

注射预塑过程中轴向振动效应的研究^{*}

周南桥 吴清锋 卜宪华 何丹超

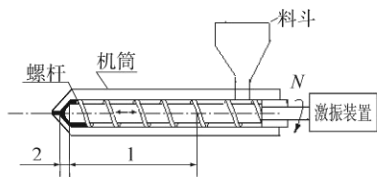
(华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心,广州 510640)

摘要 采用电磁动态注塑机在不同工况下将 HDPE/CaCO₃ 共混物分别进行稳态和动态加工实验,研究振动力场作用下注射预塑过程中轴向挤压的作用。对制得样条的断面用 SEM 观察,并进行 CaCO₃ 粒径统计。结果表明,轴向挤压作用有助于聚合物进一步塑化和改善混合效果,振动强度越大,塑化效果越好, CaCO₃ 颗粒尺寸越小,分布越均匀;在相同工况下,注射样条中的 CaCO₃ 颗粒要比挤出样条中的小,分散更均匀,尺寸大小也更趋于一致。

关键词 振动力场 剪切 挤压 混合

众所周知,注塑机预塑过程就是螺杆轴向后移计量的过程。螺杆的后移,将使其有效工作长度缩短,从而造成物料预塑过程中先前的和后面的物料所经受的热历程和剪切作用历程都存在差异。随着螺杆的有效工作长度的缩短,不仅使螺杆的塑化能力降低,而且物料的塑化质量、混合效果越来越差,螺杆轴向上的熔体温度分布不均匀性也越来越大,这种质量不高的熔体最终影响注塑制品的质量。要改善预塑物料的熔体质量通常采取增大背压、降低螺杆转速、限制螺杆注射行程及采用新型注射螺杆等措施。

将振动力场引入挤出机塑化挤出全过程,可以明显提高挤出机的塑化质量。在电磁动态塑化挤出过程中,轴向振动对物料熔融和熔体输送过程的作用可分为两个区域,如图 1 所示。



1—轴向剪切作用区; 2—轴向挤压作用区

图 1 轴向振动对熔体作用的分区示意图

在图 1 中,1 区从物料开始熔融到熔体输送段结束。在这一区域中轴向振动效应主要体现在 3 个方面^[1~3]:①促使聚合物大分子链解缠,有利于塑化,增加物料流动性,使熔体的表观粘度降低,加工温度降低;②螺杆周向剪切和轴向振动产生的轴向剪切形成了复合剪切力场,有利于分散相的分散及熔体温度的均匀;③熔体沿螺槽流动方向取向与轴向振动剪切引起的轴向取向使大分子链形成网络化结构,如能将这种网络化结构保留在制品中,则将提高制品力学性能的均匀性,避免各向异性。由于这

一区域的振动以剪切形式起作用,故称轴向剪切作用区。2 区从螺杆头部到机筒出口。该区域中熔融的物料主要受到螺杆反复轴向挤压和松弛作用。在螺杆头部挤压作用下,熔体内部产生流动,而螺杆后退时,熔体又发生松弛,使熔体内部产生了拉伸流动变形,熔体受到的这种轴向交变的挤压和松弛作用对熔体温度的均匀性和多组分物料的混合、分散都起到显著作用。在这一区域中,轴向振动主要对熔体起到反复挤压作用,故称轴向挤压作用区。

对于挤出机,轴向振动对熔体的作用主要在 1 区,从物料熔融开始到熔体输送段结束,熔体受到轴向振动作用时间较长,故效应显著。而熔体在 2 区停留时间很短,受到挤压作用时间短,效应不明显。但是对于注塑机来说情况却不一样,注塑机在预塑过程中,螺杆后退,塑化好的熔体被输送到由于螺杆后退而空出的机筒里,从喷嘴到螺杆头部这一区间相当于一个封闭的压力容器,预塑好的熔体在这一区间受到螺杆轴向反复挤压、松弛作用,直到预塑过程结束,作用时间长。这种反复挤压、松弛作用很好地弥补了注塑机在预塑过程中由于螺杆有效工作长度逐渐缩短而带来的塑化质量变差、熔体轴向温差变大、混合效果变劣等弊病。轴向振动对注塑机预塑过程的作用可通过下面实验进行验证。

