



教育部高职高专规划教材

# 高分子材料基本加工工艺

第二版

▶ 王加龙 主编  
吴清鹤 主审



化学工业出版社

教育部高職高專規畫教材

## 教育部高職高專規畫教材

# 高分子材料基本加工工藝

## 第二版

王加龍 主編  
吳清鶴 主審

號裝 (CIP) 目編題王許國

此書是《高分子材料基本加工工藝》(王加龍主編)的續編

教育部高職高專規畫教材

ISBN 958-7-153-04143-2

《高分子材料基本加工工藝》(王加龍主編)第一版

2007年11月第1版

中國本國圖書CIP數據核字(2007)第112511號

文編字號：958715304143  
責任編輯：王加龍

責任編輯：王加龍  
責任校對：吳清鶴

北京：化學工業出版社，2007年11月第1版

北京：化學工業出版社，2007年11月第1版

北京：化學工業出版社，2007年11月第1版

北京：化學工業出版社，2007年11月第1版



化學工業出版社

·北京·

本书详细阐述了高分子材料的基本理论和基本加工工艺。全书分为上下两篇：上篇详细阐述了高分子材料加工的基础理论，如高分子材料在加工中的流变行为、热行为及常用的高分子材料；下篇详细地阐述了物料的配制原理与工艺、挤出成型、注射成型、压延成型、泡沫塑料的成型、模压成型和其他成型方法，还较为详细地阐述了橡胶在加工过程中的硫化工艺。

本书的内容密切联系现代生产实际，工艺方法切实可行，工艺参数与生产实际吻合，可作为高分子材料加工技术类专业的专业教材，也是从事高分子材料加工人员的一本很好的参考资料，还可作为技术工人培训的理论教材。

# 高分子材料基本加工工艺

## 第二版

主编 王加龙

副主编 吴青

### 图书在版编目 (CIP) 数据

高分子材料基本加工工艺/王加龙主编. —2 版. —北京:  
化学工业出版社, 2009. 2

教育部高职高专规划教材

ISBN 978-7-122-04142-5

I. 高… II. 王… III. 高分子材料-生产工艺-高等学校:  
技术学院-教材 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 178511 号

责任编辑: 于 卉

文字编辑: 徐雪华

责任校对: 战河红

装帧设计: 于 兵

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$  字数 418 千字 2009 年 2 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

# 高职高专高分子材料加工技术专业规划教材 编审委员会

顾问 陶国良

主任委员 王荣成

副主任委员 陈滨楠 陈炳和 金万祥 冉新成 王慧桂

杨宗伟 周大农

委员 (按姓名汉语拼音排列)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 卜建新 | 蔡广新 | 陈滨楠 | 陈炳和 | 陈改荣 | 陈华堂 |
| 陈健  | 陈庆文 | 丛后罗 | 戴伟民 | 邸九生 | 付建伟 |
| 高朝祥 | 郭建民 | 侯文顺 | 侯亚合 | 胡芳  | 金万祥 |
| 孔萍  | 李光荣 | 李建钢 | 李跃文 | 刘巨源 | 刘青山 |
| 刘琼琼 | 刘少波 | 刘希春 | 罗成杰 | 罗承友 | 麻丽华 |
| 聂恒凯 | 潘文群 | 潘玉琴 | 庞思勤 | 戚亚光 | 冉新成 |
| 桑永  | 王国志 | 王红春 | 王慧桂 | 王加龙 | 王玫瑰 |
| 王荣成 | 王艳秋 | 王颖  | 王玉溪 | 王祖俊 | 翁国文 |
| 吴清鹤 | 肖由炜 | 谢晖  | 徐应林 | 薛叙明 | 严义章 |
| 杨印安 | 杨中文 | 杨宗伟 | 张芳  | 张金兴 | 张晓黎 |
| 张岩梅 | 张裕玲 | 张治平 | 赵继永 | 郑家房 | 郑式光 |
| 周大农 | 周健  | 周四六 | 朱卫华 | 朱雯  | 朱信明 |
| 邹一明 |     |     |     |     |     |

## 前 言

《高分子材料基本加工工艺》(简称《基本工艺》)自从2004年7月出版以来,在我国相关专业高职高专学校使用了四年多,社会效益较好。《基本工艺》的内容密切联系现代生产实际,工艺方法切实可行,工艺参数与生产实际吻合,是刚从事高分子材料加工人员的一本很好的参考资料。《基本工艺》的内容翔实,图文并茂,也可供非高分子材料专业的人员参考,还可作为技术工人培训的理论教材。

但根据四年多来的使用情况,《基本工艺》(第一版)还有一些不能完全适应高职教育的内容。如原书的第一章有关流道的计算,理论太深;第二章有关不稳定传热的计算,理论也太深;又如,橡胶方面的内容太分散,故第二版将橡胶加工的内容并为一章;第一版第六章中实际生产中的内容较少,第二版增加注射机的操作方面的内容。

《基本工艺》(第二版)教材体现高职高专这类院校的特点,教材中淡化了理论推导,强化了实际技能培训,使学生到社会上能尽快适应实际生产。部分不适合实际生产的内容作了必要的修改。

