



当代
杰出青年
科学文库

聚烯烃注射成型 ——形态控制与性能

傅 强 主编



科学出版社
www.sciencep.com

当代杰出青年科学文库

聚烯烃注射成型——形态控制与性能

傅 强 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以聚烯烃及其共混物作为研究对象,全面地讨论了聚烯烃及其共混物在注射成型加工过程中的形态发展和结构变化,形态与性能之间的关系。全书共分6章。第一章介绍了聚烯烃注射成型技术和形态控制技术的研究进展及发展动向,以及在应力场作用下,聚合物共混物的形态、相行为、结晶等基本问题的研究概况。第二章详细讨论了在剪切应力场下,几种聚烯烃共混物性能的改变及其影响因素,并对共混物的形态和取向结构进行了分析。第三章讨论了剪切应力对共混物相容性、相分离、相反转以及微观形态的影响。第四章通过对结晶/非晶体系 HDPE/EVA 共混物力学性能的探讨,阐明了分子取向、相形态与界面作用对力学性能的影响。第五章系统研究了剪切引起的橡胶粒子形变与聚烯烃增韧中的脆-韧-脆转变。第六章通过对具有明确晶片取向的聚烯烃的研究,利用“step cycle”与应力松弛考察形变特征,并结合形变过程中的结构变化阐明形变机理,明确细颈与黏性力的本质,为材料设计与改性提供一定的理论基础。

本书可供从事高分子成型加工和高分子共混复合材料以及相关学科研究的科研工作者参考,也可作为高等院校相关专业研究生、高年级本科生的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

聚烯烃注射成型——形态控制与性能/傅强主编. —北京:科学出版社, 2007

(当代杰出青年科学文库/白春礼主编)

ISBN 978-7-03-018090-2

I. 聚… II. 傅… III. 聚烯烃-注塑 IV. TQ325.166

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 114825 号

责任编辑:杨 震 / 责任校对:纪振红

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

※

2007 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007 年 1 月第一次印刷 印张:12 3/4

印数:1—2 500 字数:238 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

《当代杰出青年科学文库》编委会

主 编 白春礼

副主编 (按汉语拼音排序)

程津培 李家洋 谢和平 赵沁平 朱道本

编 委 (按汉语拼音排序)

柴玉成 崔一平 傅伯杰 高 抒 龚健雅

郭 雷 郝吉明 何鸣鸿 洪友士 胡海岩

康 乐 李晋闽 罗 毅 南策文 彭练矛

沈 岩 万立骏 王 牧 魏于全 邬江兴

袁亚湘 张 杰 张 荣 张伟平 张先恩

张亚平 张玉奎 郑兰荪

《聚烯烃注射成型——形态控制与性能》编委会

主 编 傅 强

编 委 (按姓氏拼音顺序为序)

曹 文 傅 强 何波兵 李忠明

那 兵 渠 成 王 旻 王 勇

杨 红 张 琴 邹 浩

前 言

高分子成型加工中,温度和力场对高分子的形态发展和形成具有重要影响,通过成型加工方法控制高分子共混复合材料的形态和性能是获得高性能高分子材料的重要手段,如近年来发展的高压成型技术、动态保压技术、电磁振荡技术、利用高剪切下液-液相分离控制高分子共混物的形态、反应性共混加工等技术与方法取得了重要的研究成果。高分子共混复合材料在成型加工中的形态发展与结构变化包括:①熔融塑化与剪切流动引起的相容或相分离;②反应性共混引起的界面作用和就地(原位)增容;③固化成型时,结晶与取向的形成和发展,相结构的演化、转变等。如何通过剪切流动控制相容与微相分离,如何通过分子与界面设计控制成型加工中高分子共混物的界面反应而实现就地增容,获得所需的相结构,以及如何控制冷却固化时共混复合材料的相形态与结晶形态是当前国际上高分子材料成型加工与共混复合材料研究的重点与热点。

