

实用塑料
技术丛书



PLASTICS PROCESSING

TECHNOLOGY
AND EQUIPMENTS

塑料成型加工 杨明山 编著
工艺与设备 赵 明

Plastics Processing
Technology and Equipments





实用塑料技术丛书

塑料成型加工 工艺与设备

Plastics Processing
Technology and Equipments

杨明山 编著
赵 明

内容提要

本书总结了作者20多年的塑料加工经验,从塑料加工基础入手,按塑料加工种类,对目前在我国国民经济各行业大量应用的塑料加工原理与工艺进行了详细的论述,用大量的图片和实际应用例子来加深读者对塑料改性的理解,使读者阅读后能在实际中进行应用。

本书系统性、实用性较强,适于塑料加工生产厂的工程技术人员以及管理人员阅读,也可供家电、汽车、电子、通讯等行业的工程技术、设计人员参考,同时也适合高等学校高分子材料专业学生及老师使用。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型加工工艺与设备/杨明山,赵明编著. —北京:印刷工业出版社,2010.7
ISBN 978-7-80000-954-9

I. 塑… II. ①杨…②赵… III. ①塑料成型—工艺②塑料成型加工设备
IV. ①TQ320.66②TQ320.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第107047号

塑料成型加工工艺与设备

编 著: 杨明山 赵 明

责任编辑: 魏 欣

责任校对: 郭 平

责任印制: 张利君

责任设计: 张 羽

出版发行: 印刷工业出版社(北京市翠微路2号 邮编: 100036)

网 址: www.keyin.cn www.pprint.cn

网 店: [//shop36885379.taobao.com](http://shop36885379.taobao.com)

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州丽源印刷厂

开 本: 880mm×1230mm 1/32

字 数: 380千字

印 张: 13.25

印 数: 1~3000

印 次: 2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷

定 价: 36.00元

I S B N : 978-7-80000-954-9

如发现印装质量问题请与我社发行部联系 发行部电话: 010-88275707

前言

本书论述了塑料成型加工的原理及工艺,采用循序渐进的手法让读者理解塑料成型加工的原理和工艺,利用大量的图片和实际应用例子来加深读者对塑料改性的理解,并投入应用。本书首先从第一章“塑料加工基础”入手,讲述了塑料加工利用的原理,使读者对塑料加工的基本知识有一个简要而系统的了解。然后对塑料混合与混炼的原理和设备、工艺进行了较为详细的论述(第2章),使读者在了解基本知识和原理后进入实用性很强的下列章节。第3章到第7章按塑料加工种类对现在在国民经济各行业大量应用的塑料加工方法进行了详细的论述,同时加入了大量的图片,使读者阅读后马上能理解并在实际中应用。本书的最大特点是系统性强、实用性强、简洁明了,总结了作者20多年的塑料加工经验,用图片来使读者理解塑料加工原理和工艺,提高了读者阅读效率和阅读兴趣。本书主要针对塑料加工生产厂的工程技术人员以及管理人员使用,也适用家电、汽车、电子、通信等行业的工程技术、设计人员参考,同时适用于高等学校高分子材料专业高年级学生及老师使用。

本书作者在20多年的实践中,积累了丰富的经验,许多塑料加工应用成果已经产业化,并在家电、汽车、电子、通信等行业实际应用,收到了很好的经济和社会效益。

本书第1、2、3、6章由北京石油化工学院杨明山教授编写,第4、5、7章由北京石油化工学院赵明博士编写,全书由杨明山教授审阅定稿。

在本书的编著过程中,作者的学生刘阳、刘建伟、孙效雷等给予了极大帮助,在此表示感谢。由于作者的局限性,书中可能有不当之处,敬请同仁批评指正!

杨明山

2010年3月于北京

目 录

第1章 塑料加工基础	1
1.1 材料四要素	1
1.2 高分子材料的分类	2
1.3 塑料的热-机械曲线和转变	4
1.3.1 热-机械曲线	4
1.3.2 三个状态与两个转变	4
1.3.3 几个特征温度与成型及使用的关系	5
1.3.4 聚合物的黏流温度及其影响因素	6
1.4 聚合物的加工性	7
1.4.1 聚合物加工流程	7
1.4.2 聚合物的可挤压性	8
1.4.3 聚合物的可模塑性	9
1.4.4 聚合物的可纺性	9
1.4.5 聚合物的可延性	10
1.5 成型方法与温度的对应关系	11
1.6 塑料加工的流变学基础	12
1.6.1 流变学的定义	12
1.6.2 流变学研究的对象	13
1.6.3 高分子液体流变学脉络图	13
1.7 塑料熔体流动现象及特点	14
1.7.1 高黏度和剪切变稀	14
1.7.2 韦森堡 (Weissenberg) 效应	16
1.7.3 挤出胀大现象	17
1.7.4 无管虹吸, 拉伸流动和可纺性	17
1.7.5 熔体破裂	18
1.7.6 孔压误差和弯流误差	18
1.7.7 次级流动	19

