

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.07.015

沟槽机筒挤出机塑化特性的超声波表征

杨茜,贾明印,薛平,熊文楠,曹宏星

(北京化工大学机电工程学院,北京 100029)

摘要:分析了制品超声波特征回波幅值和沟槽机筒挤出机塑化特性的关系,构建了基于超声波特征幅值衰减的评价方法,通过实验研究,探明了机筒结构和螺杆结构对沟槽机筒挤出机塑化特性的影响,并结合可视化实验研究对结果进行了验证。结果表明,在相同的螺杆结构条件下,压缩段沟槽机筒挤压系统加工的制品对超声波的衰减作用最小,即该挤压系统有较好的塑化效果;在相同的机筒结构条件下,随着螺杆压缩比增大,物料的塑化程度不断提高,且实验结果与可视化研究一致。

关键词: 沟槽机筒挤出机; 塑化特性; 结构; 超声波表征

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)07-0078-05

Plasticizing Characteristics of Groove Barrel Extruder Based on Ultrasonic Testing Technology

Yang Qian, Jia Mingyin, Xue Ping, Xiong Wennan, Cao Hongxing

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The relationship between ultrasonic echo amplitude and the plasticizing characteristics of the extruder barrel extruder was analyzed, and an evaluation method based on attenuation of amplitude of ultrasonic features was constructed. Through experimental research, the influence of the barrel structure and the screw structure on the plasticizing properties of the grooved barrel extruder was ascertained, and the results were verified by a combination of visual experimental studies. The results show that under the same screw structure condition, the products processed by the compression section groove barrel extrusion system have the least attenuation effect on the ultrasonic wave, that is, the extrusion system has a better plasticization effect. Under the same barrel structure condition, with the increase of the screw compression ratio, the degree of plasticization of the material continues to increase, and the experimental results are consistent with the visualization study.

Keywords: grooved barrel extruder; plasticizing characteristics; structure; ultrasound characterization

塑化特性是单螺杆挤出机性能的重要指标,对其塑化特性表征技术的研究非常重要。塑化特性表征技术一方面可以加深研究者们对加工设备性能的认识,促进输送和挤出理论的发展,为新技术的开发奠定基础;另一方面可以为工业生产中工艺参数的优化提供依据。本课题组在国家自然科学基金的支持下,针对加料段沟槽机筒挤出机固体输送率与熔融效率的不匹配问题提出了将挤出机机筒上开设的螺旋沟槽由加料段延伸至压缩段的解决方案,设计开发了压缩段沟槽机筒挤出机^[1],前期的模拟^[2]以及实验研究^[3-5]表明,该设备可以实现物料的高效

熔融。针对该新型设备,更需要有全面、高效的检测技术对其性能进行研究。

超声波检测技术广泛应用于聚合物加工检测中^[6-8],与传统的检测方法有很好的相关性。对于大部分材料,可以采用脉冲反射法或穿透法检测模式,但是对于一些纤维增强的复合材料,目前的方法仅限于使用垂直于表面的超声波束进行检查^[9]。超声波检测方法是基于材料结构或者内部缺陷的声学特性对超声波传播影响的原理,对被检测试件的表面和内部缺陷进行无损检测^[10]。在检测中,超声波的常用频率为0.5~25 MHz^[11],从而保证了超声波的

基金项目: 国家自然科学基金项目 (21404007)

通讯作者: 贾明印,副教授,博士,主要从事高分子材料成型技术与装备研究 E-mail: jiamy@mail.buct.edu.cn

收稿日期: 2018-05-10

引用格式: 杨茜,贾明印,薛平,等. 沟槽机筒挤出机塑化特性的超声波表征 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(7):78-82.

Yang Qian, Jia Mingyin, Xue Ping, et al. Plasticizing characteristics of groove barrel extruder based on ultrasonic testing technology[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(7):78-82.