本书是基于2005年四川省自然科学一等奖“聚烯烃共混物注射成型品的形态控制与多层次结构”研究成果而写成的。意在通过介绍本课题组多年从事聚烯烃注射成型的研究结果和研究心得,从注射制品形态控制和结构表征的角度探讨高分子材料加工-形态-性能之间的关系,为通过注射成型提高高分子材料的性能和使用寿命提供新的思路和方法。

本书采用聚烯烃及其共混物作为研究对象,全面讨论了聚烯烃及其共混物在成型加工过程中的形态发展和结构变化、形态与性能之间的关系。全书共分6章。第一章比较全面地介绍了聚烯烃注射成型技术和形态控制技术的研究进展及发展动向;以及在应力场作用下,聚合物共混物的形态、相行为、结晶等基本问题的研究概况。第二章介绍了通过在注射成型过程中施加剪切应力场的方法制备几种聚烯烃共混物,详细讨论了共混物性能的改变及其影响因素,并对共混物的形态和取向结构进行了分析。第三章研究了在注射成型过程中施加动态剪切应力场作用,使共混物熔体在剪切应力的作用下逐渐冷却固化成型;详细讨论了剪切应力对共混物相容性、相分离、相反转以及微观形态的影响。第四章讨论了借助动态保压注射成型方法,以结晶/非晶体系HDPE/EVA共混物为研究对象,采用2D SAXS/WAXS与DSC从不同尺度研究相形态、界面作用对HDPE组分取向结晶的影响;通过对力学性能的探讨,阐明分子取向、相形态与界面作用对力学性能的影响,力求在结构与性能之间建立一定的联系。第五章系统讨论了剪切引起的橡胶粒子形变与聚烯烃增韧中的脆-韧-脆转变。第六章采用具有明确片晶取向的聚烯烃作为

研究对象,通过反复拉伸(step cycle)与应力松弛考察形变特征,并结合形变过程中的结构变化阐明形变机理,明确细颈与黏性力的本质,力求在微观结构(取向、结晶度)与宏观形变特征之间建立联系,为材料设计与改性提供一定的理论基础。

本书的特点如下:①本书主要内容为作者多年研究工作的心得;②有别于以往从工艺、配方、设备的角度介绍注射成型,本书从形态控制(包括相形态、取向和结晶结构)、结构与性能关系阐述如何利用注射成型的剪切场和温度场来实现注射制品的高性能化;③本书将高分子物理的理论成果(如附生结晶、相反转、取向结晶等)在注射制品中实现,并通过系统的结构表征进行证实,即将高分子物理与成型加工的研究相结合,讨论一些特别形态结构与性能的关系。

希望本书的出版能够对从事高分子成型加工和高分子共混复合材料以及相关学科研究的科学工作者、研究生、高年级本科生有参考价值。

限于作者的水平,错误和疏漏在所难免,敬请读者指正。

最后,我要感谢参加本书写作的各位同仁。感谢张琴副教授、王勇副教授、那兵博士协助我参与了本书部分章节的撰写;感谢李忠明教授参与了本书绪论部分的1.1.2节的编写工作;感谢我的研究生邹浩、何波兵、杨红、渠成、曹文、王旻等,他们结合学位课程的学习,为本书收集和整理了部分资料,同时协助我参与了内容排版和文字表述等方面的修正。

傅强

2006年9月4日于成都

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
1.1 聚合物成型过程中的形态控制技术	(1)
1.1.1 剪切控制取向注射成型技术对形态的控制	(2)
1.1.2 挤出拉伸对聚合物的形态控制	(4)
1.1.3 旋转挤出控制形态	(8)
1.1.4 动态冻结对聚合物共混物的形态控制	(8)
1.1.5 反应共混对聚合物共混物形态的控制	(10)
1.1.6 动态硫化对聚合物共混物的形态控制	(11)
1.2 剪切场下聚合物共混物的相行为	(12)
1.2.1 剪切对相容与相分离的影响	(12)
1.2.2 剪切对相转变的影响	(13)
1.2.3 剪切对双连续相结构形成的影响	(15)
1.3 剪切作用下聚合物取向结晶	(17)
1.3.1 应力诱导取向结晶	(17)
1.3.2 基质表面诱导取向结晶	(22)
1.3.3 受限取向结晶	(26)
1.4 结晶聚合物形变机理	(28)
1.4.1 形变特征	(28)
1.4.2 屈服与塑性流动	(29)
1.4.3 应变硬化与网络模量	(33)
1.4.4 形变诱导相转变	(34)
参考文献	(35)
第二章 剪切作用下超级聚烯烃共混物的制备与性能	(43)
2.1 概述	(43)
2.2 剪切应力场下不同聚烯烃共混体系的性能	(44)
2.2.1 动态保压装置	(44)
2.2.2 剪切应力场下聚烯烃共混体系的拉伸性能变化	(45)
2.2.3 剪切应力场下共混体系韧性的改变	(49)
2.3 成型温度对共混物材料力学性能的影响	(50)

