

高等学校教材

高分子材料 成型工艺

史玉升 李远才 杨劲松 编著



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

高分子材料成型工艺

史玉升 李远才 杨劲松 编著



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

高分子材料成型技术涉及化学、材料、材料加工、机械等多种学科，内容非常广泛。本书以高分子材料成型技术的基本理论、成型方法和应用实例为主线展开论述，主要包括高分子材料的成型理论基础、塑料精密注塑成型、塑料挤出成型、塑料发泡成型、塑料的其他成型、橡胶及纤维成型、高分子材料快速成型、高分子材料复合成型、高分子材料加工助剂。最后以农业灌溉节水塑料产品（灌水器）的快速开发为应用实例，阐述了计算机技术在高分子材料成型中的具体应用步骤。

本书面向材料、化学、生物、材料加工、机械等专业的大中专学生和研究生，同时也可供相关行业的工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高分子材料成型工艺/史玉升, 李远才, 杨劲松编著.

北京: 化学工业出版社, 2006. 5

高等学校教材

ISBN 7-5025-8638-5

I. 高… II. ①史…②李…③杨… III. 高分子材料-成型-工艺-高等学校-教材 IV. TQ316

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 043064 号

高等学校教材

高分子材料成型工艺

史玉升 李远才 杨劲松 编著

责任编辑: 杨 菁

文字编辑: 徐雪华

责任校对: 于志岩

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市振南印刷有限责任公司印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18¼ 字数 451 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8638-5

定 价: 29.80 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

高分子材料成型技术涉及化学、材料、材料加工、机械等多种学科，在已有的一些专业书籍中进行了不同程度的论述。但现有的有关书籍，内容比较陈旧，没有包含最新的成型技术，如快速成型、精密注塑成型及其随形冷却水道的设计、计算机应用等。在多年的本科和研究生教学中，发现来自化学专业的学生对高分子材料的合成与制备较为了解，材料专业的学生熟悉材料的性能，材料加工专业的学生具备了成型设备及其加工的知识。而这些专业的学生对高分子材料成型技术的系统知识，特别是最新技术，了解甚少，严重地影响了学生对最新高分子材料成型技术的掌握，进而影响到他们的就业和科研工作的开展。

为了解决以上问题，我们编写了该教材，全面地介绍高分子材料的成型技术，以利于读者的系统学习，同时使学生了解最新的技术，扩大知识面，提高综合素质。为今后的就业、科研工作及多学科交叉人才的培养打下基础。

本教材编写是在作者多年来从事高分子材料及其成型设备与工艺的科研基础上，兼顾不同知识背景学生的要求，以高分子材料的制备、成型、评价和应用为主线，吸收其他优秀教材中有关传统高分子材料成型技术的优点，结合我们在高分子粉末材料、高分子光敏液体材料、高分子丝状材料、高分子生物材料等的快速成型技术、精密注塑成型技术方面的研究成果，加入国内外近年来的最新研究成果，既有理论知识，又有应用实例，全面系统地介绍高分子材料成型技术的最新知识。如第2章、第7章和第10章的内容几乎全来自编者所在课题组的科研成果。

本书共分10章，其中史玉升编写绪论、第2章、第7章、第10章，李远才编写第3章、第4章、第5章、第8章，杨劲松编写第1章、第6章、第9章。全书由史玉升统稿和主编。

本书在编写过程中，参考了其他相关教材、论文和研究成果。在此，向被参考文献的作者表示感谢！由于本书是新编教材，并且首次尝试着加入了大量的国内外最新研究成果，加之编者的学术水平有限，书中的错误和缺陷在所难免，殷切期望同行专家和读者批评与指正。