《基本工艺》(第二版)共分十一章,分上下两篇:上篇是“基础理论”,下篇是“基本工艺”。“基础理论”部分包括“高分子材料加工流变学概论”、“高分子材料加工中的热行为”和“常用高分子材料”共3章;“基本工艺”部分包括“成型用物料的配制”、“塑料挤出成型”、“塑料注射成型”、“塑料压延成型”、“泡沫塑料加工工艺”、“塑料模压成型”、“橡胶加工工艺”和“其他工艺方法”共8章。

在编写过程中,在全面阐述成熟的基础理论和基本工艺的前提下,力求介绍高分子材料工业中的新材料、新设备、新工艺和新技术。书中的内容与生产实践结合紧密,学生读完本书后,对高分子材料的基本加工工艺有一定了解。

本书由常州轻工职业技术学院王加龙担任主编,并编写绪论、第一章第五节、第五章、第六章、第七章、第八章、第九章、第十章第一节、第十一章和附录。广东轻工职业技术学院吴清鹤担任主审。江苏技术师范学院的周健编写第一章第一节至第四节和第二章。广东轻工职业技术学院的王玫瑰编写第三章。湖南科技职业学院的李跃文编写第四章和第十章第二节。徐州工业职业技术学院的王艳秋编写第十章第三节至第五节。在编写过程中,得到了陶国良、戚亚光等同志的大力支持,在此表示衷心的感谢。

编 者

2008年11月

# 第一版前言

本书是教育部高职高专规划教材，是按照教育部对高职高专人才培养的指导思想，广泛吸取近几年来高职高专教育工作经验的基础上编写的，本书的内容体现了石油、化工、轻工和建材四大行业几十年来在教育和生产方面改革的经验和成果，是高分子材料加工专业的必备专业教材。

本书共分十一章，分上下两篇：上篇是“基础理论”，下篇是“基本工艺”。“基础理论”部分包括“高分子材料加工与流变学概论”、“高分子材料加工中的热行为”和“常用高分子材料”共3章；“基本工艺”部分包括“成型用物料的配制”、“塑料与橡胶挤出成型”、“塑料与橡胶注射成型”、“塑料与橡胶压延成型”、“泡沫塑料成型工艺”、“塑料与橡胶模压成型工艺”、“橡胶硫化与塑料交联”和“其他工艺方法”共8章。

在编写过程中既注意从本专业学生掌握基础理论的需要出发，又注意到培养学生的综合素质和应用专业知识的能力，在全面阐述成熟的基础理论和基本工艺的前提下，力求介绍高分子材料工业中的新材料、新设备、新工艺和新技术。书中的内容与生产实践结合紧密，学生读完本书后，对高分子材料的基本加工工艺有一定了解。

本书由常州轻工职业技术学院王加龙担任主编，并编写绪论、第一章第五节和第六节、第三章第二节和第三节、第五章第一节、第七章第二节、第八章、第十章第二节、第十一章和附录。广东轻工职业技术学院吴清鹤担任主审。江苏技术师范学院周健编写第一章第一节至第四节和第二章。广东轻工职业技术学院王玫瑰编写第三章第一节和第六章第一节。湖南科技职业学院李跃文编写第四章第一节至第三节和第九章第一节。徐州工业职业技术学院王艳秋编写第四章第四节、第五章第二节、第六章第二节、第七章第一节和第三节、第九章第二节和第十章第一节。在编写过程中，得到了陶国良、威亚光等同志的支持，在此表示衷心的感谢！

2004年4月

书 号

ISBN 7-309-05200-1



# 目 录

|                    |   |
|--------------------|---|
| 绪论                 | 1 |
| 一、高分子材料及其成型加工      | 1 |
| 二、高分子材料加工特性        | 2 |
| 三、《基本工艺》在高分子材料加工中的 |   |

## 上篇 基础理论

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第一章 高分子材料加工流变学概论     | 7  |
| 第一节 高分子材料流体的剪切流动     | 7  |
| 一、牛顿液体的流动            | 7  |
| 二、高分子流体剪切流动状态的判别     | 9  |
| 三、非牛顿液体的流动           | 9  |
| 第二节 高分子材料流体的拉伸流动     | 11 |
| 一、拉伸流动与拉伸黏度          | 11 |
| 二、拉伸流动与剪切流动的关系       | 12 |
| 第三节 高分子熔体的黏性流动与弹性    | 12 |
| 一、高分子黏性流动的特点         | 13 |
| 二、高分子熔体黏度的影响因素       | 14 |
| 三、高分子熔体的弹性及影响因素      | 17 |
| 第四节 高分子熔体在简单截面导管中的流动 | 20 |
| 一、高分子熔体在长圆管中的流动      | 20 |
| 二、高分子流体在狭缝形导管内的流动    | 25 |
| 第五节 高分子材料加工中的聚集态     | 27 |
| 一、加工过程中的结晶           | 28 |
| 二、成型-结晶-性能之间的关系      | 31 |
| 三、加工中的取向             | 34 |
| 习题                   | 37 |
| 第二章 高分子材料加工中的热行为     | 38 |
| 第一节 高分子材料的热物理特性      | 38 |
| 一、热膨胀                | 38 |

