编排上充分考虑实际工作流程的特点,每个学习情境均由若干任务组成,这些任务都是具体案例的核心设计步骤。每个任务又包括任务引入、任务分析、相关知识、任务实施、知识拓展等部分。通过以上部分的学习,使学员在完成这些任务的过程中,不仅学习到相关的理论知识和方法,也是在分析、解构与重构一个具体的模具案例,学习这些任务的过程实际上是在“实战”中练习该类模具的设计要领,真正做到将“做与学”、“学与练”融为一体。

本书注重实用性,书中有大量的参数设计表,方便教学也方便设计查询。由于塑料模具设计的标准化发展很快,现代模具的很多机构设计、零件设计都已标准化。模具设计的标准化使模具的设计与制造变得简单便捷,模具质量得到提高。使用标准流程进行设计时,应尽量使用标准结构、标准零部件。一些先进的模具公司的设计标准越来越得到大家的认同,掌握这些标准已成为模具设计职场必备技能之一。因此,在本书的编写过程中,我们尽可能多地收集和使用那些广泛受到认同的先进设计理念和设计标准,使模具设计有更多的参考依据,同时也保证了本书的实用性和先进性。

本书由南宁职业技术学院吴泊良、柳州运输职业技术学院周宗明担任主编,富士康集团南宁富宁精密电子有限公司模具部王月全担任主审。全书包括五个学习情境,学习情境一由南宁职业技术学院黄政魁编写,学习情境二由柳州运输职业技术学院周宗明编写,学习情境三、四由南宁职业技术学院吴泊良编写,学习情境五由景德镇陶瓷学院于盛睿编写。南宁职业技术学院梁庆、广西工业职业技术学院吕超珍、河池职业学院李冠文和广西机电工程学校韦兰花参与了本书部分章节的编写工作。全书由南宁职业技术学院吴泊良统稿。富士康公司王月全、柳州奋达模具公司黎文对本书提出了很多宝贵意见和建议,在此深表感谢!同时感谢所引用文献和设计标准的作者,他们辛勤研究的成果为本书增色不少。

由于编者水平有限,书中难免存在不当和错误之外,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

学习情境一	塑料及塑料成型相关常识	1
任务一	了解塑料的主要成分——高分子聚合物	2
相关知识一	高分子聚合物的结构	2
相关知识二	高分子聚合物的热力学性能	4
相关知识三	高分子聚合物的流变学	5
相关知识四	高分子聚合物的熔体在成型过程中的流动状态	10
相关知识五	高分子聚合物在成型过程中的物理和化学变化	13
任务二	了解常用塑料的性能	18
相关知识一	塑料的基本组成和分类	18
相关知识二	塑料成型的工艺特性	20
相关知识三	常用塑料简介	23
任务三	了解塑料的一般成型工艺	36
相关知识一	注射成型原理及工艺特性	36
相关知识二	压缩成型原理及其特点	44
相关知识三	压注成型原理及其特点	44
相关知识四	挤出成型原理及工艺特性	45
相关知识五	气动成型原理及工艺特性	50
任务四	判别塑料制件的结构工艺性	55
相关知识一	塑料制件的尺寸及精度	55
相关知识二	塑料制件的表面	58
相关知识三	塑料制件的形状设计	60
相关知识四	塑料制件的脱模斜度	61
相关知识五	塑料制件的壁厚	62
相关知识六	塑料制件的加强肋及其他提高刚性的结构	63
相关知识七	塑料制件的支承面设计与圆角设计	64
相关知识八	塑料制件的孔设计	65
相关知识九	塑料制件的螺纹设计	67
相关知识十	塑料制件的嵌件设计	68
学习情境二	肥皂盒体注射模具设计	72
任务一	分析肥皂盒模具工作原理	73