2.4	剪切对共混物冲击形貌的影响·····	(52)
2.5	剪切层与拉伸强度的关系·····	(55)
2.6	剪切诱导聚合物及其共混物的取向·····	(57)
2.6.1	剪切诱导 HDPE/LDPE 共混物的取向 ·····	(57)
2.6.2	剪切诱导 PP 及其共混物的取向行为 ·····	(60)
2.6.3	剪切对 PP/EC 共混物取向和性能的影响 ·····	(63)
	参考文献 ·····	(65)
第三章	剪切引起的聚烯烃共混物的形态变化(相容、相分离与相反转)·····	(67)
3.1	概述·····	(67)
3.2	剪切诱导相容与相分离·····	(68)
3.2.1	剪切作用下 PP/LLDPE 共混物的形态变化 ·····	(68)
3.2.2	剪切作用下 PS/弹性体共混物的形态与性能 ·····	(73)
3.3	剪切对相反转的影响及 PP/PS 共混物的形态和性能 ·····	(81)
3.3.1	剪切诱导 PP/PS 共混物相反转 ·····	(81)
3.3.2	相容剂对剪切作用下共混物形态的影响·····	(84)
3.3.3	PP/PS 及 PP/PS/SBS 共混物的性能 ·····	(87)
	参考文献 ·····	(90)
第四章	剪切作用下聚烯烃共混物的取向结晶 ·····	(92)
4.1	剪切作用下高密度聚乙烯/乙烯-乙酸乙烯酯共混物(HDPE/EVA) 取向结晶与力学性能·····	(92)
4.1.1	引言·····	(92)
4.1.2	晶体形态·····	(92)
4.1.3	片晶取向与长周期·····	(93)
4.1.4	晶面(分子链)取向 ·····	(100)
4.1.5	熔融行为 ·····	(103)
4.1.6	相形态 ·····	(104)
4.1.7	力学性能 ·····	(108)
4.2	剪切作用下高密度聚乙烯/聚丙烯共混物(HDPE/PP)取向结晶 与力学性能 ·····	(110)
4.2.1	引言 ·····	(110)
4.2.2	片晶取向 ·····	(111)
4.2.3	分子链(晶面)取向 ·····	(113)
4.2.4	DSC 结果 ·····	(116)
4.2.5	相形态 ·····	(119)
4.2.6	附生结晶机理 ·····	(121)