编者

2005年9月

目 录

绪论	1
0.1 高分子材料成型技术	1
0.2 高分子材料产品的成型工艺特点	1
0.3 本课程的特点和学习要求	3
第1章 高分子材料成型理论基础	4
1.1 高分子材料的性能	4
1.1.1 高分子材料的力学性能	4
1.1.2 高分子材料的物理性能	6
1.1.3 高分子材料的化学性能	7
1.2 高分子材料的成型性能	7
1.2.1 概述	7
1.2.2 聚合物的可挤压性	9
1.2.3 高分子材料的可模塑性	10
1.2.4 聚合物的可纺性	11
1.2.5 聚合物的可延性	12
1.3 聚合物在成型过程中的黏弹行为	13
1.3.1 聚合物的黏弹性形变与成型条件的关系	14
1.3.2 黏弹性形变的滞后效应	15
1.4 聚合物的流变性质	16
1.4.1 聚物流体的非牛顿剪切黏性	16
1.4.2 影响聚合物剪切黏度的因素	20
参考文献	27
第2章 塑料精密注塑成型	28
2.1 概述	28
2.1.1 精密注塑成型技术	28
2.1.2 精密注塑模具	29
2.1.3 精密注塑成型工艺	30
2.1.4 精密注塑模具与精密注塑工艺的国内外研究现状	31
2.2 精密注塑模具设计	32
2.2.1 基于快速成型的精密注塑产品开发模式	32
2.2.2 精密注塑模具设计	33
2.3 精密注塑成型工艺	37
2.3.1 注塑成型工艺对制品性能的影响	37
2.3.2 精密注塑模具温度对制品性能的影响	38

2.3.3 精密注塑工艺中的随形冷却技术·····	39
参考文献·····	50
第3章 塑料挤出成型 ·····	52
3.1 概述·····	52
3.2 单螺杆挤出机基本结构及作用·····	53
3.2.1 加料装置·····	53
3.2.2 料筒·····	54
3.2.3 螺杆·····	54
3.2.4 机头与口模·····	55
3.3 挤出成型原理·····	55
3.3.1 挤出过程和螺杆各段的功能·····	55
3.3.2 挤出理论·····	56
3.4 挤出成型工艺·····	59
3.4.1 挤出工艺·····	59
3.4.2 塑料管材挤出·····	61
3.5 双螺杆挤出·····	62
3.5.1 双螺杆挤出机的结构·····	62
3.5.2 双螺杆挤出机的工作原理·····	63
3.5.3 单、双螺杆挤出机的比较·····	64
3.6 热固性塑料挤出·····	64
3.6.1 热固性塑料挤出成型的基本原理·····	64
3.6.2 热固性塑料与热塑性塑料挤出的比较·····	65
3.7 反应性挤出·····	65
3.7.1 反应性挤出加工的反应类型及制备聚合物类型·····	66
3.7.2 反应性挤出加工对设备的要求及工艺控制要点·····	66
3.8 橡胶的压出与螺杆挤出机纺丝·····	67
3.8.1 橡胶的压出·····	67
3.8.2 螺杆挤出机纺丝·····	68
第4章 塑料发泡成型 ·····	71
4.1 概述·····	71
4.2 泡沫塑料的发泡方法及原理·····	71
4.2.1 泡沫塑料的发泡方法·····	71
4.2.2 泡沫塑料成型原理·····	75
4.3 泡沫塑料成型方法简介·····	77
4.3.1 泡沫塑料的注射成型·····	77
4.3.2 泡沫塑料的浇注成型·····	77
4.3.3 泡沫塑料的模压成型·····	78
4.3.4 泡沫塑料的挤出成型·····	79
4.4 聚苯乙烯泡沫塑料的成型·····	79
4.4.1 概述·····	79

4.4.2	原料及典型配方	80
4.4.3	生产工艺	80
4.4.4	主要生产设备	82
4.4.5	聚苯乙烯泡沫塑料片材和薄膜	82
4.5	聚氯乙烯泡沫塑料	82
4.5.1	概述	82
4.5.2	原材料及配方	83
4.5.3	生产方法	84
4.6	聚乙烯泡沫塑料	85
4.6.1	聚乙烯发泡的特点	85
4.6.2	聚乙烯的交联	86
4.6.3	聚乙烯交联泡沫塑料成型工艺	87
4.7	聚氨酯泡沫塑料	90
4.7.1	聚氨酯泡沫塑料的原料	90
4.7.2	发泡过程中的主要化学反应	92
4.7.3	发泡工艺	92
4.7.4	生产控制因素	94
4.8	聚丙烯发泡成型	95
4.8.1	概述	95
4.8.2	高熔体强度聚丙烯发泡工艺及设备技术进展	95
4.8.3	交联聚丙烯发泡技术	96
4.8.4	聚丙烯共混体系发泡技术	96
4.8.5	发泡聚丙烯的应用前景	96
第5章	塑料的其他成型	97
5.1	中空容器吹塑成型技术	97
5.1.1	概述	97
5.1.2	中空吹塑的基本方法和工艺特点	97
5.1.3	中空吹塑模具	99
5.1.4	中空吹塑装置	99
5.2	冷压烧结成型技术	100
5.2.1	概述	100
5.2.2	生产技术	101
5.3	人造革的涂覆成型技术	103
5.3.1	PVC人造革的直接涂覆法	103
5.3.2	钢带法针织布基PVC泡沫人造革的生产	104
5.3.3	离型纸法生产针织布基PVC泡沫人造革	106
5.4	塑料滚塑与搪塑成型技术	106
5.4.1	滚塑成型工艺简介	106
5.4.2	滚塑成型工艺的成型性	107
5.4.3	滚塑设备与模具	108