	相关知识 注射模具的基本结构和工作原理	75
	【知识拓展】 注射机基本知识	78
任务二	肥皂盒模具的分型面设计	80
	相关知识 模具分型面的设计方法	80
任务三	肥皂盒模具型腔工作尺寸的计算	86
	相关知识 模具型腔工作尺寸的计算方法	87
任务四	肥皂盒模具前后模仁的尺寸设计	90
	相关知识 单腔模模仁尺寸的设计	91
任务五	模架的选用及辅助结构件设计	95
	相关知识一 模架的分类与选用	95
	相关知识二 模架规格的选择与开框	101
	相关知识三 前后模仁与模架的固定	103
	相关知识四 复位弹簧的设计	103
	相关知识五 垃圾钉的设计	106
	【知识拓展】 机械强行复位机构	110
任务六	肥皂盒注射模具的制造装配与调试	111
	相关知识一 注射模具模仁零件的制造特点	112
	相关知识二 注射模具零件材料	113
	相关知识三 注射模具的装配	113
	相关知识四 注射模具的试模与调整	121
学习情境三	电池盖斜顶出模具设计	130
任务一	电池盖模具排位设计	131
	相关知识 多腔模具的排位设计	131
任务二	带斜顶的电池盖模具方案设计	136
	相关知识一 斜顶机构及其工作原理	137
	相关知识二 斜顶机构的尺寸设计	139
	【知识拓展一】 其他斜顶结构	147
	【知识拓展二】 模具定位机构的设计	150
	【知识拓展三】 支撑柱设计	153
任务三	电池盖模具浇注系统设计	154
	相关知识一 流道设计	155
	相关知识二 浇口设计——浇口的形式	163
	相关知识三 浇口设计——浇口的位置	169
	【知识拓展】 流动平衡	175
任务四	电池盖模具顶出系统设计	179
	相关知识一 塑料模具常用顶出方式	180

	相关知识二 顶出机构设计要点·····	183
	【知识拓展】 定模顶出、二次顶出、螺纹顶出等其他顶出方式 ·····	191
任务五	电池盖模具冷却系统的设计·····	198
	相关知识一 模具冷却介质·····	199
	相关知识二 模具冷却水道的设计方法·····	200
	【知识拓展】 模具的排气方法 ·····	207
学习情境四	带卡扣盖板侧抽芯模具设计·····	210
任务一	带卡扣盖板模具侧抽芯机构工作原理·····	211
	相关知识 行位的结构及动作原理·····	212
	【知识拓展】 特殊行位机构 ·····	215
任务二	滑块(行位主体)的设计 ·····	223
	相关知识一 滑块的常用结构形式·····	223
	相关知识二 滑块的尺寸设计·····	224
	【知识拓展一】 T型斜槽行位的尺寸设计·····	231
	【知识拓展二】 压板固定式滑块的尺寸设计 ·····	231
	【知识拓展三】 内抽式行位的尺寸设计 ·····	232
任务三	锁紧块的设计·····	234
	相关知识一 铲机的结构形式·····	234
	相关知识二 铲机的尺寸设计·····	235
任务四	滑道及耐磨块的设计·····	237
	相关知识一 滑道的结构形式·····	238
	相关知识二 滑道、压板的尺寸设计 ·····	238
	相关知识三 耐磨块的尺寸设计·····	240
	【课外阅读】 带卡扣盖板模具完整图纸 ·····	244
学习情境五	耳塞盖三板模的设计·····	265
任务一	三板模工作原理分析·····	266
	相关知识 三板模的工作原理·····	268
	【知识拓展】 耳塞盖三板模顶出系统的改进设计 ·····	272
任务二	耳塞盖三板结构设计·····	274
	相关知识一 模具的镶件设计·····	274
	相关知识二 留模机构的设计·····	279
	相关知识三 限位机构的设计·····	280
	相关知识四 弹力橡胶的设计·····	283
	【知识拓展一】 热流道模具 ·····	291
	【知识拓展二】 模具铜公的设计 ·····	293

【课外阅读】 耳塞盖三板模整套模具图	296
附录	316
附录一 常用弹簧性能表	316
附录二 常用塑料的力学和物理性能表	322
附录三 常用塑料的燃烧鉴别表	325
附录四 射出成型制程参数设定参考表	326
附录五 常用塑料成型性能表	327
附录六 塑料产品设计注意事项表	328
附录七 注塑机基本参数	335
附录八 常用模具材料简介	337
附录九 模具设计题库	345
参考文献	355

学习情境一 塑料及塑料成型相关常识

塑料是以树脂为主要成分的高分子有机化合物，树脂可分为天然树脂和合成树脂两大类，塑料大多采用合成树脂。合成树脂是将低分子化合物的单体通过合成的方法生产出的高分子化合物，一般相对分子质量都大于 1 万，有的甚至可达数百万。采用不同的化学成分和不同的合成方法可以得到不同性能的塑料材料。塑料材料通过成型就可得到不同形状、不同用途的塑料制件。如今，塑料制件在我们的日常生活、工业生产中随处可见。这主要是因为塑料材料具有一系列明显的优点：