## 下篇 基本工艺

|                  |    |
|------------------|----|
| 第四章 成型用物料的配制     | 71 |
| 第一节 物料的初加工与配料    | 71 |
| 一、物料的预处理         | 71 |
| 二、物料的输送与计量       | 74 |
| 三、塑料分散体及其制备      | 74 |
| 第二节 塑炼和混炼设备及工作原理 | 78 |
| 一、开炼机            | 78 |

|                |    |
|----------------|----|
| 二、密炼机          | 82 |
| 三、连续式塑炼设备      | 84 |
| 第三节 塑料的混合与塑化工艺 | 85 |
| 一、塑料的初混合       | 85 |
| 二、塑料的塑炼和混炼     | 89 |
| 习题             | 92 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 二、热容                 | 39 |
| 第二节 高分子材料加工业中的热传导    | 40 |
| 一、传热基本概念             | 40 |
| 二、高分子材料加工中的热传导       | 42 |
| 三、热扩散系数              | 44 |
| 第三节 高分子材料加工过程中的生成热   | 45 |
| 一、高分子熔体因摩擦而生成的热量     | 46 |
| 二、在周期应力作用下,由内耗所引起的温升 | 46 |
| 三、高分子材料在成型加工中的化学反应热  | 48 |
| 习题                   | 48 |
| 第三章 常用高分子材料          | 49 |
| 第一节 常用树脂             | 49 |
| 一、热固性树脂              | 49 |
| 二、通用热塑性树脂            | 54 |
| 三、热塑性工程塑料            | 59 |
| 第二节 热塑性弹性体           | 63 |
| 一、热塑性弹性体及其分类         | 63 |
| 二、热塑性弹性体的结构特征和性能     | 64 |
| 三、热塑性弹性体的配方、加工和应用    | 65 |
| 四、新型弹性体——茂金属聚合物      | 66 |
| 习题                   | 70 |

|            |    |
|------------|----|
| 习题         | 92 |
| 第五章 塑料挤出成型 | 93 |

|                               |     |                                   |     |
|-------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| 第一节 挤出成型概论 .....              | 93  | 三、泡沫塑料的发泡方法 .....                 | 150 |
| 一、概述 .....                    | 93  | 四、发泡助剂 .....                      | 152 |
| 二、塑料工业中的单螺杆挤出机 .....          | 94  | 第二节 物理发泡法 .....                   | 152 |
| 三、塑料在挤出机中的状态及流动 .....         | 96  | 一、PS 泡沫塑料 .....                   | 152 |
| 四、双螺杆挤出机 .....                | 99  | 二、溶解惰性气体发泡法成型 SPVC<br>泡沫塑料 .....  | 154 |
| 第二节 通用塑料制品挤出工艺简介 .....        | 101 | 三、PE 的低沸点液体物理发泡法的<br>挤出成型 .....   | 155 |
| 一、塑料管材的挤出成型 .....             | 101 | 第三节 化学发泡法 .....                   | 156 |
| 二、挤出吹塑薄膜成型工艺 .....            | 105 | 一、化学发泡剂的特性与选择 .....               | 156 |
| 三、挤出流延薄膜加工工艺 .....            | 110 | 二、化学发泡模压法生产 SPVC 泡沫<br>拖鞋 .....   | 156 |
| 四、挤出法塑料板材加工工艺 .....           | 112 | 三、化学发泡注射法生产 SPVC 泡沫<br>塑料拖鞋 ..... | 157 |
| 五、塑料丝的加工工艺 .....              | 115 | 四、化学发泡法低发泡挤出 RPVC<br>异型材 .....    | 157 |
| 六、其他挤出制品加工工艺 .....            | 116 | 五、PE 塑料的交联发泡 .....                | 157 |
| 习题 .....                      | 117 | 第四节 聚氨酯泡沫塑料及其成型 .....             | 159 |
| <b>第六章 塑料注射成型</b> .....       | 118 | 一、聚氨酯泡沫塑料所用的原料和<br>助剂 .....       | 160 |
| 第一节 塑料注射成型原理 .....            | 118 | 二、成型过程中的基本化学反应与<br>成型方法 .....     | 161 |
| 一、塑料注射成型机的主要技术参数 .....        | 118 | 三、聚氨酯泡沫塑料生产工艺 .....               | 163 |
| 二、塑料注射工艺过程 .....              | 120 | 习题 .....                          | 164 |
| 第二节 注塑工艺参数的设置 .....           | 121 | <b>第九章 塑料模压成型</b> .....           | 166 |
| 一、预塑参数 .....                  | 121 | 第一节 塑料模压成型 .....                  | 166 |
| 二、合模参数 .....                  | 122 | 一、模压成型原理 .....                    | 166 |
| 三、温控参数 .....                  | 123 | 二、热固性塑料模压成型工艺 .....               | 167 |
| 四、压力参数 .....                  | 124 | 第二节 塑料交联反应 .....                  | 174 |
| 五、成型周期 .....                  | 126 | 一、热固性塑料的交联作用 .....                | 174 |
| 六、多级注塑 .....                  | 127 | 二、热塑性塑料的交联 .....                  | 176 |
| 七、常用塑料的注射工艺参数汇总 .....         | 127 | 习题 .....                          | 177 |
| 第三节 注射机的操作 .....              | 131 | <b>第十章 橡胶加工工艺</b> .....           | 178 |
| 一、了解所需的注塑信息 .....             | 131 | 第一节 橡胶原辅材料 .....                  | 178 |
| 二、按照工艺卡的数据设置工艺参数 .....        | 132 | 一、合成橡胶 .....                      | 178 |
| 三、料筒的清洗 .....                 | 134 | 二、橡胶用配合剂 .....                    | 185 |
| 习题 .....                      | 136 | 第二节 橡胶塑炼工艺 .....                  | 189 |
| <b>第七章 塑料压延成型</b> .....       | 137 | 一、橡胶的塑炼机理 .....                   | 190 |
| 第一节 压延成型概论 .....              | 137 | 二、橡胶塑炼工艺 .....                    | 191 |
| 一、压延机主要技术参数 .....             | 137 | 第三节 橡胶混炼工艺 .....                  | 196 |
| 二、高分子材料在压延机辊筒间的流动<br>状态 ..... | 139 | 一、开炼机混炼工艺 .....                   | 197 |
| 第二节 塑料压延成型 .....              | 141 | 二、密炼机混炼工艺 .....                   | 198 |
| 一、SPVC 塑料薄膜的压延工艺 .....        | 141 | 三、胶料的流动性 .....                    | 200 |
| 二、硬 PVC 片材的压延成型 .....         | 146 | 第四节 橡胶的加工工艺 .....                 | 201 |
| 三、压延机的调试、操作、维护和<br>保养 .....   | 147 | 一、橡胶的压延成型 .....                   | 201 |
| 习题 .....                      | 147 |                                   |     |
| <b>第八章 泡沫塑料加工工艺</b> .....     | 149 |                                   |     |
| 第一节 气泡形成原理和发泡方法 .....         | 149 |                                   |     |
| 一、概述 .....                    | 149 |                                   |     |
| 二、泡沫塑料气泡形成原理 .....            | 149 |                                   |     |