5.4.4	聚氯乙烯糊及其搪塑	109
5.5	铸塑成型技术	111
5.5.1	铸型尼龙成型工艺	111
5.5.2	铸型尼龙砂型和石膏型铸造工艺	114
第6章	橡胶及纤维成型	122
6.1	橡胶制品的原材料及其性质	122
6.1.1	生胶	122
6.1.2	配合剂	126
6.1.3	橡胶制品的骨架、增强材料	129
6.1.4	金属材料	129
6.1.5	其他材料	130
6.2	炼胶	130
6.2.1	塑炼	130
6.2.2	混炼	131
6.2.3	开炼机炼胶	131
6.2.4	密炼机炼胶	133
6.2.5	混炼胶质量的检查	135
6.3	橡胶的压延	135
6.3.1	压延前的准备	136
6.3.2	压延工艺	137
6.4	橡胶的压出成型	140
6.4.1	压出机	140
6.4.2	压出工艺	141
6.5	橡胶的注射成型	142
6.5.1	注射成型的过程和原理	142
6.5.2	注射成型设备	144
6.5.3	注射成型工艺	145
6.5.4	橡胶注射成型新工艺	148
6.6	硫化	149
6.6.1	硫化历程	149
6.6.2	硫化条件	150
6.6.3	硫化方法及橡胶制品的硫化	151
6.7	橡胶制品成型实例——外胎的成型	152
6.7.1	轮胎生产工艺流程	152
6.7.2	外胎成型	153
6.7.3	硫化	155
6.8	纤维成型方法	156
6.8.1	化学纤维的纺丝	156
6.8.2	化学纤维的后加工	157
	参考文献	159

第 7 章 高分子材料快速成型	160
7.1 快速成型概述	160
7.1.1 LOM 技术	161
7.1.2 SLS 技术	162
7.1.3 SLA 技术	167
7.1.4 FDM 技术	169
7.2 高分子材料的 SLS 成型机理	169
7.2.1 激光对粉末材料的加热过程	169
7.2.2 高分子粉末激光烧结机理	174
7.3 非结晶聚合物粉末材料的 SLS 成型	177
7.3.1 聚苯乙烯 (PS) 粉末材料的 SLS 成型	178
7.3.2 聚碳酸酯 (PC) 粉末材料的 SLS 成型	183
7.4 结晶聚合物粉末材料的 SLS 成型	187
7.4.1 尼龙 12 的烧结特性	188
7.4.2 尼龙 12 材料的烧结工艺	190
7.4.3 尼龙 12 材料烧结件性能	192
7.4.4 尼龙 12 烧结件的精度	192
7.4.5 烧结件实例	194
7.5 尼龙 12/无机填料复合材料的 SLS 成型	194
7.5.1 填料对烧结工艺的影响	194
7.5.2 填料对烧结件的密度及形态的影响	196
7.5.3 填料对烧结件性能的影响	197
7.5.4 填料对烧结件精度的影响	199
7.5.5 填料对烧结材料热氧稳定性的影响	200
7.5.6 烧结实例	201
参考文献	202
第 8 章 高分子材料复合成型	204
8.1 概述	204
8.1.1 引言	204
8.1.2 塑料层状复合材料种类	204
8.1.3 塑料复合材料制造方法	204
8.2 塑料层状复合包装材料的生产方法	205
8.2.1 干法复合	205
8.2.2 湿法复合	207
8.2.3 挤出涂布	208
8.3 共挤出复合	208
8.3.1 共挤出复合简介	208
8.3.2 共挤出复合制品的材料选择	209
8.3.3 共挤出复合方式	209
8.4 共挤出吹塑复合薄膜成型	211