1 实验方法

实验是通过自制的 DPII-90 型电磁动态注塑机进行的。首先利用注塑机预塑装置进行挤出实验,将注塑机的喷嘴敞开,调大背压,使螺杆不能后退,启动预塑装置传动系统并引入轴向振动,聚合物物料在振动力场作用下被挤出,挤出物经水槽迅速

^{*} 国家自然科学基金项目(10472034)、国家自然科学基金重大项目(10590351)

收稿日期:2006-01-17

冷却制取样条。此时 2 区中轴向挤出熔体的作用时间短,轴向挤压效应不明显,这种方式相当于是在挤出条件下进行实验(挤出实验条件简称挤出,下同)。这时,1 区中的轴向振动产生的剪切作用效应则得到了很好的保存。所以可以利用电磁动态注塑机分别进行稳态(不加振动)和动态(加振动)挤出加工实验,研究在不同振动参数(频率、振幅)下挤出过程中聚合物物料的塑化和混合效果。

将电磁动态注塑机的喷嘴封闭,背压调回常规状态进行预塑,预塑完成后,打开喷嘴,螺杆以最低的注射速率对空射出。射出的熔体立即水冷制取样条。这种方式主要是针对注射预塑过程进行实验研究,为与前面的挤出实验条件对比,将其称为预塑对空注射实验条件(简称注射,下同)。同样分别进行稳态和动态注射加工实验,研究在不同振动参数下注射预塑过程中聚合物物料的塑化和混合效果。

将挤出和注射实验条件下得到的样条进行测试、对比分析,验证轴向振动对注塑机预塑过程中的挤压效应。

2 实验部分

2.1 原材料

高密度聚乙烯(HDPE):5000 S,熔体流动速率(MFR)0.9 g/10 min,湖南石油化学股份有限公司;

CaCO₃:BT-3,平均粒径 1.50 μm,粉料,广东恩平燕华化工实业有限公司。

2.2 设备及仪器

电磁动态注塑机:DPII-90 型,螺杆直径 35 mm,长径比 22,螺杆转速 0~220 r/min,理论注射容量 154 cm³,自制;

双螺杆挤出机:SVF-113-380C 型,电机功率 7.5 kW,南京科亚公司;

高速混合机:GH-10DY 型,北京市塑料机械厂;

电热鼓风干燥箱,CS1013 型,重庆试验设备厂;

螺管激振装置:SV-2000 型,自制;

扫描电子显微镜(SEM):XL-300 型,荷兰 Philips 公司。

2.3 样条制备

用脂肪酸对 CaCO₃ 进行表面处理,然后在 70℃ 干燥 2 h;将 HDPE 与 CaCO₃ 按 80:20 的比例(质量比)先在高速混合机上混合 5 min,再在双螺杆挤出机上挤出、水冷、造粒,挤出温度为 160~210℃,螺