(1) 塑料便于成型。塑料的熔点一般在 300° 以下，远低于钢的熔点，便于加热熔解后成型，成型成本低。

(2) 塑料密度小、质量轻。大多数塑料的密度在 $1.0\text{g/cm}^3 \sim 1.4\text{g/cm}^3$ 之间，密度最小的大约为 0.83g/cm^3 ，相当于钢材密度的 11% 和铝材密度的 50% 左右，如果采用发泡成型，则塑料制件的密度可以小到 $0.01\text{g/cm}^3 \sim 0.5\text{g/cm}^3$ 。

(3) 塑料的比强度高。按单位质量计算的强度称为比强度。由于塑料的密度小，所以其比强度比较高。钢单位质量的拉伸强度为 160MPa，而玻璃纤维增强的塑料单位质量的拉伸强度可高达 170MPa $\sim$ 400MPa。

(4) 塑料的绝缘性能好，介电损耗低。由于塑料原子内部一般没有自由电子和离子，所以大多数塑料都具有良好的绝缘性能以及很低的介电损耗。所以，塑料是现代电工行业和电器行业中不可缺少的原材料。

(5) 塑料的化学稳定性高，对酸、碱和许多化学药品都具有良好的耐腐蚀能力。例如，有“塑料王”之称的聚四氟乙烯塑料，“王水”也不能将它腐蚀，甚至连原子工业中的强腐蚀剂五氟化铀对它也不起作用。

(6) 塑料的减摩耐磨性能好。现代工业中有许多齿轮、轴承和密封圈等机械零件都用塑料制造。

此外，塑料的减振和隔音性能也很好，许多塑料还具有透光性能和绝热性能以及防水、防透气和防辐射等特殊性能，因此，塑料已成为各行各业不可缺少的一种重要的材料。

塑料材料一般要经过模具成型制成塑料制件后才能使用。塑料模具的使用是很广泛的，据了解，仅制造一款普通轿车需 200 多件内饰件塑料模具，居家塑料制品、家用电器塑料结构件、塑料建材等更是离不开塑料模具。近年来，我国塑料模具在高新技术驱动和支柱产业应用需求的推动下，形成了一个巨大的产业链条，从上游的原、辅材料工业和加工、检测设备到下游的机械、汽车、摩托车、家电、电子通信、建筑建材等几大应用产业，塑料模具应用、需求都非常大，塑料模具的发展呈现勃勃生机。本学习情境主要介绍塑料的特点、成型规律以及基本的成型方法，为后面的章节做准备。

任务一 了解塑料的主要成分——高分子聚合物

◆教学能力目标

- 了解高分子聚合物的结构特点。
- 了解高分子聚合物在加热过程中的变化。
- 了解影响高分子聚合物流变学性质的因素。
- 了解高分子聚合物在成型过程中的物理和化学变化。

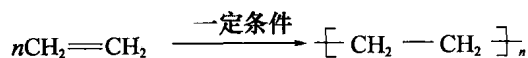
● 任务引入

如前所述,塑料的主要成分是树脂,树脂分为天然树脂和合成树脂。松香、虫胶等属于天然树脂,其特点是无明显熔点,受热后逐渐软化,可溶解于溶剂而不溶于水等。用人工方法合成的树脂称为合成树脂,人们所使用的塑料一般都是以合成树脂为主要原料制成的。树脂都属于高分子聚合物,简称高聚物或聚合物。聚合物的高分子含有很多原子数,相对分子质量很高,分子是很长的巨型分子,正因为这样,才使得聚合物在热力学的性能、流变学的性质、成型过程的流动行为和物理化学变化等方面有着它自身的特性。了解聚合物的特性对了解塑料性能及塑料成型特点很有帮助,下面先介绍高分子聚合物的结构与性能特点。

● 相关知识

相关知识一 高分子聚合物的结构

聚合物相对分子质量一般都大于 10^4 ,但相对分子质量的大小还不足以表达分子的结构特性。低分子化合物的单体转变成大分子物质的过程称为聚合反应。单体经过这种化学反应后,其原子便能以共价键的方式形成大分子结构,相对分子质量将远远大于原来单体的相对分子质量。例如,聚乙烯就是由许多个乙烯单体分子经聚合反应而生成的。其反应式如下:



式中, $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ 是乙烯单体分子; $\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n$ 是聚乙烯的结构单元; n 是聚合物所含结构单元的个数,称为聚合度。 n 越大,聚合物分子链越长,聚合物大分子的相对分子质量越高。同一聚合物体系内各个大分子的相对分子质量会因聚合度的不同而有差异,这种现象叫作聚合物相对分子质量的多分散性,其分散程度与聚合反应时的各种工艺因素有关。

对聚合物大分子结构的研究表明,大分子基本上都属于长链状结构。如果聚合物的分子链呈不规则的线状且聚合物大分子是由一根根分子链组成,则称为线型聚合物,如图 1-1(a)所示;如果一些聚合物的大分子主链上带着一些或长或短的小支链且整个分子链呈枝状,则称为带有支链的线型聚合物,如图 1-1(b)所示;如果在大分子的链之间还有一些短链把它们相互交联起来且成为立体结构,则称为体型聚合物,如图 1-1(c)所示。

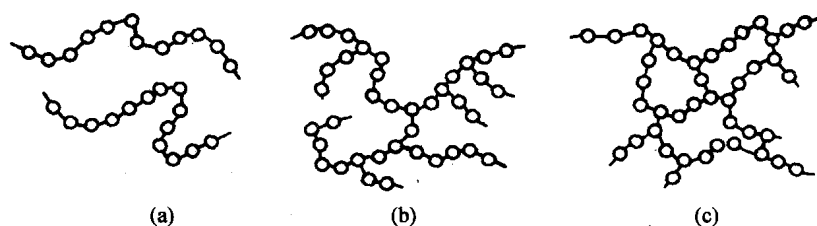


图 1-1 聚合物的分子链结构示意图

聚合物的分子结构不同，其性质也不同。线型聚合物的物理特性是具有弹性和塑性，在适当的溶剂中可以溶解，当温度升高时则软化至熔化状态而流动，且这种特性在聚合物成型前、成型后都存在，因而可以反复成型，这样的聚合物具有热塑性。体型聚合物的物理特性是脆性大、弹性较高和塑性很低，成型前是可溶和可熔的，而一经硬化成型(化学交联反应)后，就成为不溶不熔的固体，即使在再高的温度下(甚至被烧焦碳化)也不会软化。这样的聚合物称为热固性聚合物。

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态，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，可分为结晶型和无定形两种。

结晶型聚合物由“晶区”(分子作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%。如果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，则有利于结晶；反之，则对结晶不利或不能形成结晶区。结晶只发生在线型聚合物和含交联不多的体型聚合物中。

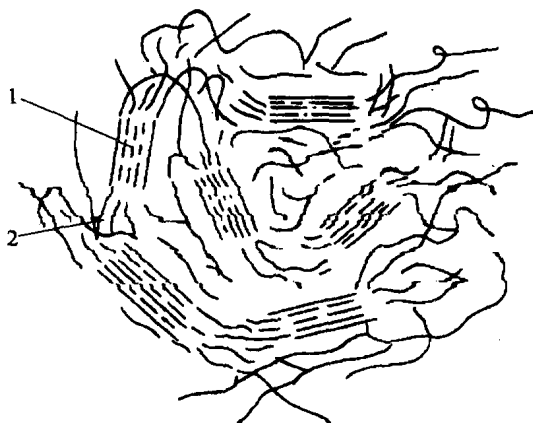


图 1-2 结晶型聚合物结构示意图

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、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。

对于无定形聚合物的结构，过去一直认为其分子排列是杂乱无章、相互穿插交缠的。

但在电子显微镜下观察,发现无定形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,分子链难以作有序排列,所以绝大部分是无定形聚合物。

相关知识二 高分子聚合物的热力学性能

聚合物在不同温度下所表现出来的分子热运动特征称为聚合物的物理状态。聚合物的物理状态分为玻璃态(结晶聚合物亦称结晶态)、高弹态和黏流态三种,物理状态的转变主要与温度有关。另外,温度变化时,聚合物的受力行为也发生变化,呈现出不同的力学状态,表现出分阶段的力学性能特点。图 1-3 所示为线型无定形聚合物(曲线 1)和线型结晶型聚合物(曲线 2)受恒力作用时变形程度与温度关系的曲线,也称热力学曲线。