高穿透性,可以实现对材料内部结构的检测。当使用超声波对聚合物制品进行检测时,超声波会随着制品的内部缺陷出现不同程度的衰减、反射、散射,最终导致超声波回波信号的延时时间、回波幅值等特征发生相应变化,因而可以对聚合物内部的结构以及混合状态进行检测和分析^[12]。在缺陷检测中,超声波回波信号的幅值大小包含了待检测样品的大量结构以及物理化学性质。回波信号幅值大小的变化程度反映了超声波在待检测样品中的衰减情况,包括吸收衰减、散射衰减和反射衰减^[13]。衰减与聚合物的内部结构有直接联系,聚合物内部均一性越好,缺陷越少,幅值衰减就越小。

基于此,笔者对基于超声波检测技术的沟槽机筒挤出机塑化特性表征技术进行了实验研究。根据超声波特征回波的衰减程度判断聚丙烯(PP)制品的塑化质量,从而对沟槽机筒挤出机的塑化特性进行分析。

1 实验原料及设备

所用原料为中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司提供的牌号为B8101的PP,其密度为 0.9 g/cm^3 ,熔点为 165°C ,熔体流动速率为 $0.45\text{ g}/10\text{ min}$ 。

实验采用自主研发的机筒剖分式可视化实验测试平台,结构如图1所示。

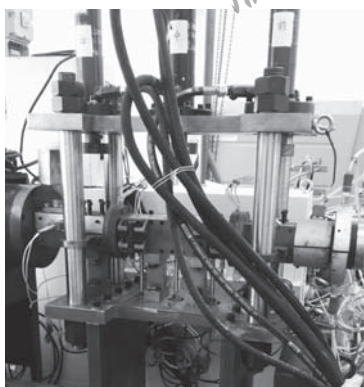
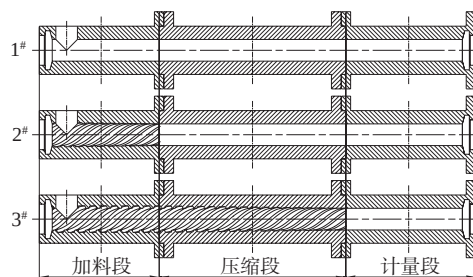


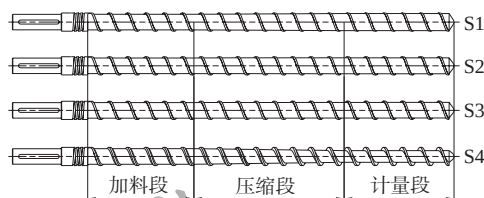
图1 实验中所使用的剖分式机筒单螺杆挤出机

单螺杆挤出机的工作部件主要包括机筒和螺杆,采用了普通三段式螺杆分别与不同结构机筒进行组合,研究机筒结构和螺杆结构对沟槽机筒挤出机塑化特性的影响。机筒结构形式主要包括光滑机筒(1[#])、加料段设有螺旋沟槽的机筒(2[#])和压缩段设有螺旋沟槽的机筒(3[#]),螺杆的压缩比分别为2.13,1.14,1.00,0.41(分别记为S1, S2, S3, S4),其结构分别如图2、图3所示。



1[#]—光滑机筒; 2[#]—加料段开设螺旋沟槽的机筒;
3[#]—压缩段开设螺旋沟槽的机筒

图2 机筒结构示意图



S1~S3—正向压缩螺杆; S4—反向压缩螺杆

图3 螺杆结构示意图

2 实验研究

2.1 机筒结构对挤出机塑化特性的影响

以S1普通螺杆为例,采用不同机筒结构,机筒温度设定为 230°C ,螺杆转速设定为 25 r/min ,制得PP制品后,利用超声波检测装置实验台对其进行缺陷检测。

图4示出机筒结构对PP制品超声波回波信号的影响,其中 U_0 代表超声波传感器/PP制品界面的反射回波信号, U_1 代表PP制品/反射板界面的反射回波信号,其他信号代表PP制品中缺陷界面的反射回波信号。从图4可以看出,在超声波信号 U_0 和 U_1 之间存在着一些回波信号,这些信号的产生是由于PP制品内部缺陷产生的界面对超声波信号的反射形成的,超声波信号的衰减除了这些反射回波外,还包括因PP制品内部缺陷界面散射发生偏离而未被超声波探头采集到的缺陷信号。