4.2.7 力学性能	(121)
4.3 高密度聚乙烯/聚丙烯共混物(HDPE/PP)取向结晶模型化研究	(124)
4.3.1 引言	(124)
4.3.2 晶面(分子链)取向	(124)
4.3.3 相形态	(128)
4.3.4 结晶能力	(130)
4.3.5 取向结晶机理与影响因素	(131)
参考文献.....	(134)
第五章 剪切引起的橡胶粒子形变与聚烯烃增韧中的脆-韧-脆转变	(137)
5.1 概述	(137)
5.1.1 影响橡胶增韧 PP 的因素	(137)
5.1.2 增韧机理研究进展	(139)
5.2 单方向剪切应力场对 PP/EPDM 共混物性能和形态的影响及橡胶增韧 PP 中的脆-韧-脆转变	(141)
5.2.1 脆-韧-脆转变的发生	(141)
5.2.2 剪切对 PP/EPDM 共混物结晶的影响	(143)
5.2.3 剪切应力对共混物微观形态的影响	(145)
5.3 剪切应力场下不同方向上 PP/EPDM 共混物的性能与形态及冲击韧性对断裂方向的依赖关系	(150)
5.3.1 平板试样	(150)
5.3.2 拉伸性能与应力作用方向的关系	(151)
5.3.3 冲击韧性对断裂方向的依赖	(153)
5.3.4 剪切导致 PP/EPDM 共混物各向异性行为	(154)
5.4 剪切作用下分散相橡胶粒子的形变及韧-脆转变机理.....	(158)
5.4.1 分散相粒子的形变和取向	(158)
5.4.2 剪切作用下 PP/EPDM 共混物的韧-脆转变机理	(159)
5.4.3 冲击韧性对裂纹扩展方向和分散相粒子取向方向的依赖性分析	(161)
5.4.4 剪切应力大小对 PP/EPDM 韧-脆转变的影响	(163)
参考文献.....	(163)
第六章 拉伸作用下取向聚烯烃共混物的结构变化与形变机理	(166)
6.1 概述	(166)
6.2 初始结构	(166)
6.2.1 片晶取向	(166)

6.2.2 晶面(分子链)取向	(167)
6.2.3 熔点与结晶度	(168)
6.3 回复应变与残余应变	(169)
6.4 准静态力与黏性力	(170)
6.5 应变速率与参考应力	(172)
6.6 结构演化	(173)
6.7 形变机理与模型	(176)
6.8 黏性力与取向度	(180)
6.9 退火效应	(180)
6.10 取向 PP	(182)
6.10.1 片晶与分子链取向	(182)
6.10.2 能弹性	(183)
6.10.3 黏性力与参考应力	(184)
6.10.4 网络模量	(185)
参考文献	(186)
英汉缩略语简表	(188)

第一章 绪 论

迄今为止,对聚合物共混物的研究已经有 60 余年的时间。通过共混的方法,可以使组成聚合物的优异性能得到互补,从而拓宽了材料的性能和使用领域。近年来,有关聚合物共混改性的理论研究和工业实践更加活跃,仅全世界每年公布的相关专利就多达几千项,研究论文更是层出不穷。早期的聚合物共混改性主要集中在通过机械共混、共溶剂、乳液共混、共聚-共混以及各种互穿网络(IPN)等技术研究共混材料的结构与性能。近年来,通过对聚合物共混物的形态结构加以控制,有意识地引入某些特殊的化学或物理作用,设计制造出具有更为优良或更有特色的聚合物共混物已逐渐成为人们研究的重点。

聚合物共混物的形态结构除了取决于聚合物组分的特性以外,加工条件的改变对共混物的形态也有重要的影响。研究高分子成型加工中的形态控制问题,在成型过程中引入特殊加工方法,通过温度场和剪切场的作用改变聚合物的凝聚态结构,从而改变其性能,这是优化材料性能和用途的经济而实用的方法,也是目前国际上高分子科学研究的热点之一,已成为我国高分子材料科学与工程的一个重要研究课题。

共混物在加工过程中主要受到剪切应力场或拉伸应力场的作用,因此,研究成型加工中的物理问题,归纳起来,主要就是研究聚合物共混物在应力场作用下的形态发展、取向、相行为的演变,以及结晶聚合物体系在应力场作用下的成核、结晶以及晶体的变化等情况。本书主要介绍了聚合物成型过程中的形态控制技术的研究进展,以及在应力场作用下,聚合物共混物的形态、相行为、结晶等基本问题的研究概况。

1.1 聚合物成型过程中的形态控制技术

成型加工条件能影响聚合物的形态,而形态又决定了制品的宏观性能,因此,通过在成型过程中采用特殊加工方法而控制聚合物的形态,影响其最终性能,从而可以拓宽材料的性能和用途。聚合物形态控制技术就是基于这个思路,在理解聚合物形态与性能之间关系的基础上,采用特殊的成型加工方法或加工工艺条件来控制聚合物特别是共混物的形态,以便获得预期的材料性能^[1]。

