

# 塑料成型加工过程中场致作用的应用研究

李世辉 张长春 于 妍 迟剑峰

(吉林大学材料科学与工程学院, 长春 130021)

**摘要** 介绍应力场、超声波场、电磁场、高能辐射场等能量场在塑料动态成型加工过程中的应用,并且概述了各种场致作用对塑料成型加工的影响及其相关机理。国内外最新研究表明,超声波场、剪切应力场等能量场的应用可有效地改善塑料熔体的流变性能及其制件的组织形态,并提高其力学性能。

**关键词** 场致作用 振动 塑料 动态成型

随着塑料成型工艺的不断丰富和发展,各种场致作用在塑料成型加工过程中得到了越来越多的应用。由于传统工艺和设备的局限性往往会使塑料熔体产生流动不平衡、冷却不一致和不均匀的内应力,以及固化时晶体成核和长大的不均匀,从而导致塑料制品容易出现熔接痕、凹陷和翘曲等诸多缺陷,因此,人们不断探索新的塑料成型加工方法,引入场致作用作为一种有效的辅助加工手段越来越成为人们研究的“热点”课题。

所谓场致作用就是在塑料加工过程中引入应力场、超声波场、磁场、高能辐射场等作为辅助加工手段进行加工。在场致作用下,塑料材料会改变弹性、塑性、微观结构形式和粘性变形的行为。流动与形变是塑料加工过程最基本的工艺特征,它对材料的选择和使用、加工时最佳工艺条件的确定、加工设备和成型模具的设计,以及提高产品质量等都有极其重要的指导作用。引入场致作用可以改善塑料的加工流变性能、力学性能及热性能等,对确保制品质量具有重要意义,因此利用场致作用可以达到加工成型和增强塑料性能的双重目的。

## 1 应力场在塑料动态成型加工中的应用

### 1.1 固态三向压应力场成型加工

应力场在塑料动态成型加工中对其成型中的加工特征和成型的性能都有很大影响。固态材料是利用其塑性进行加工,在9种成型加工应力场中,以三向压应力场为最佳,最有利于提高材料的塑性,最有利于成型。

吉林大学张长春等<sup>[1]</sup>利用模压成型法制备行星齿轮。他们把尼龙(PA)66和PA1010圆柱形坯料预热到一定温度,然后把圆柱形坯料放到液压机上的模具中,合模、加压、保压,使坯料在三向压应力场中塑变成型,如图1所示。实验结果表明,随坯料预热温度的升高,模压制品的弹性回复明显减小、成型尺寸精度显著提高;随塑料件保压时间的增加,弹性回复减小,压应力阻止或减小了晶间变形,随着三向压应力作用的增强,晶间变形愈加困难,因而提高了制件的塑性;模压塑料件的成型质量还与塑料件的材料有关,PA66的成型质量比PA1010的好。

该成型方法解决了塑料高温熔融状态下的降解问题,提高了塑料件的力学性能,可以成型PA、聚碳酸酯(PC)等难

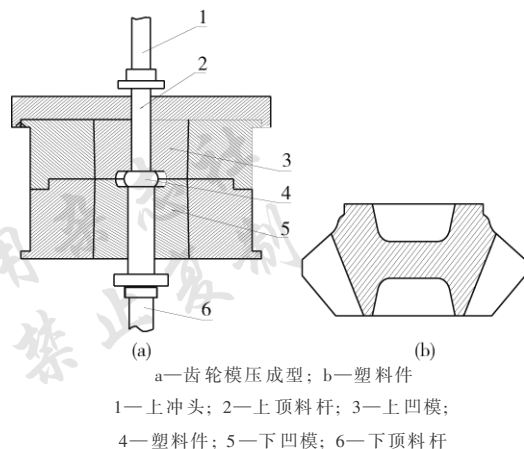


图1 PA66行星齿轮模压成型及塑料件示意图

以注塑的塑料,且制品不存在熔体流动时形成的熔接痕、缩孔、气泡等缺陷。

### 1.2 剪切应力场成型加工

剪切控制取向成型是指通过浇口将动态压力施加给熔体,使型腔内的塑料熔体产生振动剪切流动,在其作用下不同熔体层中的分子链或纤维产生取向并冻结在制件中,从而改善制品的内部结构和微观形态,达到控制制品力学性能和外观质量的目的。比如, J. P. Ibar 等<sup>[2]</sup>研制改进的 I 型流变注塑机, Solomat Partner L. P 公司研制改进的 II 型流变注塑机<sup>[3]</sup>, 德国 Klockner 公司开发的推-拉注射成型<sup>[4]</sup>和英国 Brunel 大学 P. S. Allan 等<sup>[5,6]</sup>研制的多点进浇注射成型(见图2), 四川大学官青、申开智等<sup>[7-9]</sup>改进的多点进浇成型装置, 以及墨西哥 B. Mena 等研制的振荡挤出模具<sup>[10]</sup>等, 都利用了剪切应力场对塑料的改性作用。现以多点进浇注射成