|                           |     |                        |     |
|---------------------------|-----|------------------------|-----|
| 二、橡胶的挤出工艺 .....           | 207 | 第二节 浇铸成型 .....         | 236 |
| 三、橡胶的注射工艺 .....           | 210 | 一、概述 .....             | 236 |
| 四、橡胶模压工艺 .....            | 216 | 二、MC 尼龙静态浇铸 .....      | 237 |
| 第五节 橡胶的硫化 .....           | 217 | 三、PMMA 的浇铸 .....       | 238 |
| 一、橡胶硫化历程及胶料性能的变化 .....    | 218 | 四、搪塑成型 .....           | 240 |
| 二、正硫化及其测定方法 .....         | 219 | 五、其他几种浇铸工艺 .....       | 241 |
| 三、硫化介质与硫化工艺方法 .....       | 222 | 第三节 其他成型方法 .....       | 241 |
| 四、硫化时间的计算 .....           | 226 | 一、中空吹塑 .....           | 241 |
| 习题 .....                  | 229 | 二、人造革的涂覆成型 .....       | 244 |
| <b>第十一章 其他工艺方法</b> .....  | 231 | 三、涂层工艺 .....           | 245 |
| 第一节 塑料的热成型与冷成型 .....      | 231 | 第四节 废旧塑料的回收与再生利用 ..... | 246 |
| 一、热成型的基本方法及其特点 .....      | 231 | 一、废旧塑料中杂质的清除 .....     | 246 |
| 二、热成型的设备及工艺要求 .....       | 232 | 二、塑料的鉴别与分类 .....       | 246 |
| 三、热成型工艺实例 .....           | 233 | 三、塑料的再生和利用 .....       | 247 |
| 四、冷成型 .....               | 235 | 习题 .....               | 247 |
| <b>附录 计量单位与换算关系</b> ..... | 249 |                        |     |
| <b>参考文献</b> .....         | 255 |                        |     |

# 绪 论

## 学习目标

1. 掌握高分子材料及其加工的基本概念和基本特性。
2. 掌握高分子材料原料生产和制品生产的关系。
3. 了解高分子材料的过去、现在和将来。

现代文明和未来的进步由“能源工程”、“信息工程”、“生物工程”和“材料工程”四大支柱支撑着。因此，材料的发展直接影响到人类生活和科学技术的状况。人们通常将材料分为“金属材料”、“无机非金属材料”和“有机材料”。有机材料又分为“有机低分子材料”和“有机高分子材料”（简称高分子材料）。高分子材料原料丰富、性能优良，在材料领域中所占的位置日益重要。