杆转速为 100 r/min,挤出粒料于 60℃ 干燥 4 h。

利用电磁动态注塑机的塑化注射装置,设定不同的工况分别进行挤出和注射实验,制取测试样条。

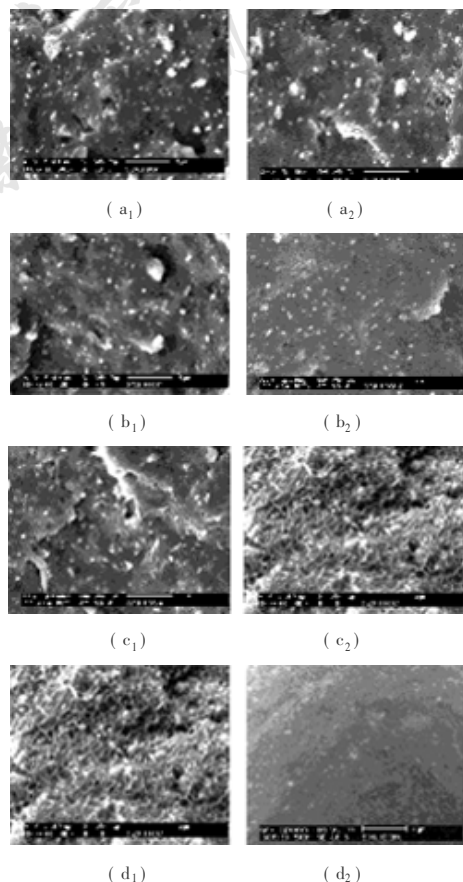
2.4 测试

样条在测试环境中放置 12 h 以上,以保证测试结果的准确性。将干燥的 HDPE/CaCO₃ 挤出粒料在挤出和注射条件制取的样条置于液氮中脆断,并进行真空喷金处理。用 SEM 观察断面形貌并拍照,再对图中 CaCO₃ 颗粒粒径分布进行统计。

3 结果与讨论

3.1 振动对 HDPE/CaCO₃ 样条断面形貌的影响

图 2 为 HDPE/CaCO₃ 在挤出和注射条件下制取的样条的液氮脆断断面的 SEM 照片。照片采用相同的放大倍数,都为 5 000 倍。图中标注中 f 为振动频率, A 为振幅。



a₁—挤出($f=0$ Hz, $A=0$ μm); a₂—注射($f=0$ Hz, $A=0$ μm);
b₁—挤出($f=4$ Hz, $A=100$ μm); b₂—注射($f=4$ Hz, $A=100$ μm);
c₁—挤出($f=10$ Hz, $A=100$ μm); c₂—注射($f=10$ Hz, $A=100$ μm);
d₁—挤出($f=10$ Hz, $A=200$ μm); d₂—注射($f=10$ Hz, $A=200$ μm)

图 2 挤出与注射条件下制取的样条液氮脆断断面的 SEM 照片

在图 2 中,图 2a₁、图 2a₂ 分别为稳态挤出和稳态注射的样条的 SEM 照片,由图 2a₁、图 2a₂ 可看

出,很多细小的CaCO₃颗粒堆积在一起,分布非常不均匀且形成了大块的聚集体,而且这两种稳态条件下的混合效果相差不大。图2b₁、图2c₁、图2d₁分别为不同频率和振幅时动态挤出样条的SEM照片。可以看出,施加振动后CaCO₃颗粒明显被打散,均匀分布在HDPE基体中。而且随着振动频率和振幅的增大,这种作用更加明显。图2b₂、图2c₂、图2d₂为分别对应于图2b₁、图2c₁、图2d₁的动态注射样条,与挤出样条相比,在同样的工况下, CaCO₃颗粒更细,分布更均匀,尺寸大小也更趋于一致。随着振动频率和振幅的增大,混合效果得到进一步改善。从图2还可以发现,随着振动频率和振幅的加大,在整个动态挤出样条的基体中逐步呈现出一种相互联系的晶体网络结构,而且分布越来越明显。在振动频率为10 Hz、振幅为200 μm时表现最明显。动态注射的样条基体中也逐步呈现出这种相互联系的晶体网络结构,并且比相同工况下的动态挤出网络分布更加细密和均匀。

3.2 振动对 HDPE/CaCO₃ 样条中分散 CaCO₃ 颗粒粒径的影响

对图2中CaCO₃颗粒粒径进行统计(见表1),用平均粒径来表示分散相的分散程度。平均表面直径用式(1)^[4]来表示:

$$\bar{d}_A = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} \tag{1}$$

式中: $\bar{d}_A$ ——平均表面直径, μm;
 d_i ——分散相*i*的粒径, μm;
 n_i ——分散相*i*的粒子数。

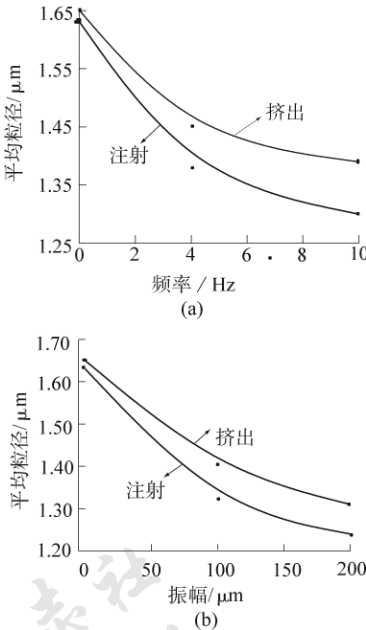
表1 不同工况下挤出与注射样条中的CaCO₃平均粒径 μm

项 目	$f=0\text{ Hz}$ $A=0\text{ μm}$		$f=4\text{ Hz}$ $A=100\text{ μm}$		$f=10\text{ Hz}$ $A=100\text{ μm}$		$f=10\text{ Hz}$ $A=200\text{ μm}$	
	挤出	注射	挤出	注射	挤出	注射	挤出	注射
平均粒径	1.65	1.63	1.43	1.36	1.39	1.30	1.31	1.24

由表1可得到挤出和注射的HDPE/CaCO₃样条中CaCO₃的平均粒径分布对比图,如图3所示。

对比图3a和图3b可以看出,与稳态挤出相比,稳态注射时HDPE基体中的CaCO₃颗粒平均粒径的减小并不明显,只降低了不到1.2%。这是由于注射过程中熔体经过较小的喷嘴时流速比较高,产生局部的剪切混合,但是由于熔体流经喷嘴的距离很短,与稳态挤出相比,这种作用并不显著。

与稳态挤出相比,动态挤出样条中的CaCO₃堆



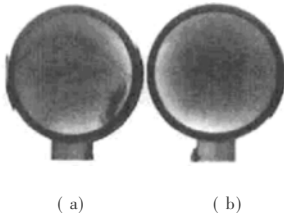
a—不同振动频率时; b—不同振幅时
图3 挤出和注射的样条中CaCO₃的平均粒径分布

聚减少,颗粒比稳态情况下分散均匀且粒径更小。随振动强度加大,这种效果越来越显著, CaCO₃颗粒尺寸逐步变小并趋于一致,分布更加均匀。可见,轴向振动促进了CaCO₃在HDPE中的分散和均匀分布。

而在相同的工况下,动态注射样条中的CaCO₃颗粒要比动态挤出样条中的CaCO₃颗粒分散均匀,平均粒径也进一步减小。如在振动频率为10 Hz、振幅为100 μm时,动态注射样条中的CaCO₃颗粒平均粒径比动态挤出时减小了约6.5%,反映了注塑机预塑过程中轴向振动产生的挤压效应。

3.3 振动对色母粒在PMMA中分布的影响

图4为添加0.1%色母粒的聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)注塑的放大镜的照片^[5]。从图4a可以明显看到色母粒聚集的现象,而图4b中并没有局部色块的现象,示踪色母粒的分布很均匀。这也很好地验证了注塑机预塑过程中轴向振动产生的挤压效应。



a—未加振动; b—施加振动
图4 添加色母粒的PMMA注射成型的放大镜的照片

4 结论

振动力场作用下注射预塑过程中的轴向挤压作用有助于聚合物进一步塑化和改善混合效果。随着振动强度的增大,这种效应越来越明显。在相同工况下,注射样条中的 CaCO_3 颗粒要比挤出样条中的 CaCO_3 颗粒分散均匀,粒径更小,更趋于一致。注射成型过程中引入轴向振动强化了物料的塑化、混合效果,弥补了注射预塑过程中因螺杆有效工作长度减小而造成的塑化效果变差的影响。

RESEARCH OF AXIAL OSCILLATION EFFECT IN INJECTING PREPLASTICIZING PROCESS

Zhou Nanqiao, Wu Qingfeng, Bu Xianhua, He Danchao

(National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT Axial pressing effect in the injecting preplasticizing process under vibrating condition is investigated. By using electromagnetic dynamic plastic extruder, a blend of HDPE/ CaCO_3 is processed under steady and dynamic condition. Through observing the SEM pictures of sample and counting particle diameter, it can conclude that axial pressing redound to further plasticize polymer and improve the property of blend. With the rise of intensity of oscillation, plasticizing effect become better, and the smaller the size of CaCO_3 grains is, the more uniform it distribute. Under the same condition, CaCO_3 grains in the injected sample distribute more uniform than that in the extruded sample and the size of CaCO_3 grains of injected sample is smaller and more consistent than that of the extruded sample.