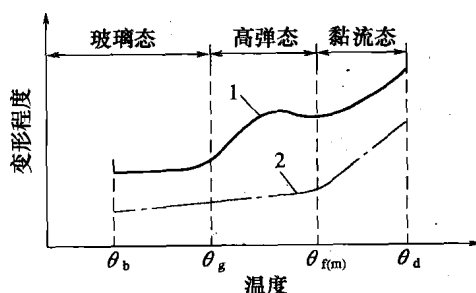


图 1-3 聚合物的热力学曲线

1—线型无定形聚合物；2—线型结晶聚合物。

由曲线 1 可知,线型无定形聚合物明显存在三种物理状态:玻璃态、高弹态和黏流态。在温度较低(低于 θ_g 温度)时,曲线基本上是水平的,变形程度小而且是可逆流的,但弹性模量较高,聚合物处于一种刚性状态,表现为玻璃态。此时,物体受力变形符合胡克定律,应变与应力成正比,并在瞬间达到平衡。当温度上升(在 θ_g 至 θ_f 之间)时,曲线开始急剧变化,但又很快趋于水平,聚合物的体积膨胀,表现为柔软而富有弹性的高弹态。此时,聚合物变形量很大,而弹性模量显著降低,如果去除外力,变形量可以回复,弹性是可逆的。如果温度继续上升(高于 θ_f 温度),变形迅速发展,弹性模量再次很快下降,聚合物即产生黏性流动,成为黏流态。此时的变形是不可逆的,物质已成为液体。

这里, θ_g 称为玻璃化温度,是加热时聚合物从玻璃态转变为高弹态的临界温度; θ_f 称为黏流温度,是加热时聚合物从高弹态转变为黏流态的临界温度。

聚合物处于玻璃态时硬而不脆,可作结构件使用。但是使用温度也不能太低,当温度低于 θ_b 时,物理性能将发生变化,在很小的外力作用下就会发生断裂,使塑料失去其使用价值。通常称 θ_b 为脆化温度,它是塑料制件使用的下限温度。当温度高于 θ_g 时,塑料不能保持其尺寸的稳定性和使用性能,因此, θ_g 是塑料制件使用的上限温度。显然,从塑料制件的使用角度看, θ_b 和 θ_g 间的范围越宽越好。

聚合物在温度高于 θ_f 时处于黏流态,黏流态也称熔融状态或熔体。此时,分子的热运动大为激化,内部自由空间和系统动能大量增加,材料的弹性模量降低到最低值。在外力作用下,相互交缠蜷曲的大分子链将会沿受力方向发生解缠、伸直以及相对滑移,

从而表现出一种变形量很大的宏观流动。在外力解除后，这些变形和流动不能回复，此时变形主要是不可逆的塑性变形，冷却后，聚合物就能将变形永久保持下来。因此，这一温度范围常用来进行注射、压缩、压注和挤出成型加工等。

当温度升高到 θ_d 时，聚合物便开始分解，所以称 θ_d 为热分解温度。热分解是指高温聚合物与氧气接触后，产生可燃性低分子物质以及挥发性低分子物质气体的现象。热分解破坏了聚合物的组成，导致成型塑件质量变差，生产中必须避免发生这种现象。表 1-1 列出了部分聚合物的热分解温度，供成型生产时参考。

表 1-1 常用聚合物热分解温度

单位：℃

聚合物	θ_d	聚合物	θ_d
聚乙烯(PE)	335~450	聚酰胺-6 (PA-6)	310~380
聚丙烯(PP)	328~410	聚酰胺-66 (PA-66)	310~380
聚氯乙烯(PVC)	200~300	聚甲醛(POM)	222
聚苯乙烯(PS)	300~400	聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)	170~300

塑料的成型生产绝大部分是在 $\theta_f \sim \theta_d$ 这个温度范围内进行的，这个范围越宽，塑料熔体的热稳定性越好，成型生产就越容易进行。

对于完全线型结晶型聚合物，它与前述的无定形聚合物在热力学曲线上的主要区别有两点：一是和 θ_f 对应的温度叫熔点 θ_m ，是结晶型聚合物熔融和凝固之间的临界温度；二是完全结晶型聚合物在 $\theta_g \sim \theta_m$ 之间基本上不呈现高弹态(应变基本保持不变)，并且熔点很高。因此，采用一般的成型方法难以使其成型，例如聚四氟乙烯塑件通常采用冷压后烧结成型的方法制成。另外，与线型无定形聚合物相比较，线型结晶型聚合物在低于熔点时其变形量很小(其曲线很平坦)，因此其耐热性较好。由于不存在明显的高弹态，线型结晶型聚合物可在脆化温度与熔点之间的温度范围使用，扩大了使用温度范围。