高分子材料从来源来分，可分为“天然高分子材料”和“合成高分子材料”。天然高分子材料种类很多，如蛋白质、纤维素、天然橡胶等。本课程基本上不讨论其他天然高分子材料，只涉及天然橡胶。合成高分子材料主要是三大合成材料，即塑料、合成橡胶和合成纤维。严格地讲，高分子材料还包括涂料、黏合剂等，但人们已习惯将高分子材料称为三大合成材料。三大合成材料应用广泛，发展前景看好。本教材重点阐述塑料材料。

什么叫高分子？通常认为，相对分子质量超过  $10^4$  的材料称为高分子物；但有时相对分子质量不到  $10^4$  的材料也称为高分子物。应当注意，“高分子物”和“高分子材料”的主要区别是：高分子物是一种物质，将高分子物经过工程技术处理后才能成为高分子材料；高分子材料再经过成型加工，才能进入实用领域，成为高分子制品或成品。研究高分子物、高分子材料及高分子材料成型加工的学科叫做高分子学科。

在 高分子领域里，有几个词比较含混：高分子又有人称为大分子，也有将高分子称为高聚物或聚合物。笔者认为：高分子或称大分子，应该包括“天然的较高相对分子质量的物质”（如天然橡胶、蛋白质等）和“人工合成的较高相对分子质量物质”。高聚物或聚合物只是人工合成的相对分子质量物质的较高的有机物，如聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）等，而不包括人工合成胰岛素等有机高分子物，也不包括人造水晶等无机高分子物。

## 一、高分子材料及其成型加工

塑料是以树脂（有时用单体在加工过程中直接聚合）为主要成分，一般含有添加剂、在加工过程中能流动成型的材料（注：目前塑料一词尚无确切定义，一般不包括弹性体、纤维、涂料、黏合剂）。如果说塑料还能以其组成和加工过程中的流动成型来阐述，那么，橡胶和纤维连这样也无法清楚表达其定义；只能以这些材料在使用过程中的某些特性来阐述。例如，橡胶是具有高弹性，能在外力作用下变形，除去外力后又恢复原来形状的材料，橡胶是具有独特的高弹性、优异的疲劳强度、极好的电绝缘性与耐磨性的材料。纤维则是指柔

韧、纤细的丝状物，有相当的长度、强度和弹性。

高分子材料加工（加工亦称成型或成型加工）是将高分子材料转变成所需形状和性质的实用材料或制品的工程技术。例如，塑料成型加工是一门工程技术专业的总称。所涉及的内容是将塑料材料转变为塑料制品的各种工艺和工程。将塑料材料转变为塑料制品也就是增添其使用价值。在转变的工艺过程中常会发生以下一种或几种情况：化学变化、流动以及物理性能的改变。当然，橡胶的成型加工也有类似情形。培养工程技术人员，就应该让学生尽早地接触工程、认识工程、具有工程意识，具有工程师的思维模式。

《高分子材料基本加工工艺》（简称《基本工艺》）的内容分为两大部分。第一部分是“基础理论”，主要有这几方面：①高分子材料的流变行为及其基本特性。②在成型加工过程中能量的交换及其变化规律。如热量的传递与定量计算，机械能、电能与热能之间的相互转化与定量计算。③常用高分子材料及其基本特性。第二部分为“基本工艺”。主要包括：①成型用物料的配制原理及工艺流程。②高分子材料的挤出成型的基本原理和工艺。③高分子材料的注射成型的基本原理和工艺。④高分子材料的压延成型的基本原理和工艺。⑤泡沫塑料的工艺原理及工艺。⑥高分子材料的模压工艺原理和工艺。⑦橡胶加工基本原理和工艺。⑧其他工艺方法的基本原理和工艺。

形状的转变往往是为满足使材料转化为制品这一过程而进行的。大多数情况下是使高分子材料流动或变形来实现形状的转变。要使高分子材料流动，往往采用加热，而使黏流状态的材料定型又必须将热量散发出来。高分子材料结构的转变包括高分子材料的组成、组成方式、微观和宏观结构的变化等，也包括高分子材料结晶和取向所引起材料聚集态的变化。这种转变主要是为满足对成品内在质量的要求而进行的，一般通过配方设计（即材料按适当的比例混合），采用先进的工艺流程和适宜工艺参数来实现。加工过程中高分子材料结构的转变有些是材料本身所固有的，亦或是有意进行的，有些则是不正常的加工方法或工艺参数所引起的。如何才能使高分子材料在加工过程中，使这些转变向着我们所期望的方向进行呢？首先要深刻理解和熟悉这些转变过程中的基本原理和基本工艺，而这正是这门课程的主要任务。当然，实际生产经验也是不可少的。

通过本课程的学习，使学生对高分子材料加工概况有个总体的初步了解。如果我们将高分子材料加工行业看成一个“公园”，而《基本工艺》这门课程就是这个公园的一张“导游图”。当你毕业后工作时，你必然在这个公园的某个“景点”（即某一个高分子材料加工工艺）进行深入细致的研究；这时你就可能发现：用同一材料加工成同一产品时，有时会有两种或两种以上的工艺路线；这时，工业生产中就有最优化的问题需要解决。用何种工艺路线能达到产品质量好，生产效率高，设备投资少，制品成本低。当你走到这一层次时，你就深深地感受到《基本工艺》对你成才的早期影响和贡献。