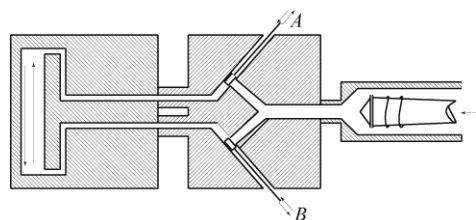


图2 多点进浇注射模具示意图

型装置为例进行说明。

该注射成型装置是在普通注塑机的喷嘴与模具之间安装剪切控制取向装置, 该装置把从注塑机喷嘴喷出的熔体分成两部分, 分两路进入模具型腔。充满型腔后, 两个活塞在独立的液压系统驱动下以频率相同、相位差为  $180^\circ$  的模式进行振动。进入型腔的熔体在型腔内由模壁到熔体中心形成温度梯度。靠近模壁的熔体首先固化, 此处的熔体在活塞的振动下受到的剪切作用最强烈, 取向程度最大。由模壁到中心, 剪切作用和取向程度依次减小。在熔体冷却过程中, 熔体一直受到活塞的振动作用, 因此, 由振动而产生的取向也被固定下来, 形成一定厚度的取向层。正是由于取向层的产生才使得制品的力学性能得到很大的提高。此外, 由振动产生的周期性压缩增压和释压膨胀作用在薄壁部分产生较大的剪切内热, 延缓了塑料件的冷却, 使厚壁部分的收缩能从浇口得到足够的补充, 有效地防止缩孔、凹陷等缺陷。

目前对剪切应力场如何改善制品性能的机理尚未完全弄清楚, 也没有建立起完整的物理模型。但有几点是可以确定的: (1) 振动剪切应力场的引入导致了高分子链沿振动方向的取向, 从而改善了塑料材料的加工性能, 提高了制品的力学性能; (2) 振动剪切应力场影响了聚合物的结晶过程, 而导致制品内部结构和外观形态的改变, 优化了制品的一些物理性能。

## 2 超声波场在塑料动态成型加工中的应用

图 3 为 Chen Guangshun 等<sup>[11, 12]</sup>研制的超声波振动挤出成型装置。该装置中超声波振动发生器产生的高频脉冲通过压电换能器转变成超声振动, 使熔体在超声波场中受到振动, 并且振动方向平行于熔体振动方向。结晶塑料在成型加工过程中引入超声波能量可以改变晶体成核和长大的动力, 从而控制晶体的取向和结构, 并以此获取更均一的结晶体。这样通过超声波振动而制得的制品就会具有更好的物理性能。超声波能量既可单独使用也可与其它形式的能量结合应用。

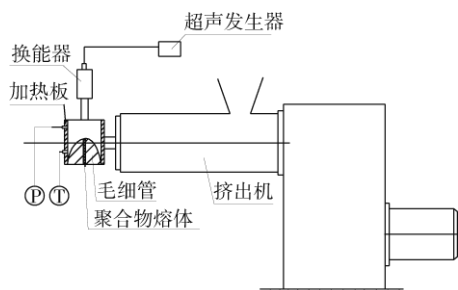


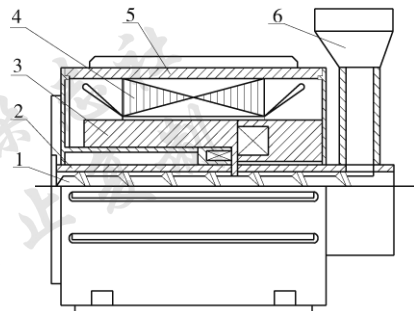
图3 超声波振动挤出装置示意图

与应力场致作用相比, 高强度的超声场致作用为高频低振幅的场致振动, 已被广泛应用到生物、热塑性塑料的熔接、加工、清洗、化学反应等方面。在超声波的作用下, 物料在液体中形成空腔, 这些空腔随传播声波的频率而伸张和压缩。当压缩时, 空腔的尺寸缩小, 同时, 它所产生的巨大压力可能使空腔完全消失, 即可能使它们完全闭合。因为闭合之前空