形态控制技术的方法多种多样,如:剪切控制取向注射成型,试样的挤出拉伸(单轴拉伸和双轴拉伸),旋转挤出控制形态,反应共混,动态交联,动态冻结等。以

下将分别加以讨论。

1.1.1 剪切控制取向注射成型技术对形态的控制

剪切控制取向注射成型技术(shear controlled orientation in injection moulding, SCORIM)最早由英国的 M. J. Bevis 教授等人提出^[2~4],用于研究聚烯烃材料的自增强。其实质是熔体在模具型腔(简称模腔)冷却过程中,受到持续不断的剪切应力的作用,通过这种外加的剪切应力场改变聚合物分子链在制品中的存在状态,从而改变材料的力学性能。其实验装置如图 1-1 所示。

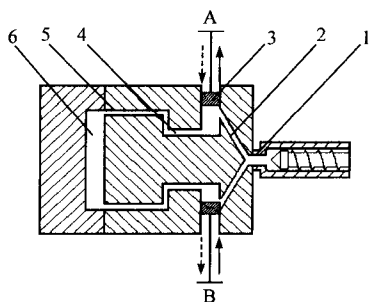


图 1-1 剪切控制取向注射成型技术操作过程的示意图

1—喷嘴;2—浇口;3—活塞;
4—流道;5—连接器;6—模腔

该装置主要由注塑机、双活塞动态保压装置和成型模具等三个基本部分组成。其成型过程为:注塑机将预塑好的聚合物熔料经流道板注入模腔,两个活塞 A 和 B 以相同的频率呈反方向运动,推动熔体在模腔中反复流动,并且不断在模腔内表面冻结,使得可流动的熔体逐渐变少,直到最后整个模腔中的熔体完全冷却固化,形成多层取向试样。通过控制活塞运动的频率、熔体温度等加工参数,可获得在流动方向上性能有较大改善的聚合物制品。该项技术应用于厚壁制件的成型具有突出的优点:解决了厚壁制件在普通注塑成型条件下容易出现的制品翘曲变形、内部缩孔以及存在熔接痕的问题,从而避免了材料性能的不连续性等缺点。

G. Kalay 等人采用剪切控制取向注射成型方法研究了聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚丁烯-1(PB-1)等众多聚合物或聚合物共混物在宏观剪切应力场下固化成型的形态和性能,主要结论如下^[5~19]:①经过剪切控制取向注射成型方法得到的材料的力学性能明显改善,主要表现在材料的刚度、模量、拉伸强度和冲击强度等有明显提高;②采用剪切控制取向注射成型技术,可以显著改善材料的取向能力,聚合物分子链主要沿着剪切应力的方向排列(流动方向),而正是由于这种取向程度的增加导致材料性能的明显改善;③结晶聚合物的结晶性能明显增强,材料的结晶度有较大提高。同时,在剪切作用下,材料很少形成完整的球晶结构。在不同的结晶聚合物中都发现有“shish-kebab”结构生成,这明显与采用普通注塑成型方法所得到的晶体结构不同(如图 1-2 和图 1-3 所示)。DSC 熔融曲线上 170°C 附近的肩峰表示 PP 中有 shish 伸直链晶体生成。此外,在研究等规聚丙烯(iPP)在剪切场下的形态和性能时发现,经过剪切控制取向注射成型技术,iPP 试样中发现有大量 γ 晶体生成,而 β 晶体的含量减少,这表明剪切作用能够控制 PP 的结晶形式;④在研究填充共混材料的形态和性能时发现,通过这种宏观的剪切作用,有利