1.7.8 湍流减阻效应、触变性和震凝性	19
1.8 塑料熔体流动曲线	20
1.9 幂律方程	21
1.10 塑料熔体“剪切变稀”变化机理	22
1.10.1 构象改变机理	22
1.10.2 类橡胶液体理论	23
1.11 塑料熔体黏度影响因素	24
1.11.1 温度	24
1.11.2 剪切速率和剪切应力的影响	28
1.11.3 分子量及其分布、支链的影响	30
1.11.4 讨论分子结构参数对流变性影响的意义	32
1.12 塑料在加工过程中的物理与化学变化	33
1.12.1 加工过程中的结晶	34
1.12.2 塑料加工过程中的取向	39
1.12.3 塑料在加工过程中的降解与交联	44
1.13 塑料熔体在管道中的流动	49
1.13.1 基本概念	49
1.13.2 聚合物液体在圆管中的流动	50
1.14 塑料加工过程中的传热与加热	56
1.14.1 塑料的导温系数	56
1.14.2 塑料的传热	57
1.14.3 塑料的加热方式	59
参考文献	60

第2章 塑料混合与混炼工艺与设备

2.1 混合与混炼的基本概念	61
2.1.1 分布混合与分散混合	61
2.1.2 混合三要素	62
2.2 塑料改性通用设备	63
2.2.1 初混设备	63
2.2.2 间歇式熔融混合设备	68
2.3 混炼型单螺杆挤出机	74

2.3.1	单螺杆挤出机的螺杆结构	74
2.3.2	分离型螺杆的结构与混合特点	75
2.3.3	屏障型螺杆的结构与特点	76
2.3.4	销钉型螺杆	77
2.3.5	波状螺杆	78
2.3.6	组合型螺杆	80
2.4	双螺杆挤出机	80
2.4.1	结构	80
2.4.2	分类	81
2.4.3	啮合同向旋转双螺杆挤出机输送机理	82
2.4.4	双螺杆挤出机的主要技术参数	83
2.4.5	啮合同向旋转双螺杆挤出机的挤出过程	84
2.4.6	螺杆元件	85
2.4.7	啮合同向平行双螺杆配混料挤出机的 料筒结构	90
2.5	往复式单螺杆混炼挤出机	91
2.5.1	工作原理	92
2.5.2	结构	94
2.5.3	性能特点	97
2.5.4	应用	98
2.6	行星式挤出机	99
2.7	FCM 混炼机	100
2.8	塑料混合混炼工艺流程	101
2.8.1	常用工艺流程	101
2.8.2	切粒方法的选择	101
2.8.3	螺杆元件的组合	104
2.8.4	啮合同向双螺杆挤出机玻璃纤维增强塑料 制备工艺流程	106
2.8.5	啮合同向双螺杆挤出机填充改性的工艺流程	110
2.8.6	双螺杆挤出机和单螺杆挤出机组成的双阶 挤出机组	113
2.8.7	啮合同向双螺杆挤出机塑料共混工艺流程	115

参考文献	117
第3章 塑料的挤出成型	118
3.1 概述	118
3.2 单螺杆挤出机的基本结构	119
3.2.1 加料系统	120
3.2.2 料筒	121
3.2.3 螺杆	122
3.2.4 传动装置、加热与冷却系统	127
3.3 机头与口模	132
3.4 挤出成型原理	133
3.4.1 固体输送理论	134
3.4.2 熔融理论	135
3.4.3 熔体输送理论	136
3.5 挤出机的工作状态	138
3.6 几种塑料制品挤出工艺	139
3.6.1 塑料管材的挤出成型	139
3.6.2 塑料薄膜的挤出成型	144
3.6.3 塑料板片材的挤出成型	160
3.6.4 电线电缆的挤出包覆成型	162
3.6.5 塑料单丝的挤出成型	165
3.6.6 塑料异型材的挤出成型	170
参考文献	182
第4章 塑料注射成型	183
4.1 注射机分类、结构及工作过程	183
4.1.1 注射机的分类	183
4.1.2 注射机的结构	188
4.1.3 注射机工作过程	190
4.2 注射成型模具	191
4.2.1 注射模的结构组成	191
4.2.2 注射模具的分类	195