腔内的压力可达几百兆帕<sup>[13]</sup>, 故而在空腔完全消失的瞬间, 会产生强烈的液压冲击, 致使材料破坏。空腔闭合时产生的液压冲击正好用来破碎和分散许多种物质, 因此在进行材料的共混时可以利用超声波辅助加振, 因为这种空穴作用可以使材料混合得更均匀, 为制备新材料提供新的技术方法。

## 3 电磁场在塑料动态成型加工中的应用

瞿金平等<sup>[14-16]</sup>发明了塑料电磁动态塑化挤出机和注塑机。电磁动态塑化挤出设备示意图见图4。该塑化挤出装置的总体思路是, 将实现物料输送、塑化、挤出功能的挤压系统全部置入驱动绕组装置的内腔中, 通过主绕组和副绕组的脉动振动磁场引起转子3脉动旋转和轴向振动, 从而带动螺杆1作脉动旋转和轴向振动, 并应用计算机组成的控制系统对振动的幅度和频率进行控制, 从而有效地将振动引入到塑料的固体输送、熔融塑化和计量挤出的全过程。



1—螺杆; 2—料筒; 3—转子; 4—定子; 5—机座; 6—料斗

图4 电磁动态塑化挤出设备示意图

电磁动态塑化挤出机使塑化挤出全过程均在周期性振动状态下进行, 且各种过程参数都随周期性振动而变化, 将稳态的塑化挤出过程变成动态塑化挤出过程, 开创了将振动引入塑料塑化挤出全过程的先例, 同时使挤出机的结构得到了集成化, 体积大为缩小。

笔者认为, 目前人们从事的大部分研究主要集中在注塑过程的充模或持压等单一阶段引入振动力场, 没有彻底摆脱传统注塑机或挤出机的框框, 只是在个别阶段进行改造, 同时由于延长了成型周期, 生产效率不高。

## 4 高能辐射场在塑料成型加工中的应用

利用高能或电离辐射引发聚合物电离与激发, 从而产生一些次级反应, 并进一步引起化学反应, 实现高分子间交联网络的形成, 是聚合物改性制备新型材料的有效手段之一。高分子辐射交联后, 不仅使其结构与性能发生相应变化, 而且拓宽了其应用范围。辐射交联中所使用的高能或电离辐射有高能电磁波(如X射线和γ射线)和高能荷电离子(如β粒子或电子、质子、α粒子、中子及核裂变碎片)等。

鉴于高能辐射场在改善材料性能甚至开发新型材料方面的重要作用, 这种技术受到了工业发达国家的普遍重视。美、日、俄等国都在积极研究开发辐射化工产品, 并得到迅速发展。我国发展辐射技术开始于20世纪50年代末, 至今已有几十年的历史。据不完全统计, 辐射交联热塑性塑料、电线电缆和低温粘合剂已成为辐射化工的三大主产品, 年产值

高达 2.5 亿元。其它辐射化工产品有 10 余种,辐射加工总产值约 5 亿元,年增长率为 25%<sup>[18]</sup>。

## 5 结语

场致作用技术作为一种新型的成型技术具有广阔的应用前景,是目前高分子材料加工研究的一个新方向。大量的研究表明,在塑料成型加工过程中引入应力场、超声波场、电磁场、高能辐射场等可降低塑料的熔体粘度,改善塑料熔体的流动性,从而降低加工温度或压力,这将有利于易分解塑料的加工并降低能耗。通过引入场致作用可控制塑料制品的凝聚态结构,主要是控制塑料的结晶和取向,从而控制和改善制品的各种性能,包括物理力学性能、光学性能、热性能等。另外,将场致作用应用于造粒或挤出可使相与相之间融合得更好,有效地促进低分子填料在塑料中的分散,改善填充体系的挤出混合特性,这对于废料回收更具现实意义,并有益于环境保护。

但是,由于目前受研究水平的限制,此技术还有许多不足之处。对于精密模具而言,施加长期、反复的振动必将影响模具的精度和使用寿命;超声波的作用虽可提高制品的拉伸强度、断裂伸长率及储能模量,但是在某些情况下却会使制品的拉伸强度降低。