8.4.1	共挤出复合薄膜成型特点	211
8.4.2	共挤出吹塑复合薄膜成型工艺和设备	212
8.5	共挤出复合片材、板材成型	213
8.5.1	概述	213
8.5.2	挤出复合片材、板材成型	214
8.6	共挤出复合中空成型	215
8.6.1	概述	215
8.6.2	复合中空吹塑成型工艺及设备	215
8.7	共挤出复合管材成型	216
8.7.1	复合管材特性及应用	216
8.7.2	螺旋状管材的共挤出成型	217
8.7.3	双层壁波纹管成型方法	219
8.7.4	交替共挤出管材成型	220
8.8	共挤出复合电线电缆覆层成型	221
8.8.1	电线、电缆共挤复合目的及应用	221
8.8.2	低电压电线的共挤出	222
8.8.3	通讯电缆的共挤出	222
8.8.4	高电压电力电缆的共挤出	223
8.9	铝塑复合管	223
8.9.1	铝塑复合管结构及材料选择	223
8.9.2	铝塑复合管生产工艺	225
8.10	钢塑、铜塑复合管	226
8.10.1	钢塑复合管	226
8.10.2	铜塑复合管	227
第9章	高分子材料加工助剂	229
9.1	助剂在成型加工中的地位	229
9.2	助剂的类别和作用	230
9.3	助剂应用中的一些问题	233
9.4	几类重要的助剂	234
9.4.1	增塑剂	234
9.4.2	稳定剂	239
9.4.3	填充剂和增强剂	251
9.4.4	加工改性剂	257
	参考文献	259
第10章	计算机技术在高分子材料成型中的应用	260
10.1	概述	260
10.2	滴灌灌水器的快速开发方法	260
10.3	滴灌灌水器的快速设计与定型	261
10.3.1	滴灌灌水器的创新设计	261
10.3.2	灌水器内流场数值模拟	261

10.3.3	基于 RP 原型的滴灌灌水器性能试验	262
10.3.4	结果与分析	263
10.4	滴灌灌水器的小批量生产	265
10.5	滴灌灌水器精密注塑模具的计算机辅助设计	266
10.5.1	滴灌灌水器精密注塑模具结构的三维 CAD	266
10.5.2	基于精密注塑理论的滴灌灌水器注射流道优化设计	267
10.5.3	基于随形冷却技术的滴灌灌水器注塑模冷却水道镶块的快速制造	269
10.5.4	基于注射 CAE 技术的注塑模具结构优化	271
10.6	滴灌灌水器精密注塑工艺的计算机辅助模拟与优化	272
10.6.1	注塑工艺优化	272
10.6.2	结果分析	274
10.7	滴灌灌水器精密注塑的实际效果	277
	参考文献	281

绪 论

0.1 高分子材料成型技术

人类社会的进步与材料的使用密切相关。其中，高分子材料是材料中的一大类。由于高分子材料具有品种多、性能各具特色、适应性广等优点，因此，高分子材料工业的发展一直保持着旺盛的势头。为了将高分子材料成型为各种不同形状和性能的产品，以满足社会发展的需要，人们发明了各种高分子材料的成型方法，如注塑成型、挤出成型、发泡成型、吹塑成型、冷压烧结成型、涂覆成型、滚塑与搪塑成型、注塑成型、复合成型等方法。20世纪80年代末，又发展出了各种高分子材料的快速成型方法，如立体光造型、选择性激光烧结、熔丝沉积制造等。随着高分子材料产品在各个领域中的深入应用，对其质量及更新换代的速度提出了更高的要求。如何提高高分子材料产品的质量和成型速度，成为高分子材料及其成型领域的重要研究课题。因此，了解和掌握已有的高分子材料成型方法，对进一步改进和完善这些方法，甚至提出新的成型方法，从而保证不同用途的高质量高分子材料产品的生产，具有重要的意义。

0.2 高分子材料产品的成型工艺特点

从高分子材料产品的开发和生产规律看，一般先制作一至数个样品作出功能测试和市场评估，然后小批量生产投放市场，根据市场需求情况再进行批量生产。过去一种产品可以连续生产数十万件甚至上百万件，而现在仅几千件或几万件就需更新。为适应不同用途的高分子材料产品的开发和生产，应掌握以下成型技术：单件（或数件）高分子材料产品的成型技术；小批量高分子材料产品的成型技术；大批量高分子材料产品的成型技术。