4.3	熔融塑化、输送原理	205
4.3.1	柱塞式熔融塑化、输送原理	205
4.3.2	螺杆式熔融塑化、输送原理	206
4.4	塑料注射成型过程	208
4.4.1	注射充模	208
4.4.2	保压过程	211
4.4.3	冷却定型	213
4.4.4	顶出脱模	216
4.5	注射成型工艺流程及工艺条件的选择	217
4.5.1	生产前的准备	217
4.5.2	注塑成型工艺过程	218
4.6	注塑制品缺陷分析	220
4.7	热固性塑料注射成型原理和工艺	226
4.7.1	热固性塑料注射成型原理	226
4.7.2	热固性塑料注射成型工艺	228
4.7.3	热固性塑料成型设备	229
4.8	反应注射原理和工艺	230
4.9	气体辅助注射原理和工艺	233
4.9.1	气体辅助注射成型概述	233
4.9.2	气体辅助注射成型方法	239
	参考文献	244
第5章	塑料热成型和压延成型	246
5.1	塑料热成型	246
5.1.1	塑料热成型原理	246
5.1.2	塑料热成型基本方法	247
5.1.3	塑料热成型设备与模具	255
5.1.4	塑料热成型工艺流程及工艺条件	257
5.2	塑料压延成型	264
5.2.1	压延设备分类及结构	264
5.2.2	压延设备的分类	265
5.2.3	压延机的构造	266

5.2.4 压延成型原理	269
5.2.5 压延成型工艺	273
5.2.6 影响压延成型质量因素	275
参考文献	279

第6章 压制及传递模塑成型

6.1 热固性塑料的模压成型	281
6.1.1 压制成型原理	282
6.1.2 压制成型工艺过程	282
6.1.3 热固性模塑料的成型工艺性能	285
6.2 模压成型设备和模具	287
6.2.1 压机	287
6.2.2 模具	289
6.3 模压成型工艺	293
6.3.1 原料准备	293
6.3.2 预热	297
6.3.3 模压成型	298
6.4 模压成型工艺条件及控制	299
6.4.1 模压压力	301
6.4.2 模压温度	302
6.4.3 模压时间	303
6.5 压缩模设计实例和结构图例	304
6.6 复合材料压制成型	308
6.6.1 层压成型	309
6.6.2 模压成型	314
6.6.3 手糊成型	317
6.7 热固性塑料传递模塑成型	321
6.7.1 注压成型原理	321
6.7.2 注压成型的形式	323
6.7.3 注压成型用原材料	326
6.7.4 注压成型工艺	333
6.7.5 注压成型设备和模具	337

参考文献	342
第7章 塑料中空吹塑、泡沫塑料和浇注成型	343
7.1 塑料中空吹塑	343
7.1.1 中空吹塑成型原理、设备与模具	343
7.1.2 中空吹塑成型工艺过程及条件控制	359
7.2 泡沫塑料成型	374
7.2.1 泡沫塑料成型原理	375
7.2.2 泡沫塑料成型方法	376
7.2.3 典型制品的泡沫塑料成型工艺	379
7.3 塑料浇注成型	395
7.3.1 静态浇注成型	396
7.3.2 离心浇注成型	399
7.3.3 搪塑成型	400
7.3.4 滚塑成型	403
参考文献	410

第1章 塑料加工基础



1.1 材料四要素

材料是一个国家科学技术水平、经济发展水平和人民生活水平的重要标志，也是一个时代的重要标志。纵观人类社会，可以毫不夸张地说，人类社会的发展史也是一部材料的发展史，材料与人类的发展和进步息息相关，材料的每一次重大发现及其大量制造和使用，推动着人类社会向更新更高的阶段发展。几百万年来，人类已经经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代，以水泥、玻璃、塑料、橡胶等为代表的非金属材料时代。21 世纪将以复合材料和功能材料为特色。