为了试验对比研究,采集探头发射出的超声波信号记作 U ,如图5所示。由于超声波信号 U 的幅值不受检测的制品表面和内部结构的影响,只与环境条件以及信号采集系统自身属性有关,而特征信号 U_1 的幅值除了与环境条件以及信号采集系统自身属性有关,还受待检测制品内部结构的影响,因此选用 U 作为参考信号,并引入衰减程度表征系数 A ,定义为 $A=U_1/U$,用 A 的数值大小作为塑化特性的评判标准, A 值越大说明特征信号的幅值越大,超声波穿透制品后的衰减越小,制品内部缺陷越少,即物

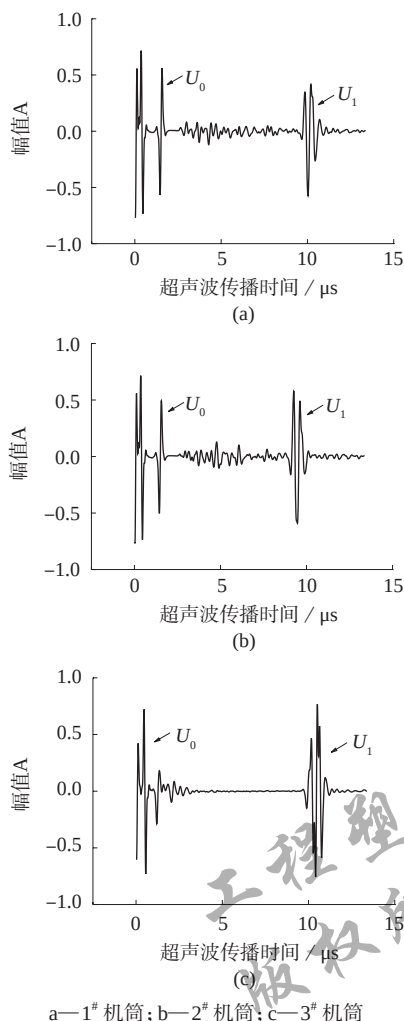


图4 不同机筒结构下 PP 产品的超声波回波信号

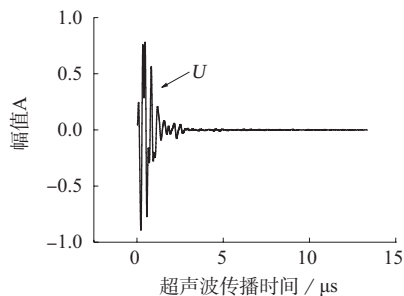


图5 超声波参考信号

料的塑化质量越好,挤出机的塑化特性越强,反之,物料的塑化质量不好,挤出机的塑化特性较差。

根据试验数据,按照 $A=U_1/U$ 计算机筒结构对 PP 产品中超声波特征信号衰减程度的影响,结果如图 6 所示。

从图 6 可以看出,在相同的工艺条件下,3# 机筒加工的制品对超声波特征信号的衰减程度最小,表明 3# 机筒的塑化效果最好。其原因在于,压缩段

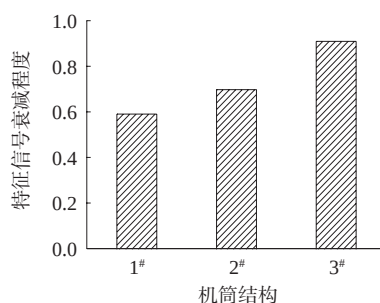


图6 不同机筒结构制品中超声波特征信号衰减程度

机筒沟槽对物料的熔融起到了促进作用,与螺杆螺槽共同作用,充分发挥了物料的内摩擦作用,生成了大量的“固相-固相”、“固相-液相”、“液相-液相”剪切热,在剪切热和机筒外热源的传导热共同作用下,螺杆螺槽内物料经过较短的熔融长度便实现熔融,保证了熔体在输送段得到充分混合,熔体的均一性较好,超声波在其中传输的能量损失较小,即 3# 机筒的塑化效果较好。