(1) 单件或数件高分子材料产品的成型技术

单件或数件高分子材料产品的成型技术，可采用快速成型（rapid prototyping, RP）方法直接制造，不需设计和制造模具。目前能用快速成型技术直接制成高分子材料产品的常用方法主要有立体光造型（stereo lithography apparatus, SLA）、熔丝沉积制造（fused deposition modeling, FDM）和选择性激光烧结（selective laser sintering, SLS）三种技术。SLA和FDM使用的材料单一，很难满足各种产品对高分子材料性能的不同要求，而SLS法则可使用多种高分子材料，直接制作出性能不同的高分子材料产品。单件或数件高分子材料产品的SLS快速成型工艺如图0-1所示。

(2) 小批量高分子材料产品的成型技术

小批量高分子材料产品的成型技术，可采用以下技术路线：三维CAD→快速成型制作原型件→制作硅胶模（常称“软模”）→采用双组分高分子材料真空注塑法制成高分子材料产品。小批量高分子材料产品的真空注塑成型工艺如图0-2所示。

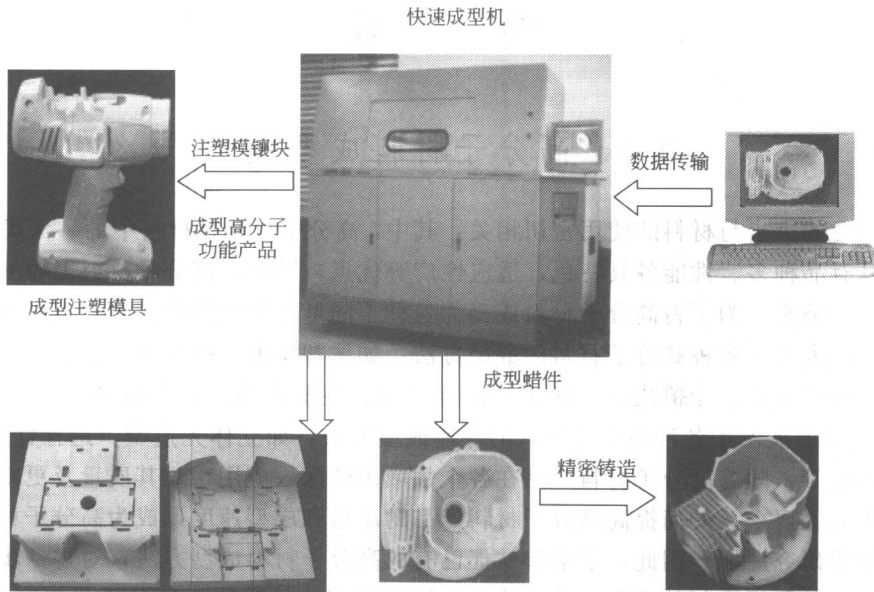


图 0-1 单件或数件高分子材料产品的 SLS 快速成型工艺

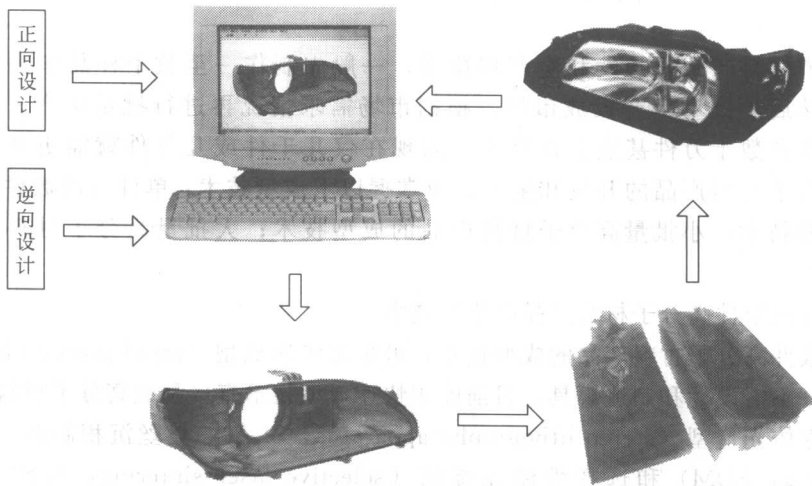
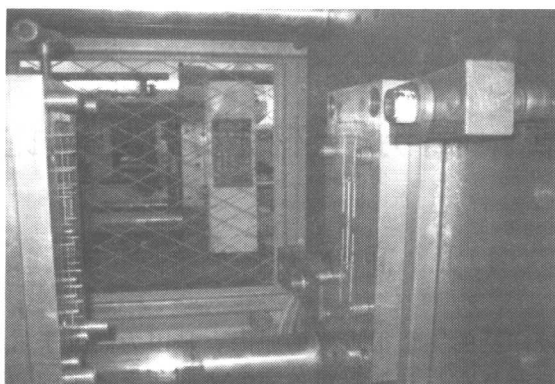