习惯上，人们将材料分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料（通常称为高分子材料）三大类。但从本质上看，无论哪一种材料都包含四个要素，即材料的制备（加工）、材料的结构、材料的性质和材料的使用性能。这四个要素是相互关联、相互制约的，如图 1-1 所示。

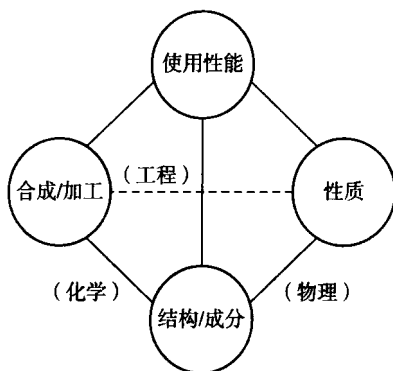


图 1-1 材料四要素的关系

作为材料，必须具备如下特点：①一定的组成；②可加工性；③形状保持性；④使用性能；⑤经济性；⑥再生性。因此可以说：①材料的性质与现象是新材料创造、发展及生产过程中，人们最关注的中心问题；②材料的结构与成分决定了它的性质和使用性能，也影响着它的加

工性能,而为了实现某种性质和使用性能,又提出了材料结构与成分的可设计性;③材料的结构与成分受材料合成和加工所制约;④为完成某一特定使用目的而制造的材料(制品),必须是最经济的,并符合社会的规范和具有可持续发展性。

1.2 高分子材料的分类

高分子材料是一门古老而年轻的学科。古老,指的是使用方面,从远古时期开始,人类就已经学会使用天然高分子材料,如存在于自然界的树脂、橡胶、皮毛、蚕丝、棉花、纤维素、木材等;年轻,指的是从科学和工程的意义上研究高分子材料,从半合成和合成高分子材料出现至今,才不过一个半世纪。

高分子材料是一定配合的高分子化合物(由主要成分树脂或橡胶和次要成分添加剂组成)在成型设备中,受一定温度和压力的作用熔融塑化,然后通过模塑制成一定形状,冷却后在常温下能保持既定形状的材料制品。因此,适宜的材料组成、正确的成型加工方法和合理的成型机械及模具是制备性能良好的高分子材料及制品的三个关键因素,它们的关系如图1-2所示。

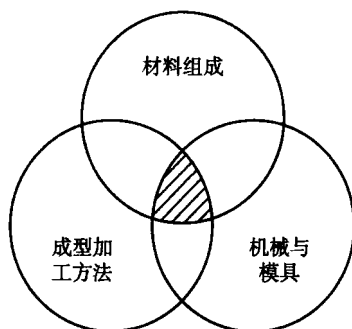


图1-2 制造高分子材料的三个关键因素

高分子材料通常指塑料、橡胶、化学纤维、涂料、黏合剂等。它们是分子很大、相对分子质量很高且具有多分散性的高分子化合物,目前主要以人工合成为主。塑料和橡胶制品的差别主要在于它们的玻璃化温度。前者的玻璃化温度高于室温,在室温下通常处于玻璃态,呈现塑性;后者的玻璃化温度低于室温,在室温下通常处于高弹态,呈现弹性。

塑料的分类方法很多。如可按聚合方法分为加聚物、缩聚物、逐步加成物；按化学结构和是否具有多次重复加工性，可以分为热塑性塑料和热固性塑料，如图 1-3 所示。

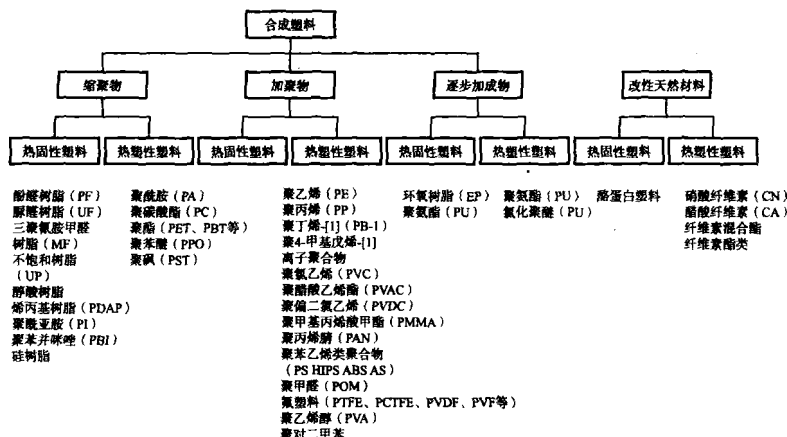


图 1-3 按生产方法、反应和结构对塑料的分类

必须指出，热塑性塑料加工成型中产生的边角料、次品经过一定的处理后，可返回掺入原料中重复使用，其回收的废弃物也可再利用。而热固性塑料没有反复加工性，不能重复塑化，最多粉碎后做填料，其区别见表 1-1。