## 二、高分子材料加工特性

高分子材料具有许多优良性能，如质轻、电气绝缘性好、隔热性能好等（当然，高分子材料也有其本身的不足，如力学强度低、耐老化性能差、易燃烧等）。然而，在这许多优良性能中，一个突出优点就有可能使这些高分子材料的发展前景十分乐观。这个突出的优点就是高分子材料有优异的加工性能，即能便易而廉价地加工，采用简单操作就能生产出几何形状相当复杂的制品，加工成本很少超过材料的成本。高分子材料的加工性主要表现为如下三个方面。

(1) 可挤压性 是指聚合物通过挤压作用形变时获得形状和保持形状的能力。高分子

材料在加工过程中常受到挤压作用,例如物料在挤出机和注射机料筒中、压延机辊筒间以及在模具中都受到挤压作用。只有深入研究高分子材料的可挤压性,才能对材料和工艺方面作出正确的选择和控制在。通常条件下处于固体状态的物料不能通过挤压而成型,只有当高分子材料处于黏流态时才能通过挤压获得宏观有用的变形。在挤压过程中,熔体主要受到剪切作用,因此,可挤压性主要取决于高分子熔体的剪切黏度,有时也涉及拉伸黏度。

(2) 可模塑性 是指材料在温度和压力作用下变形和在模具中模塑成型的能力。具有可模塑性的材料可通过注射、模压和挤出等加工方法制成各种形状模塑制品。可模塑性主要取决于材料的流变性、热性能和其他物理力学性能等。对于热固性高分子材料,可模塑性还与其化学反应性能有关。模塑工艺参数不仅影响高分子材料的可模塑性,而且对制品的力学性能、外观、收缩以及制品中的结晶和取向等都有重要的影响。还有,模具的结构、尺寸等也影响高分子材料的加工和产品的性能。

(3) 可延性 表示无定形或半结晶固体聚合物在一个方向或两个方向上受到压延或拉伸应力时变形的能力。材料的这种性质为生产长径比(有时是长度对厚度的比)很大的制品提供了可能。利用高分子材料的可延性,可通过压延或拉伸工艺生产薄膜、片材和纤维。高分子材料的可延性取决于材料产生塑性形变的能力。可延性也使高分子材料能产生高倍的拉伸变形,使其形成高度的分子取向材料。

其他工艺性(如可纺性)有时也不可少,热固性塑料的固化速率也属于工艺性的一部分,本书将不阐述。

### 三、《基本工艺》在 高分子材料加工中的作用

高分子材料工业共包含“原材料生产”(即树脂、生胶,还包括半成品的生产)和“制品生产”两个系统。这两个系统相辅相成。若没有原材料的生产(或原材料生产滞后),则制品的生产就成了无源之水;当然,没有制品生产(即加工工业),那么再多再好的原材料也不能进入使用领域,不会成为生产或生活资料。而《基本工艺》就是制品生产系统中的“灵魂”(即理论依据)。

原材料生产系统是指将单体聚合成为高分子材料,这在《高分子化学》课程中已作详细论述。制品生产系统是指将高分子材料加工为制品的过程。对于某些制品,采用何种原辅材料、什么样的加工方法,工艺和工程问题如何解决,这些问题将在《塑料成型工艺学》、《塑料挤出成型》和《橡胶加工工艺学》等教材中系统阐述。本教材的注意力应集中到这些工艺和工程的原理和基本工艺上。若不熟悉基础理论,则成型工艺和工程就带有盲目性,就有可能陷入“经验主义”的泥潭。而熟悉这些原理,那就有助于发展创造性的工程构思,引导新的改进设计,在成型加工的领域就有较大的“自由度”。

《基本工艺》主要有“挤出成型”、“注射成型”、“压延成型”、“模压成型”、“橡胶的基本加工工艺”及“其他工艺”。这些基本工艺几乎覆盖了高分子材料加工领域的全部。

### 四、高分子材料加工工业的发展概况

高分子材料的加工应用经历了一个曲折的发展过程。在人类原始社会时期,人们绝大多数使用天然高分子材料(如植物的纤维、动物的皮毛)作为维持生存的最低生活资料,偶尔也用石块这些无机材料。在这种情况下,高分子材料的利用率较高。随后,随着生产力和科学技术的进步,大量的金属材料被利用,在这段时期内,高分子材料的利用率比较小。进入了 20 世纪以来,尤其是第一次、第二次世界大战以来,高分子合成材料的问世和发展,高