以上所述是线型聚合物的热力学性能，而高度交联的体型聚合物(热固性树脂)由于分子运动阻力很大，一般随温度发生的力学状态变化较小，所以通常不存在黏流态甚至高弹态，即遇热不熔，高温时则分解。

相关知识三 高分子聚合物的流变学

1. 高分子聚合物的流变方程

研究物质变形与流动的科学称为流变学。聚合物的各种成型方法都必须依赖聚合物自身的变形和流动来实现，所以也就相应产生了聚合物流变学这样一门学科。它主要研究聚合物在外力作用下产生的应力、应变和应变速率等力学现象与自身黏度之间的关系，以及影响这些关系的各种因素。

聚合物在成型(主要指注射成型)过程中的流变学性质主要指剪切黏度随切应力或剪切应变速率改变而产生的变化。根据黏度的变化性质，聚合物熔体分为牛顿型和非牛顿型两大类。对于牛顿型熔体，可以用牛顿剪切流动规律(亦称牛顿流动定律)描述其流变学性质。

在流体力学中，液体在平直圆管内受切应力而发生流动的形式有层流和湍流两种形式。层流时，液体的流动是按许多彼此平行的流层进行的，同一层之间的各点的速度相

η ——比例常数,称为剪切黏度或牛顿黏度。

η 是液体自身固有的属性,反映了液体的黏稠性。 η 的大小表征液体抵抗外力引起变形的能力。不同液体的 η 值不同,与其分子结构和所处温度有关。 η 越大,液体的黏稠性越大,故切应变和流动越不容易发生;如要发生,则需要比较大的切应力。

公式(1-1)描述了层流液体最简单的规律,通常称为牛顿流动规律,即牛顿流变方程。凡液体层流时符合牛顿流动规律的通称牛顿流体,其特征为应变随应力作用的时间线性地增加,且黏度保持不变(定温情况下),应变具有不可逆性质,应力解除后应变以永久变形保持下来。

由于大分子的长链结构和缠结,聚合物熔体的流动行为远比低分子液体复杂。在宽广的剪切速率范围内,这类液体流动时切应力与剪切速率不再成正比,熔体的黏度也不是一个常数,因而聚合物熔体的流变行为不服从牛顿流动规律。通常把流动行为不服从牛顿流动规律的流动称为非牛顿型流动,具有这种流动行为的液体称为非牛顿液体。在注射成型中,只有少数聚合物(如聚酰胺、聚碳酸酯等)熔体的黏度对剪切速率不敏感,除经常把它们近似视为牛顿流体外,其他绝大多数的聚合物熔体都表现为非牛顿流体。这些聚合物熔体都近似地服从 Qstwald-de Waele 提出的指数流动规律,其表达式为

$$\tau = K \left(\frac{dv}{dr} \right)^n = K \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^n = K \dot{\gamma}^n \quad (1-2)$$

式中 K ——与聚合物和温度有关的常数,可反映聚合物熔体的黏稠性,称为黏度系数;

n ——与聚合物和温度有关的常数,可反映聚合物熔体偏离牛顿流体性质的程度,称为非牛顿指数。

上式可改写为

$$\tau = (K \dot{\gamma}^{n-1}) \dot{\gamma} = \eta_a \dot{\gamma} \quad (\text{流动方程}) \quad (1-3)$$

式中 η_a ——非牛顿液体的表观黏度, $\eta_a = K \dot{\gamma}^{n-1}$ 称为流变方程。

就表观黏度的力学性质而言,它与牛顿黏度相同。但是,表观黏度表征的是非牛顿液体(服从指数流动规律)在外力的作用下抵抗剪切变形的能力。由于非牛顿液体的流动规律比较复杂,表观黏度除与流体本身的性质以及温度有关以外,还受剪切速率的影响,这就意味着外力的大小及其作用时间也能改变流体的黏稠性。

在指数流动规律中,非牛顿指数 n 和黏度系数 K 均可由试验测定。其中 $n=1$ 时 $\eta_a = K = \eta$,这意味着非牛顿流体转变为牛顿流体。所以, n 值可以用来反映非牛顿流体偏离牛顿流体性质的程度。 $n \neq 1$ 时,绝对值 $|1-n|$ 越大,流体的非牛顿性越强,剪切速率对表观黏度的影响越强。 $n < 1$ 时,称为假塑性液体。在注射成型中,除了热固性聚合物和少数热塑性聚合物外,大多数聚合物熔体均有近似假塑性液体流变学的性质。 $n > 1$ 时,称为膨胀性液体。属于膨胀性液体的主要是一些固体含量较高的聚合物悬浮液以及带有凝胶结构的聚合物溶液或悬浮液,处于较高剪切速率下的聚氯乙烯糊的流动行为就近似这类液体。