图 0-2 小批量高分子材料产品的真空注塑成型工艺

(3) 大批量高分子材料产品的成型技术

大批量高分子材料产品目前仍采用常规的注塑、挤出等成型方法。模具制造周期很长，成本很高，投资风险很大。如何解决大批量高分子材料产品模具的快速、低成本制造，成为国内外的研究热点。大批量高分子材料产品的注塑成型工艺如图 0-3 所示。

注塑模具及注塑机



批量生产的高分子产品

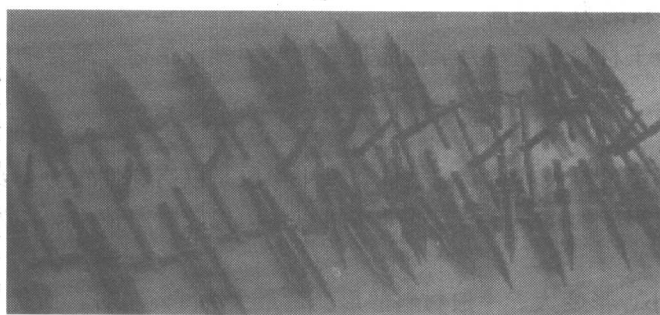


图 0-3 大批量高分子材料产品的注塑成型工艺

0.3 本课程的特点和学习要求

本课程的目的就在于用较少的篇幅全面地介绍高分子材料的不同成型技术，以及与之相关的知识。同时，兼顾不同知识背景学生的要求，以高分子材料的性能、成型及应用为主线，吸收近年来国内外有关的最新研究成果，以实际的应用实例为背景，以利于学生的理解。

(1) 课程目标

主要介绍常用高分子材料的种类、性能、制备、成型、应用及其最新进展，是相关专业的本科生和研究生教学用书。通过本门课程的学习，学生需要达到以下目的：

- ① 掌握常用高分子材料的名称、种类、结构、特点、性能及其合成方法；
- ② 掌握常用高分子材料的制备方法；
- ③ 熟悉常用高分子材料的成型设备及其成型方法；
- ④ 了解高分子材料成型方法的最新进展；
- ⑤ 了解计算机技术在高分子材料成型中的应用领域及其方法。

(2) 教学安排及方式

高分子材料成型技术涉及内容广，以 40 学时左右为宜，主要以讲授为主（采用专题讲座的方式），配以实物演示、现场参观和文献调研等教学形式。

(3) 考核方式

对本科生，建议采用开卷考试方式；对研究生，采用论文考核方式。

第 1 章 高分子材料成型理论基础

1.1 高分子材料的性能

高分子材料应用比较广泛的一个很重要的原因，是因为高分子材料具有诸如其他材料所不可比拟的性能，也因此而具有与其他材料不同的成型技术，了解和掌握高分子材料的性能对学习高分子材料成型技术十分重要。

1.1.1 高分子材料的力学性能

对大多数高分子材料来说，力学性能是最重要的性能指标。聚合物的力学特性是由结构特性所决定的。

(1) 高弹性

高弹性是高分子材料极其重要的性能，其中橡胶是以高弹性作为主要特征。聚合物在高弹态都能表现一定程度的高弹性，但并非都可以作为橡胶材料使用，作为橡胶材料必须具有以下特点。

① 弹性模量小，形变大。一般材料的形变量最大为 1% 左右，而橡胶的高弹形变很大，可以拉伸 5~10 倍，弹性模量只有一般固体材料的万分之一左右。

② 弹性模量与绝对温度成正比。一般材料的模量随温度的提高而下降。

③ 形变时有热效应，伸长时放热，回缩时吸热。

④ 在一定条件下，高弹形变表现明显的松弛现象。

高弹形变的特点是由高弹形变的本质所决定的。

(2) 黏弹性

聚合物的黏弹性是指聚合物既有黏性又有弹性的性质，实质上是聚合物的力学松弛行为。在玻璃化转变温度以上，非晶态线型聚合物的黏弹性最为明显。对理想的黏性液体即牛顿液体，其应力-应变行为遵从牛顿定律；对虎克体，其应力-应变行为遵从虎克定律。聚合物既有弹性又有黏性，其形变和应力都是时间的函数。