分子材料的应用比例又在不断地上升,到目前为止,金属材料、无机非金属材料和高分子材料成鼎足之势。

高分子材料工业的发展经历了大约有一百年的时间。第一时期为萌芽期,1872年,A. Bayer 合成了酚醛(PF)树脂,1907年,Baekeland 分别在酸性催化剂和碱性催化剂下合成了线性 PF 和体型 PF。1909年,PF 塑料用作电气绝缘材料(俗称“电木粉”),1932年,PF 塑料电话机问世。这段时期的特点是:品种少,成型设备原始且粗糙,工艺不成熟。第二个阶段为发展期,这个时期的特点是塑料品种增加很快,成型设备有很大的改进,工艺逐渐成熟。1930年合成了聚苯乙烯(PS)。1927~1931年间,美国和德国先后合成了聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA,俗称有机玻璃),1938年合成了聚四氟乙烯(PTFE)。聚氯乙烯(PVC)是在第二次世界大战中合成的。1938年,英国人合成了 PE 粉末,1939年,英国建立了世界上第一个高压聚乙烯(即低密度聚乙烯,LDPE)厂。1953年,Ziegler(齐格勒)用三乙基铝/TiCl<sub>4</sub>在常压下使乙烯聚合,合成了高密度聚乙烯(HDPE)。1954年,G. Natta(纳塔)改进了催化剂,合成了等规聚丙烯(iPP)。第三个时期为变革期。在这段时期,虽然品种增加得不多,但产量有很大的提高,质量有很大改善,成型设备逐渐成熟且定型,工艺控制精确。高分子材料的工程化和功能化方面得到长足的进展,人们致力于研究高分子材料的接枝、共聚、补强、共混及合金化,以提高物理力学性能,或得到透光、抗冲、耐寒、耐热、阻燃耐候等性能,以提高材料的性价比。

从总体来说,塑料工业是一个新兴的工业,尤其在我国的塑料工业方兴未艾。

橡胶工业则既古老又富有朝气。早在1735年,人们就学会从橡胶树上割取胶乳制造胶鞋、容器等橡胶制品。1823年,英国建立了世界上第一个橡胶工厂,用溶解法生产防水胶布。1826年,Hancock 发明了橡胶塑炼机。橡胶经过塑炼后弹性下降,可塑度提高。这一发明奠定了现代橡胶加工方法的基础。1839年,Goodyear 发现了橡胶与硫黄一起加热可以消除橡胶制品“冷则变硬、热则发黏”的缺陷,而且可以大大提高橡胶的弹性和强度。硫化过程的发现,开辟了橡胶制品广泛应用的前景,有力地推动了橡胶工业的发展。直到今天,橡胶工业中基本上依然采用硫黄硫化的方法。因此,可以毫不夸张地说,硫化过程的发现是橡胶工业发展史上的一个里程碑。1900年以来,对天然橡胶的结构的研究得到突破性的进展,合成橡胶登上了历史舞台。在第一次世界大战期间,德国人用二甲基丁二烯合成了橡胶。1916年,用炭黑作橡胶补强剂,这不仅降低了橡胶制品的成本,而且大大改善了橡胶制品的性能,如汽车轮胎的强度、磨耗等物理力学性能。炭黑的应用是橡胶工业史上又一里程碑。现在,人工合成橡胶以来,无论是品种还是产量,现在均已远远超过天然橡胶。近年来,液体橡胶、热塑性橡胶及粉末橡胶的研制与应用,为橡胶工业的发展开辟了崭新的远景。

天然纤维的应用与人类社会的发展同步,而合成纤维的应用与塑料材料相似,是一个极年轻的工业。1927年,聚酯和聚酰胺合成并纺丝成功。1934年氯化聚氯乙烯(CPVC)纤维投入市场。1935年聚酰胺-66(PA-66)纤维投产,1939年聚酰胺-6(PA-6)纤维投产,1950年聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)纤维和聚丙烯腈纤维(人造羊毛)投产。现在,合成纤维的产量大大超过了天然纤维的产量。

## 习 题

### 1. 解释名词术语。

高分子 高分子物和高分子材料 塑料 橡胶 纤维 成型加工

2. 高分子材料加工特性是什么?
3. 高分子材料的基本特性有哪些 (从高分子材料的使用角度)?
4. 《高分子材料基本加工工艺》所研究的内容主要有哪些?
5. 《高分子材料基本加工工艺》在 高分子材料加工工业的作用有哪些?





# 上篇 基础理论

## 第一章 高分子材料加工流变学概论

### 学习目标

1. 掌握高分子流体流动的性质与其他材料流体的流动过程的本质区别。
2. 掌握高分子流体的流动与其加工的工艺过程及产品的综合质量的关系。
3. 学会用流变学的知识指导制品的配方设计。

流变学是研究材料流动和形变的科学，是流体力学与固体力学的有机结合，其重点是研究稳态流动随时间变化的形变过程。对于高分子材料的使用来说，力学等性能通常是比较重要的，然而，将高分子材料加工为制品的过程中，流变学的作用则是举足轻重的。本章将介绍高分子材料的剪切流动、拉伸流动、高分子流体的黏度与弹性等基本概念；介绍高分子熔体黏度和弹性的影响因素；介绍高分子熔体在简单截面导管中的流动过程中的流变方程；高分子材料加工中的聚集态变；成型设备中流道的流变学计算。