可以相信,随着对场致作用的深入研究,塑料动态成型技术及设备将不断完善和成熟,必将推动塑料加工设备的更新换代,并产生巨大的经济效益和社会效益。面对越来越激

烈的市场竞争,寻求高效、节能的塑料成型加工方法将成为人们的迫切需求,合理运用场致作用对加工过程中塑料性能的影响,无疑会成为人们探索之路上的一盏明灯。

## 参考文献

- 1 张长春,等.[学位论文].长春:吉林大学,2002.
- 2 Ibar J P. Polym Eng and Sci, 1998, 38(1): 1
- 3 Michaeli W, et al. SPE ANTEC Tech Paper, 1993, 39: 534
- 4 Malloy R. Plastic Part Design for Injection Molding. Hanser/Gardner Publications, 1993. 59, 60
- 5 Allon P S, et al., Composites Manufacturing. London: Uxbridge, Middlesex, 1990. 80
- 6 Malloy R, et al. SPE ANTEC Tech Paper, 1993, 38: 521
- 7 Guan Qing, et al. J Appl Polym Sci, 1995, 50: 1797
- 8 官青,等.高分子学报,1996,6(3): 378
- 9 申开智,等.工程塑料应用,1995,23(1): 12
- 10 徐僖,等.塑料工业,1995(1): 3
- 11 Chen G S, et al. J Appl Polym Sci, 2002, 84: 2451
- 12 Guo S, et al. Polymer Int, 2003, 52: 68
- 13 Price G J. Ultrasonics, 2003, 10: 277
- 14 瞿金平.工程塑料应用,2000,28(11): 11
- 15 瞿金平,等.工程塑料应用,2000,28(3): 10
- 16 彭响方,等.工程塑料应用,1999,27(2): 41
- 17 张志成,等.高分子辐射化学.合肥:中国科学技术大学出版社,2000.

## STUDY ON APPLICATION OF FIELDS IN PLASTICS PROCESSING

Li Shihui, Zhang Changchun, Yu Yan, Chi Jianfeng

(Institute of Material Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130021, China)

**ABSTRACT** The application of stress field, ultrasonic field, electromagnetic field and high-energy radiation field in the dynamic molding processing of plastics is introduced. And the effect of all kinds of fields on the processing of plastics and the mechanism are summarized. According to the recent studies at home and abroad, the application of ultrasonic field, shear stress field etc can improve the rheology property of plastics melt and the part morphology effectively, and the mechanical property can be enhanced.

**KEYWORDS** fields, vibration, plastics, dynamic molding

## 耐高温有机硅树脂性能佳

江苏常州市嘉诺有机硅厂根据市场需求开发的 W9802 耐高温型有机硅树脂,日前通过了江苏省新产品新技术鉴定。

该厂通过与多家高等院校合作,攻克多项技术难关,经过优化配方设计,改进聚合工艺,研制成功此种耐高温有机硅树脂。该树脂具有优异的耐高温性能,其耐热性达到(350±5)℃×2 h,不变色、不开裂、不脱落,可以满足用户制造耐热 600℃以上涂料的要求,并且与其它树脂的相容性好,可与进口产品的耐高温性和相容性相比美。

该产品可与丙烯酸、聚酯、酚醛、氨基环氧等其它有机硅树脂配合,配制不同用途的各类涂料、绝缘漆和各种高温脱模剂,特别适用于配制需高温保护而无法烘烤之设备的耐热涂料。经用户使用,认为该产品性能优异,质量稳定,与国外

产品相当,且价格低廉。

(祖福)

## 高分子阻燃材料研制成功

中国科技大学火灾科学国家重点实验室的科研人员采用分子设计方法研制成功新型清洁、高效阻燃材料。

该技术通过无机或有机化合物改性粘土,在聚合物中形成纳米复合微结构,所制各种纳米复合材料的性能比其相应的宏观或微米级复合材料均有较大改善。这种阻燃聚合物/改性粘土纳米复合材料是通过人工微结构的材料设计,用“层离纳米复合材料”和“嵌入纳米复合材料”方法,合理地 将聚合物和改性粘土结合在一起,利用新的阻燃技术制备的,可以有效地克服现有阻燃材料的不足。

据了解,这项技术成果已被列入国家高技术产业发展计划,国家拟投资 800 万元通过中科院热安全工程技术研究中心实施这项技术。

(岑)