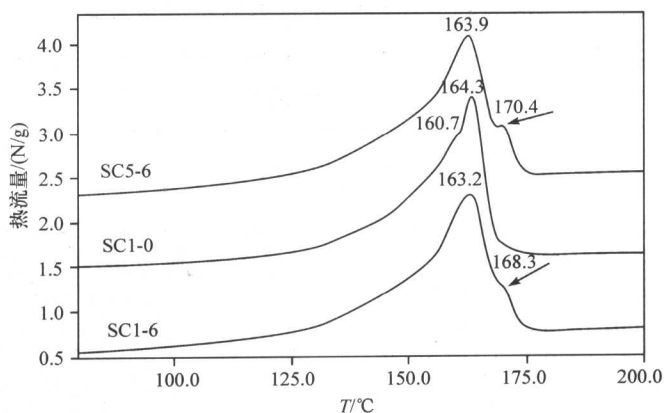


图 1-2 剪切控制取向注射成型技术制备的 PP 样品的 DSC 曲线
箭头所指的峰为 shish-kebab 结构的熔融峰

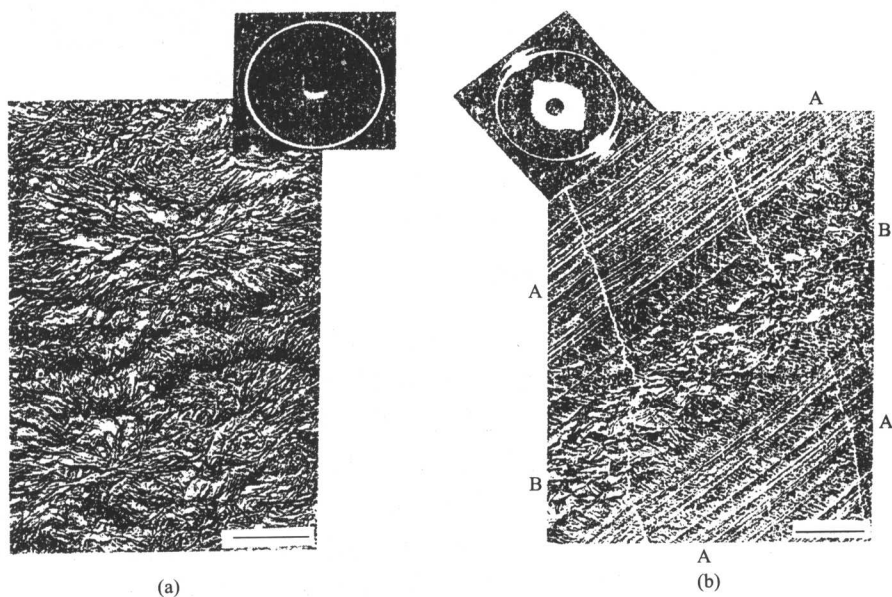


图1-3 不同成型方法制备的高密度聚乙烯(HDPE)样品表面刻蚀后的透射电子显微镜(TEM)照片
插图为样品产生的 Debye 图案,它代表了不同的取向度
(a) 传统的成型方法;(b) 剪切控制取向注射成型方法

于填料分散相在基体中的分散。在玻纤填充聚合物共混物中,玻纤在剪切作用下主要沿流动方向排列,获得了性能更好的产品。通过剪切控制取向注射成型技术很好地实现了对聚合物形态的控制,剪切作用不仅可以控制基体的形态和取向结构,同时对分散相形态也具有良好的控制作用。

申开智等人^[20~25]在原有的剪切控制取向注射成型技术基础上进一步研究了聚合物在剪切应力场下的形态与性能。将材料性能的提高归因于剪切作用下样品中形成了大量串晶结构。并且发现材料性能的提高与剪切应力的方向有关,沿着流动方向材料的性能明显高于垂直于流动方向材料的性能。此外,还发现动态剪切后试样的不同区域形成不同的结晶结构,如图 1-4 所示。