假塑性液体的非牛顿指数 $n < 1$,通常为 $0.25 \sim 0.67$,但切变速率较大时, n 值可降至 0.20 。在注射成型中,绝大多数热塑性聚合物熔体都近似地具有假塑性液体的流变学性质,它们包括聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯、聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)、ABC、聚苯乙烯、线性聚酯和热塑性弹性体等。由公式(1-3)和流变方程 $\eta_a = K \dot{\gamma}^{n-1}$ 可以推出,在中等剪切速率区域,假塑性液体的流变学性质表现为:变形和流动所需要的切应力随剪切速率变化,并呈指数规律增大;变形和流动所受到的黏滞阻力,即液体的表观黏度随剪切速率变化,

并呈指数规律减小。这种现象称为假塑性液体的“剪切稀化”效应。

由于大多数热塑性聚合物都具有假塑性液体的流变学性质,所以聚合物熔体在注射成型中发生“剪切稀化”效应是一个普遍现象。生产中的关键问题是如何恰当地控制各种因素,以便能使“剪切稀化”效应保持在一个合理范围。在生产中必须根据聚合物的结构特性,选择最佳注射温度、注射压力、注射速度以及模具结构等加工条件,以保证聚合物熔体不致因黏度过大而影响流动成型,同时也不会因黏度过小而影响制件的成型质量。

2. 影响聚物流变学性质的因素

1) 聚合物结构对黏度的影响

(1) 分子结构。聚合物分子结构对黏度的影响较复杂。一般来说,大分子链柔顺性较大的聚合物,链间的缠结点多,链的解缠、伸长和滑移困难,熔体流动时的非牛顿性强。对于链的刚硬性和分子间吸引力比较大的聚合物(如极性聚合物和结晶聚合物),其熔体黏度对温度敏感性增加,非牛顿性减弱,具有这类性质的聚合物有聚碳酸酯、聚苯乙烯、聚酰胺和聚对苯二甲酸乙二酯等。

聚合物大分子中存在支链结构时,对黏度也有影响。支链越长、支化程度越高,对黏度影响越显著。支链越长、支化程度越高,则它们与附近其他大分子链缠结越紧,就会导致变形和流动困难,因此表现为黏度增大、流动性降低。

(2) 相对分子质量。聚合物相对分子质量比较大时,其大分子链段会有所加长,大分子链重心移动也会减慢。由于链段间相对位移被抵消的机会增大,使得缠结点增多,解缠、伸长和滑移困难,因此一般都需要较大的剪切速率和较长的切变作用时间,故熔体黏度以及黏度对剪切速率的敏感性会增大。

(3) 相对分子质量分布。聚合物内大分子之间相对分子质量的差异叫做相对分子质量分布,差异越大,分布越宽。聚合物相对分子质量分布不仅影响黏度,而且这种对黏度的影响还与剪切速率有关。一般情况下,如果相对分子质量相同,则相对分子质量分布较宽时,聚合物熔体的黏度较小,非牛顿性较强。

在注射成型过程中,相对分子质量分布对黏度的影响经常体现在塑件的质量方面。聚合物相对分子质量分布比较宽时,虽然早现黏度小,流动性好的特点,但成型出的塑件性能质量较差。所以,应尽量减少聚合物中低分子物质,尽量使用相对分子质量分布较窄的物料,以提高塑件的性能。

2) 温度对黏度的影响

聚合物大分子的热运动与温度有关。温度升高,聚合物体积膨胀,大分子间的自由空间随之增大,彼此间的范德华力减小,从而有利于大分子变形和流动,即黏度下降,如图 1-5 所示。

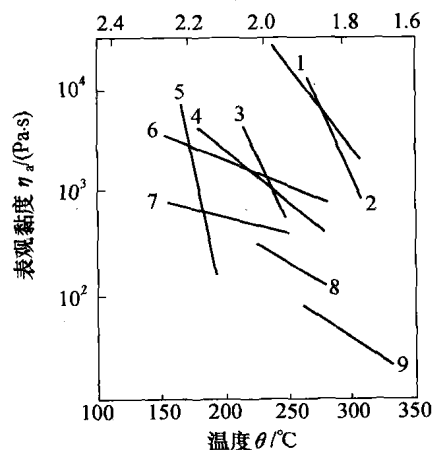


图 1-5 聚合物熔体黏度与温度的关系

- 1—聚苯乙烯; 2—聚碳酸酯; 3—聚甲基丙烯酸甲酯;
4—聚丙烯; 5—醋酸纤维素; 6—高密度聚乙烯;
7—聚甲醛; 8—聚酰胺; 9—聚对苯二甲酸乙二酯。