KEYWORDS oscillation force field, shear, pressing, blend

参考文献

- 1 张鹏, 瞿金平. 振动剪切场对聚合物熔体缠结密度的影响机理. 华南理工大学学报(自然科学版), 2003, 31(4): 1
- 2 卿艳梅, 周南桥, 彭响方. 电磁动态塑化挤出机熔体混合性能的研究. 塑料工业, 2003, 31(3): 49
- 3 周南桥, 罗卫华, 占国荣, 等. 振动力场对 m-PE-LLD 薄膜拉伸强度的影响. 中国塑料, 2005, 19(2): 63
- 4 耿孝正, 张沛. 塑料混合及设备. 北京: 中国轻工业出版社, 1992.
- 5 殷小春, 瞿金平, 任鸿烈. 熔体振动技术对注射成型加工的影响. 中国塑料, 2003, 17(4): 9

关于召开“2006 年中国工程塑料加工应用技术研讨会”并征集论文的通知

各有关单位:

根据中国工程塑料工业协会的工作计划, 中国工程塑料工业协会加工应用专委会将于 2006 年 9 月中旬在河北承德市召开“2006 年中国工程塑料加工应用技术研讨会”。会议期间将进行技术、学术和市场信息交流, 并将组织代表到承德市金建检测仪器有限公司等处参观。会议将出版《论文集》。特向国内外从事工程塑料、复合材料研究、生产、加工、应用, 仪器、设备制造等工作的教授、专家、企业家、工程技术人员征集论文, 征集科研成果, 并诚邀大家踊跃参加会议。现将有关事项通知如下:

一、技术(学术)交流内容及征集论文

1. 技术(学术)交流主题: 工程塑料的加工、应用与分析、测试。
2. 技术(学术)交流及讲座内容: (1) 改性塑料新材料研制; (2) 材料性能及评价; (3) 塑料分析测试新技术; (4) 塑料成型加工新技术; (5) 塑料模具及设备设计制造新技术; (6) 塑料应用新技术等。
3. 征文范围: 有关塑料材料的合成、改性、增强、增韧、着色、配混、加工、应用、分析、测试、模具、加工设备、文献综述、供需市场及预测等方面的技术(学术)论文。
4. 征集论文截至 2006 年 7 月 31 日为止。论文打印排版格式请参照《工程塑料应用》杂志, 《论文集》中的优秀论

文将在协会会刊《工程塑料应用》上发表。应征论文请尽快寄至或发 E-mail 至《工程塑料应用》杂志社。

二、征集科研成果

大会将在“研讨会”会场周边展示科研成果、技术转让项目, 并组织发布、洽谈和交易。请各单位将最新的科研成果项目名称和简介速发传真或发 E-mail 至《工程塑料应用》杂志社。

三、征集《论文集》广告

大会将以优惠价格为各单位在《论文集》上刊登广告。广告价目为: 封二、前插 1、目次前页 1000 元/版, 封三 900 元/版, 彩色插页 800 元/版, 黑白插页 300 元/版。请各单位尽快与杂志社联系广告刊出事宜。

请您及时与我们联系:

联系人: 李桂珍 肖德凯

电话: 0531-85878057 85878278

传真: 0531-85947355 85878224

E-mail: master@engplastics.net 5947355@sohu.com

通讯地址: 山东省济南市 108 信箱杂志社

邮编: 250031

网址: www.engplastics.net

中国工程塑料工业协会加工应用专委会
承德市金建检测仪器有限公司