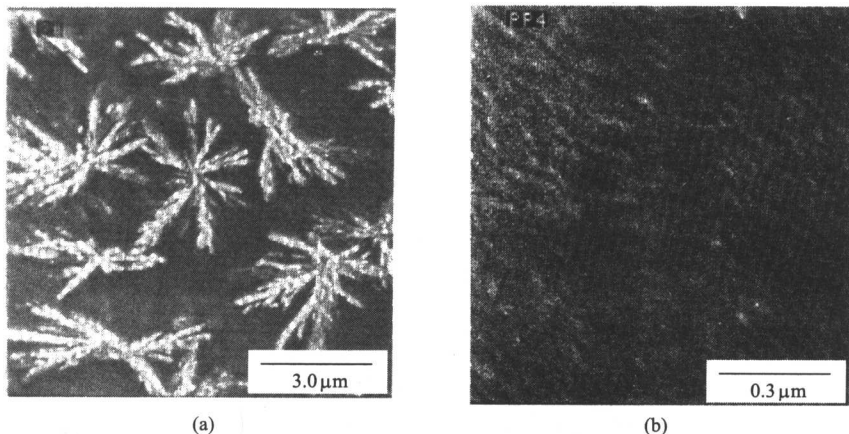


图 1-4 动态剪切后试样的不同区域形成不同的结晶结构

(a) 芯层; (b) 剪切层

1.1.2 挤出拉伸对聚合物的形态控制

对不相容聚合物共混物而言,分散相的形态受组成、两相黏度比、界面张力、剪切力等因素的影响。研究发现,当对处于熔融态的聚合物施加剪切拉伸作用时,分散相会发生变形取向,这种变形取向是与连续相对分散相施加的黏性力和两相间的界面张力有关的^[26]。界面张力的作用使分散相在基体中以球状颗粒存在,而黏性力的作用使分散相沿流动方向发生形变,当黏性力的作用超过界面张力的作用时,分散相就会发生形变。而黏性力依赖于两相黏度比,当黏度比接近于 1 时,分散相以微纤形态分散在基体中^[27]。微纤的存在将显著改善共混体系的力学性能,这种在加工中控制分散相形态,形成微纤的过程称为原位成纤,所形成的材料称为“原位复合材料”^[28]。然而并不是所有的材料在普通加工的条件下都能形成原位复合材料,通过特殊的成型加工方法,控制分散相在基体中的形态成为高分子科学工作者研究的重点。

研究发现,分散相在基体中的形态受两相黏度比和形变参数 K 控制^[29,30],并且存在一个临界的形变参数值 K_{cr} , K/K_{cr} 与分散相形态之间存在如下经验关系^[31~33]:

$K/K_{cr} < 1$	粒子发生形变,但不破裂
$1 < K/K_{cr} < 4$	粒子发生形变且可破裂
$K/K_{cr} > 4$	粒子形变成纤维

挤出热拉伸的作用就是在此基础上,给共混物施加强的拉伸流场,使分散相发生形变取向。其原理是将共混物经双螺杆熔融挤出,在口模处设置牵引装置,在拉伸过程中将形态冻结。通过改变所施加的拉伸应力的,调整分散相的形变程度,从而实现对分散相形态的控制,通常可得到分散相分别为纤维状或片状分布的共混物^[34~50]。

由于经过熔体热拉伸的共混物很少直接用于成型,还面临后续加工的问题。因此,在热拉伸过程中所形成的微纤可能发生破裂,重新回复到球状颗粒形态。这就要求所选择的共混物必须满足如下要求:分散相具有比基体高的熔点或软化温度,挤出热拉伸在分散相的熔点或软化点以上进行,而后续的成型加工在基体的熔点或软化点以上进行,从而保证在热拉伸过程中形成的分散相微纤在后续加工过程中能够稳定存在,从而起到原位增强的作用^[34]。1987年,Kiss^[45]对热致性液晶聚合物(TLCP)/热塑性聚合物(TP)体系进行研究,首次提出了“原位复合材料(*in-situ composite*)”的概念。TP/TP原位微纤化共混物克服了宏观纤维增强TP的一些缺点(如加工性能差等),同时较TLCP/TP原位复合材料具有价格便宜、制备容易、受后期加工影响较小等优点,且可制备功能性原位微纤化共混物,因此近年来受到重视。