① 静态黏弹性。高聚物的静态黏弹性是指在固定的应力（或应变）下形变（或应力）随时间的延长而发展的性质。典型的表现是蠕变和应力松弛。

在一定温度、一定应力作用下，材料的形变随时间的延长而增加的现象称为蠕变。对线型聚合物形变可以无限发展且不能完全回复，保留一定的永久变形。对交联聚合物，形变可达一平衡值。

在温度、应力恒定的条件下，材料的内应力随时间延长而逐渐减少的现象称为应力松弛。在应力松弛过程中，模量随时间而减少，所以这时的模量称为松弛模量。

② 动态黏弹性。指在应力周期性变化下聚合物的力学行为，也称动态力学性质。

(3) 聚合物的力学屈服

在一定条件下，由于拉伸应力的作用，聚合物表现的应力-应变曲线如图 1-1 所示。该曲线也称冷拉曲线。曲线的起始 OA 阶段则基本上是一段直线，应力应变成正比，试样表现虎克

弹性行为。B点为屈服点，当应力达到屈服点之后，在应力不变的情况下产生较大的形变，除去应力后，材料不能恢复原样，即材料屈服了。屈服点对应的应力称为屈服应力或屈服强度。一般来讲，屈服应力是聚合物作为结构材料使用的最大应力。屈服点后，聚合物开始出现细颈（也有不出现细颈的）。此后的形变是细颈的逐渐扩大，直到D点。然后进入第三阶段，试样再度被均匀拉伸，应力提高，直到在E点拉断为止。E点的应力称为拉伸强度，相应的形变称为断裂伸长率。

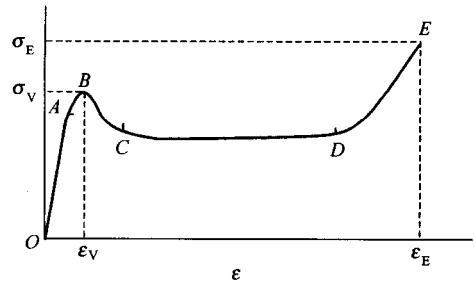


图 1-1 聚合物应力-应变曲线

屈服前就出现断裂的玻璃态聚合物表现为脆性，屈服之后才断裂的玻璃态聚合物表现为韧性。

非晶态聚合物在 T_g 之下，结晶聚合物在熔点 T_m 之下，一般都有明显的拉伸屈服现象。屈服之后的形变可达百分之数百。在拉伸温度下，解除应力后，形变不能回复，将温度提高到拉伸温度以上，即非晶态聚合物的 T_g 、晶态聚合物的 T_m 以上，屈服形变可以自动回复。所以说，屈服形变的本质就是一种高弹形变。从分子机理而言是大分子链构象改变的结果，对结晶聚合物还包括晶粒的取向、滑移、片晶的破裂、熔化、重结晶等过程。

屈服形变的过程包含两种可能的过程，即剪切形变过程和银纹化过程。

(4) 聚合物的力学强度

将聚合物材料按照结构完全均匀的理想情况计算得到的理论强度要比聚合物的实际强度高出几十倍，甚至上百倍。其主要原因是聚合物的实际结构存在着大小不一的缺陷，引起应力的局部集中。而弹性模量实际值与理论值比较接近。

聚合物的抗张强度与聚合物本身的结构、取向、结晶度、填料等有关，同时还与载荷速率和温度等外界条件有关。冲击强度在很大程度上取决于试样缺口的特性，此外成型条件、分子量、添加剂等对冲击强度也有影响。表 1-1 为常见聚合物的力学强度。