在成型工艺中,对一种表现黏度随温度变化不大的聚合物来说,如仅靠增加温度来增加其流动性使其能成型是不合适的,因为温度幅度增加很大,而它的表观黏度却降低有限(如聚丙烯、聚乙烯、聚甲醛等)。相反,大幅度地提高温度很可能使聚合物发生降解。注射成型生产中,依靠提高温度降低熔体黏度以改善流动性的工艺控制方法,主要适用于黏度对剪切速率不太敏感或其熔体近似服从牛顿流动规律的聚合物,如聚甲基丙烯酸甲酯、聚碳酸酯、聚酰胺-66等,这些材料不需要增加很多温度,而它们的黏度却下降不少。

3) 压力对黏度的影响

聚合物大分子长链结构复杂,自由状态下堆砌密度很低,相互之间具有较大的自由空间,所以在空间三维等值的静压力作用下,大分子之间的自由空间会被压缩减小,大分子链将相互接近,彼此之间的作用也会加强,所以宏观上将表现出体积收缩或比容减小,同时变形流动阻力也会随之增大。实验证明,聚合物熔体在成型压力增大时,熔体所受的静压力也会随之提高,而且伴随熔体的体积收缩,其黏度也有所提高。

考虑压力对熔体黏度的影响时,还应注意到黏度对压力的敏感性会因聚合物不同而不同。通常认为,聚合物熔体的压缩率越大,其黏度对压力的敏感性越强。由于各种聚合物熔体黏度对压力的敏感性不同,所以在注射成型时,单纯依靠增大注射压力来提高熔体流量或充模能力的方法并不十分恰当。对于需要增大黏度而又不宜采用降温措施的场合,则可考虑采用提高压力的方法解决。在成型生产中考虑压力对黏度的影响时,应综合考虑生产的经济性、设备和模具的可靠性以及塑件的质量等因素,以保证成型工艺具有最佳的注射压力和注射温度。

3. 热固性聚合物的流变学性质

上面介绍的是热塑性聚合物的流变学性质,下面讨论热固性聚合物的问题。

一般来说,热塑性聚合物的成型基本上是一个物理变化过程,即通过加热,使具有线型大分子结构的物料达到黏流态后成型,然后通过冷却使制品固化。虽然成型过程中的聚合物可能会因局部降解或交联发生一些化学变化,但这些变化对聚合物的基本性能影响不大,尤其不会使黏度发生不可逆转的改变。因此,热塑性聚合物可以反复多次加热冷却成型,可以对废料进行回收。

热固性聚合物的成型过程与热塑性聚合物不同,它除了发生物理变化外,还伴随化学反应。加热热固性聚合物,不仅是为了使原来呈现线型大分子结构的预聚物熔融后能在压力作用下产生变形流动,在模具中获得塑件的形状,而且必须使充入模腔的预聚物熔体能在一定温度下发生交联化学反应,以便它们能固化定型为塑料制件。热固性聚合物一经交联化学反应,其线型结构就转变成体型结构,即使再加热,大分子也不会发生解缠和滑移,故黏度变得无限大,从而永远失去了变形流动能力。因此,热固性聚合物在成型过程中的黏度变化与热塑性的情况有着本质的差异,它的流变学性质主要指黏度随交联反应而发生变化。

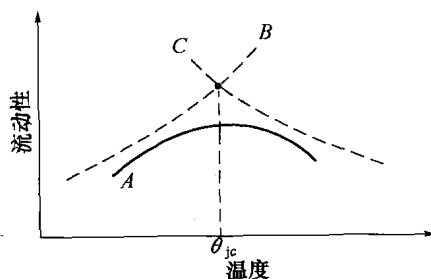


图 1-6 温度对热固性聚合物流动性的影响

A—总的流动曲线;

B—黏度对流动性的影响曲线;

C—交联反应速度对流动性的影响曲线。

热固性聚合物和热塑性聚合物流变行为的不同可以用图 1-6 加以说明。由该图可以看