M. R. Kamal^[38~40]采用经过特殊设计的狭缝口模,使分散相在流动面上受到二维拉伸的作用,从而得到具有片状形态分布的分散相。其实验装置如图1-5所示。在挤出过程中,在流动方向上共混物受到如下作用:在A和C区,共混物主要

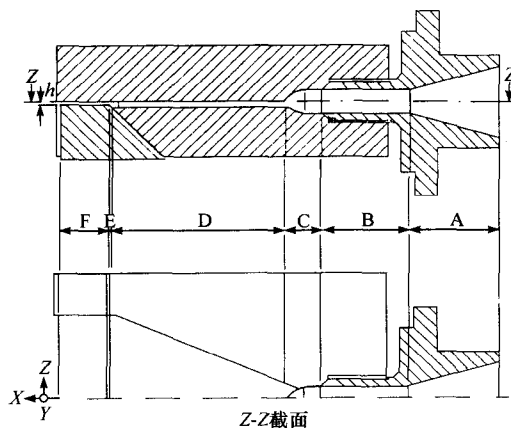


图 1-5 狭缝口模设计示意图

受到会聚拉伸流动的作用,在D区,剪切流动占主导作用,同时在X-Z面上,共混物又受到横向拉伸流动的作用;在E区,熔体又受到会聚拉伸流动,在F区受到剪切流动的作用。因此,在A、C和E区,流动性的分散相粒子沿着流动方向拉伸,而在D区,则垂直于流动方向拉伸变形。这种双轴拉伸作用有利于分散相在基体中以片状形态存在。结果表明,通过对分散相形态的控制,PP/EVOH,HDPE/PA-6共混物的气体阻隔性得到了明显的改善。J. B. Faisant^[36]等人的研究结果也表明,在熔体挤出后进行拉伸操作,可以得到高度取向的纤维状或片状分散的EVOH形态,从而显著改善材料的气体阻隔性。

A. Monticciolo^[34]等人采用挤出后热拉伸的作用,使分散相聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)在PE基体中成纤,改变拉伸比,纤维的长径比可进一步得到控制。经过拉伸作用,材料的强度和模量得到明显改善,如图1-6所示。李忠明等在这方面也做了大量的工作,他们通过“熔融挤出-热拉伸-淬冷”方法制备原位微纤化共混物^[46],即将两种聚合物熔融挤出,在未固化前对熔体进行热拉伸,使高熔点组分

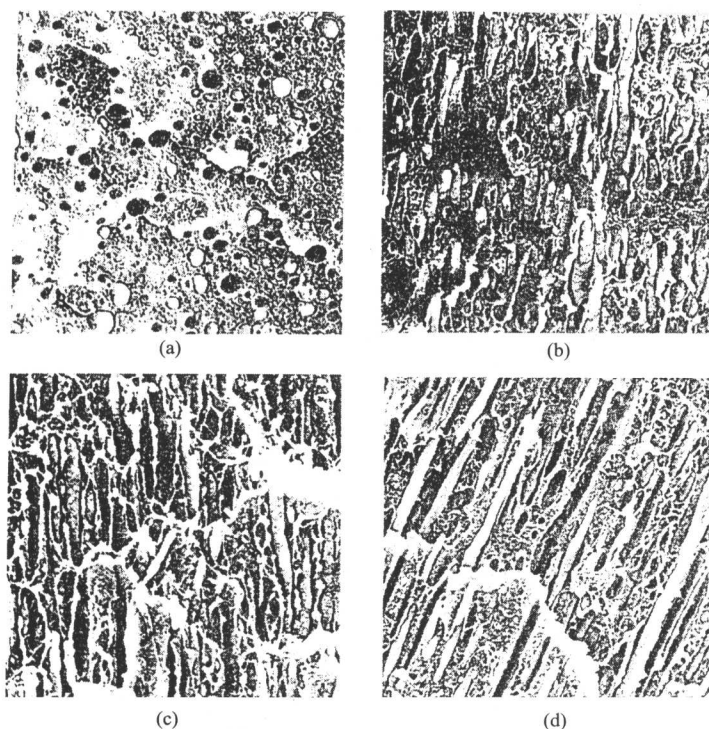


图1-6 不同长径比 λ 的PE/PBT共混物的扫描电子显微镜(SEM)照片

(a) $\lambda=1$; (b) $\lambda=14$; (c) $\lambda=28$; (d) $\lambda=48$