表 1-1 热塑性塑料和热固性塑料的区别

项目	热塑性塑料	热固性塑料
加工特性	受热软化、熔融、塑制成一定形状，冷却后固化定型	未成型前受热软化，熔融可塑制成一定形状，在热或固化剂作用下，一次硬化定型
重复加工性	再次受热，仍可软化、熔融，反复多次加工	受热不熔融，达到一定温度分解破坏，不能反复加工
溶剂中情况	可溶	不溶
化学结构	线形高分子	由线形分子变为体形分子
举例	PE、PP、PVC、ABS、PMMA、PA、PC、POM、PET、PBT 等	PF、UF、MF、EP、UP 等

按用途和性能, 又可将塑料分为通用塑料和工程塑料。工程塑料是指拉伸强度大于 50MPa 、冲击强度大于 6kJ/m^2 , 长期耐热温度超过 100°C 的、刚性好、蠕变小、自润滑、电绝缘、耐腐蚀好的、可替代金属用做结构件的塑料 (见表 1-2)。但这种分类并不十分严格, 随着通用塑料工程化 (亦称高性能化) 技术的进展, 通过改性或合金化的通用塑料, 已可在某些应用领域替代工程塑料。

表 1-2 通用塑料和工程塑料

分类	举 例
通用塑料	PE (HDPE、LDPE、LLDPE)、PP、PVC、PS、PMMA、PF、UF、MF、EP、UP、PU
工程塑料	PA、PET、PBT、POM、PC、PPO、ABS、PSF、PTFE、PCTFE、PI、CP

1.3 塑料的热-机械曲线和转变

1.3.1 热-机械曲线

塑料材料随温度的变化要发生形状及尺寸的改变 (称为形变), 形变-温度曲线称为塑料 (高分子材料) 的热-机械曲线, 如图 1-4 所示。

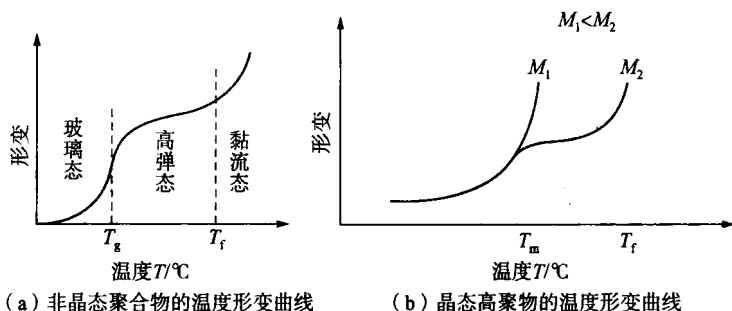


图 1-4 高分子材料的热-机械曲线

1.3.2 三个状态与两个转变

在图 1-4 (a) 中, 出现三个状态和两个转变。

(1) 玻璃态。当温度很低时 ($T < T_g$), 此时聚合物分子运动能量很低, 不足以克服分子链单键内旋转所需克服的位垒。整个分子链和链段运动的松弛时间非常大, 难以在有限的时间内察觉, 处于“冻结”状

态,只有小运动单元(链节、侧基等)才能运动,聚合物呈现玻璃态。在外力作用下,聚合物形变很小,形变与外力大小成正比,外力除去,形变立即恢复,符合胡克定律;呈现理想固体的胡克弹性,又称普弹性。此时聚合物的力学性能表现得与玻璃相似,故称这种力学状态为玻璃态。

(2) 高弹态。随着温度的升高,分子热运动能量逐渐增加,当到达某一温度时,分子的热运动能足以克服内旋转的势垒,可进行链段运动。它可以绕主链中单键内旋转而不断地改变构象,但是整个分子链仍处于被“冻结”的状态。这样在宏观上表现为受力时形变很大(100% ~ 1000%),去掉力后可恢复,模量很低,只有105 ~ 107 Pa。该形变与时间有关,具有松弛特性,表现为可逆高弹形变,这种具有高弹性的力学状态称为高弹态。高弹态是高聚物特有的力学状态,高弹形变实质就是分子链伸直和卷曲过程的宏观表现。