表 1-1 常见聚合物的力学强度

材料名称	缺口冲击强度 / $\times 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1}$	拉伸强度 / $\times 10^5 \text{ Pa}$	断裂伸长率 /%	拉伸模量 / $\times 10^7 \text{ Pa}$	弯曲强度 / $\times 10^5 \text{ Pa}$	弯曲模量 / $\times 10^7 \text{ Pa}$
聚苯乙烯	1.3~2.1	345~610	1.2~1.5	274~346	600~947	108~137
ABS	5.3~53	166~610	10~140	65~284	284~930	296
聚氯乙烯	15.9~106	345~610	20~40	245~412	696~1104	
聚丙烯	2.65~10.5	330~414	200~700	118~138	414~552	118~157
尼龙 66	5.3~15.9	814	60	314~324	980~1180	287~294
尼龙 6	5.3~15.9	727~764	150	255	980	236~254
聚甲醛	10.6~15.9	612~664	60~75	274	892~902	255
聚碳酸酯	63~68.9	657	60~100	216~236	962~1042	196~294
聚砜	6.8~26.5	704~837	20~100	245~275	1060~1250	275
聚酰亚胺	4.7	925	6~8	—	>980	314
聚苯醚	26.5	846~876	30~80	245~275	962~1348	196~206
聚四氟乙烯	10.6~21.2	139~247	250~350	39	108~137	
高密度聚乙烯	2.15~107	215~380	60~150	82~93	245~392	108~137

(5) 疲劳强度

聚合物在周期性交变应力作用下在低于静态强度的应力下破裂，这种现象称为疲劳现

象。同样的疲劳现象也是在应力作用下，由裂纹的发展引起的。在一定负荷的反复作用下，材料的疲劳寿命随聚合物分子量的提高而增加。如聚苯乙烯分子量从 1.6×10^{-5} 增到 8.6×10^{-5} 时，疲劳寿命大约增大 10 倍多。

疲劳强度和静强度的比值，对大多数热塑性聚合物为 1/4，增强材料稍大一些，而一些工程材料，如聚甲醛和聚四氟乙烯可达到 0.4~0.5。一般来讲，这个比值随着分子量及温度的提高而增加。

(6) 蠕变

高分子材料在一恒定应力作用下，应变随时间而逐渐发展，最后达到平衡的现象。室温下的蠕变现象又叫冷流。非高分子材料也有蠕变现象，不过高分子材料较明显。它受高分子的分子量、链缠结、交联和交联程度、结晶和结晶度、温度以及高分子材料本身结构的影响。

蠕变实验可在拉伸、压缩、剪切等方式下进行。高分子材料在恒定拉力作用下，应变随时间增加，导致黏性流动，直至试样断裂叫蠕变断裂。蠕变过程中应力与应变的比值叫蠕变模量，显然，它是时间的函数。材料用于工程，常常考虑其抗蠕变性能。

(7) 应力松弛

物质体系在恒定的应变下，应力随时间而衰减的现象。常用时间来表征应力松弛所经历的时间，高分子应力松弛的模型极复杂。线型高分子，由于可发生黏性流动，应力最终可松弛到零。对于交联高分子，则不可能达到零。用应力松弛仪可以测出高分子试样在拉伸时的应力松弛。

1.1.2 高分子材料的物理性能

(1) 热性能

由于聚合物一般是靠分子间力结合的，所以导热性比靠自由电子的热运动导热的金属材料低得多，属于较差的一类。固体聚合物的热导率范围较窄，一般在 $0.22 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 左右；结晶聚合物的热导率稍高一些；非晶聚合物的热导率随着分子量的增大而增大；微孔聚合物的热导率非常低，一般为 $0.03 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 左右，随密度的下降而减小。总的来讲，加入增塑剂的材料会使热导率下降，随温度的变化有所波动，但是一般不超过 10%，取向会引起热导率各向异性，取向方向增大，而横向减少。高分子材料的比热容和热膨胀性比金属材料及无机材料大。

(2) 电性能

聚合物是极好的电器材料，聚合物的电性能主要是由其化学结构所决定。聚合物的体积电阻率常随充电时间的延长而增加，在各种电工材料中聚合物是电阻率非常高的绝缘材料。损耗角的正切值称为介电损耗，在通常情况下，只有极性聚合物才有明显的介电损耗，而非极性聚合物介电损耗的原因是由于极性杂质的存在。极性基团可位于大分子主链，也可位于侧基。聚合物介电强度的上限是由聚合物结构内共价键电离能决定的。

此外，由于聚合物的高电阻率使得它有可能积累大的静电荷，比如聚丙烯纤维因摩擦可产生高达 1500V 的静电压。一般聚合物可以通过体积传导、表面传导等来消除静电。目前工业上广泛采用添加抗静电剂来提高聚合物的表面导电性。

(3) 光性能

① 折射。聚合物的折射率是由其分子的电子结构因辐射的光电场作用发生形变的程度所决定，聚合物的折射率一般都在 1.5 左右。无应力的非晶态聚合物在光学上也是各向同性的，因此只有一个折射率；结晶的和各向异性的材料，折射率沿不同的主轴方向有不同的数