### 第一节 高分子材料流体的剪切流动

高分子材料在加工过程中流体（亦称“液体”）有两种形式：一种是高分子熔体，另一种是高分子溶液（往往是高分子高浓度的悬浮液）。在大多数高分子材料的加工过程中，都离不开高分子流体的流动。高分子流体在外力的作用下会发生流动和变形，既表现出黏性，又表现出弹性和塑性。

在 高分子材料的加工中，高分子流体的剪切流动是其主要的流动形式之一。如高分子材料在挤出、注射成型中，物料在料筒中的流动形式是以剪切流动形式为主。

#### 一、牛顿液体的流动

##### 1. 牛顿黏性定律

流体在外力作用下其内部质点可以产生相对运动。流体在运动状态下，流体存在着一种抗拒内在的向前运动的特性，这种特性称之为黏性。黏性是流体流动性的基本性质之一。

流体在管内任一截面上径向上各点的速度并不相同，中心处的速度最大，愈靠近管壁速度愈小，在管壁处的质点附于管壁上，其速度为零（理论上）。所以，流体在圆管内流动时，实际上是被分割成无数极薄的圆筒层，一层套着一层，各层以不同的速度向前运动，如图

1-1 所示。由于各层速度不同，层与层之间发生了相对运动。速度快的流体层对相邻的速度较慢的流体层产生了一个推动其向前的力；同时，速度慢的流体层对速度快的流体层也作用一个大小相等、方向相反的力，从而阻碍较快流体层向前运动。这种运动着的流体内部相邻两流体层的相互作用力，称为流体的内摩擦力。这种内摩擦阻力就表现为流体黏性，又称为黏滞力或黏性摩擦力。流体流动时的内摩擦，是流动阻力产生的依据，流体流动时必须克服内摩擦力而做功，从而流体的一部分机械能转变为热而散失掉。

如图 1-2 所示，设有上下两块平行放置且面积很大而相距很近的平板，板间充满了某种液体。若将下板固定，对上板施加一个恒定的外力  $F$ ，上板就以恒定的速度  $v$  沿  $x$  方向运动。此时，两板间的液体就会分成无数平行的薄层而运动，黏附在上板底面的一薄层液体也以速度  $v$  随上板运动，其下层液体的速度依次降低，黏附在下板表面的液层速度为零。

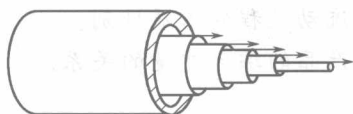


图 1-1 流体在圆管内分层流动示意图

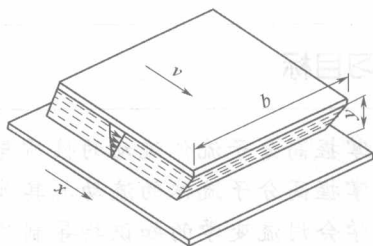


图 1-2 平板间液体速度变化图

实验证明，对于一定的液体，内摩擦力  $F$  与两流体层的速度  $\Delta v$  成正比；与两层之间的垂直距离  $\Delta y$  成反比；与两层间的接触面积  $S$  成正比，即

$$F \propto (\Delta v / \Delta y) S \quad (1-1)$$

式中  $F$ ——外力；

$\Delta v$ ——速度；

$\Delta y$ ——两层之间的垂直距离；

$S$ ——平板的面积。

若将上式写成等式，就需引进一个比例系数  $\eta$ ，即

$$F = \eta (\Delta v / \Delta y) S \quad (1-2)$$

式中  $\eta$ ——黏度。内摩擦力  $F$  与作用面  $S$  平行，单位面积上的内摩擦力称为内摩擦应力或剪应力，以  $\tau$  表示，于是上式可写成：

$$\tau = F/S = \eta (dv/dy) \quad (1-3)$$

式(1-3)只适用于  $v$  与  $y$  成直线关系的场合。当流体在管内流动时，径向速度的变化并不是直线关系，而是如图 1-3 所示曲线  $b$ 、 $c$ ，则式(1-1)应改写成：

$$\tau = \eta (dv/dy) \quad (1-4)$$

式中  $dv/dy$ ——速度梯度，即在与流动方向相垂直的  $y$  方向上流体速度的变化率；

$\eta$ ——比例系数，其值随流体的不同而异，流体的黏性越大，其值越大，亦称为黏滞系数或动力黏度，简称为黏度。式(1-3)或式(1-4)所显示的关系，称为牛顿黏性定律。

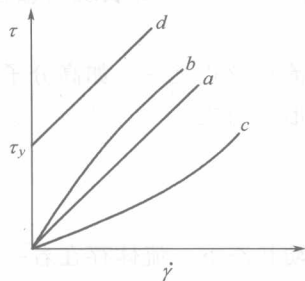


图 1-3 牛顿流体与非牛顿流体的流动曲线

$a$ —牛顿型流体； $b$ —假塑性流体；

$c$ —胀塑性流体； $d$ —宾汉型流体

## 2. 流体的黏度