(3) 黏流态。当温度继续升高,由于链段的剧烈运动,整个大分子重心发生相对位移(大分子与大分子之间产生了相对滑移),这时高聚物在外力作用下,呈现黏性流动,这种流动形变是不可逆的,这种具有黏性(或塑性)的力学状态称为黏流态。

由玻璃态向高弹态的转变称为玻璃化转变,其转变温度称为玻璃化温度 T_g ,由高弹态向黏流态的转变称为黏流转变,其转变温度称为黏流温度 T_f 。

由图1-4(b)中可看出,当结晶性高聚物处于晶态时,结晶相所承受的应力远大于非晶相,它的温度形变曲线在温度到达其非晶部分的 T_g 时不出现明显的转折。只有升至 T_m (熔点)时,由于晶格被破坏了,晶区熔融了,高分子运动加剧,进入了黏流态,见图1-4中的曲线 M_1 。如其分子量很大,导致了 $T_f > T_m$,则晶区熔融后,聚合物仍未呈现黏流,链段却随外力而伸展(卷曲)出现高弹态,直至温度升到了 T_f 以上,方可呈现黏流态,如图1-4中的曲线 M_2 。后一种情况对成型加工是很不利的,因高温进入高弹态,加工很难进行,再升温又可能导致分解,所以结晶聚合物分子量应控制得低些,只要满足机械强度即可。

1.3.3 几个特征温度与成型及使用的关系

聚合物的三种聚集态:玻璃态、高弹态、黏流态。

- 玻璃态(结晶聚合物为结晶态): $T \leq T_g(m)$,大多数塑料的使用区域。

- 高弹态: $T_g \leq T \leq T_i$, 橡胶使用区域。
- 黏流态: $T > T_i$: 大多数塑料的加工成型区域。
- 脆化温度 (T_b): 聚合物可使用的最低温度。
- 分解温度 (T_d): 聚合物可加工或使用的最高温度。

1.3.4 聚合物的黏流温度及其影响因素

黏流温度是聚合物开始黏性流动的温度, 是绝大多数聚合物成型加工的下限温度, 而聚合物的分解温度 (T_d) 则是聚合物加工的上限温度。

黏流温度对于选择最佳加工条件是很重要的, 其影响因素有以下几个。

(1) 高分子链的柔性

聚合物的黏性流动是通过链段的相继跃迁而实现的, 这种运动形式类似于蚯蚓的蠕动, 因此, 是有利于聚合物链段运动的因素, 也有利于整个高分子链的运动。高分子链柔性好, 链的单键内旋转容易进行、运动单元链段就短, 流动活化能就低, 因而, 聚合物在较低的温度就能实现黏性流动。反之, 若高分子链是刚性的, 只有在高温下才能实现黏性流动。例如: PC、PBT、PEEK 等分子的刚性较大, 黏流温度比 PE、PP 和 PS 等要高得多。

(2) 高分子的极性

高分子的极性愈大, 分子间的相互作用力也愈大, 则需要在较高的温度下以提高分子运动的热能才能克服分子间的相互作用而产生黏性流动。所以极性聚合物的黏流温度较非极性聚合物的高。例如: PVC 的黏流温度为 $165 \sim 190^\circ\text{C}$, 而 PE 的黏流温度为 $110 \sim 130^\circ\text{C}$ 。PVC 的黏流温度已经超过它的分解温度, 因此在加工时常加入增塑剂降低黏流温度或加入稳定剂来抑制它的分解。

(3) 分子量

分子量愈大, 高分子链愈长, 整个分子链相对滑动时的内摩擦阻力就愈大。并且整个分子链本身的热运动阻碍着其在外力作用下的定向运动。所以, 分子量愈大, 整个分子链的相互移动就愈困难, 聚合物需在更高的温度下才能发生黏性流动, 即黏流温度愈高。从成型加工角度来看, 提高黏流温度就是提高成型加工温度, 这对聚合物加工是不利的。因此, 在不影响制品质量要求的前提下, 适当降低分子量是必要的。还应着重指出, 由于聚合物分子量的多分散性, 所以实际上非晶态聚合物并没有明晰的黏流温度, 而往往是一个比较宽的区域, 在这个温度区域