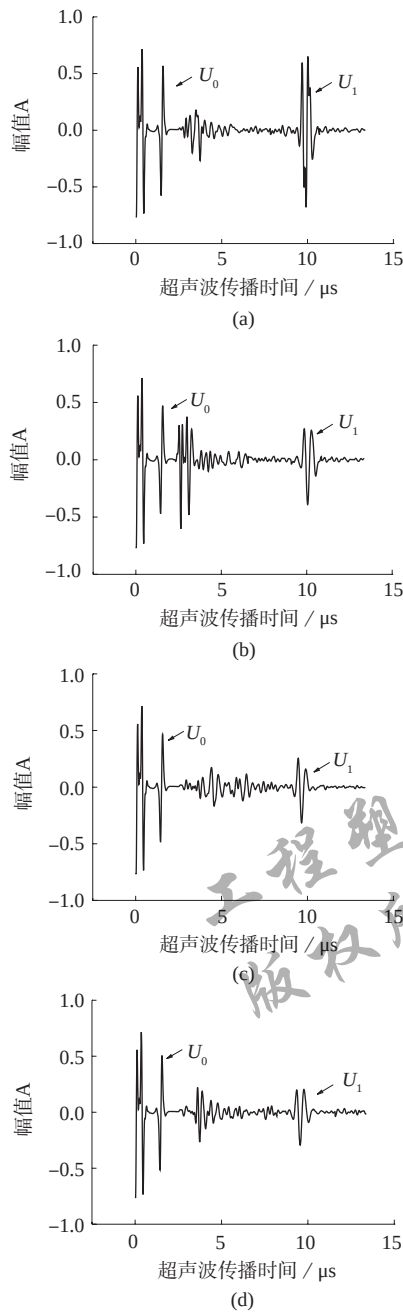
2.2 螺杆结构对挤出机塑化特性的影响

以 3# 机筒为例,选用不同结构螺杆,机筒温度设定为 230°C ,螺杆转速设定为 25 r/min ,制得 PP 制品后,利用超声波检测装置实验台对其进行缺陷检测。

图 7 为螺杆结构对 PP 制品的超声波回波信号的影响。根据试验数据,按照 $A=U_1/U$ 计算螺杆结构对 PP 制品中超声波特征信号衰减程度的影响,结果如图 8 所示。从图 8 可以看出,随着螺杆压缩比的降低,挤压系统加工的制品对超声波特征信号的衰减程度越来越大,表明挤压系统的塑化效果越来越差。其原因在于,当压缩比较高时,物料输送过程中的阻力较大,一方面增大了系统内部的压力,另一方面使物料的停留时间延长,在高压和较长时间的热传导作用下,物料迅速熔融。随着压缩比的降低,物料内部产生的剪切热减少,降低了物料的塑化效率,从而使熔体的均一性变差,超声波在其中传输的能量损失增大,即 S1 螺杆的塑化效果较好。

3 结果验证

为了验证上述测试方法和测试结果,设计两组可视化实验进行验证。当挤出机在上述工艺条件下稳定工作一段时间后,急停螺杆,在液压装置驱动下快速打开机筒,利用可视化技术分析了机筒结构和螺杆结构对沟槽机筒挤出机内熔融起始点、熔融结束点的影响。



a—S1 螺杆; b—S2 螺杆; c—S3 螺杆; d—S4 螺杆

图7 不同螺杆结构下 PP 制品的超声波回波信号

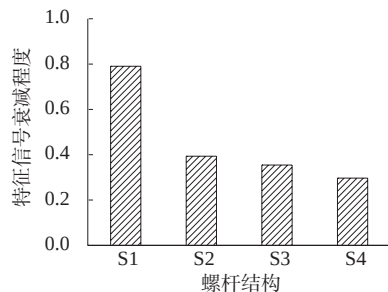


图8 不同螺杆结构下制品中超声波特征信号衰减程度

图9示出机筒结构对PP塑化过程的影响。从图9可以看出,在三个机筒结构中PP物料在螺杆螺槽内的熔融起始点均位于第六个螺槽位置(6D, D代表螺槽,下同)位置,熔融结束点分别发生在9D,8D,7D位置,由此可知,1[#],2[#],3[#]机筒统中PP塑化需要的熔融长度分别为4D,3D,2D。

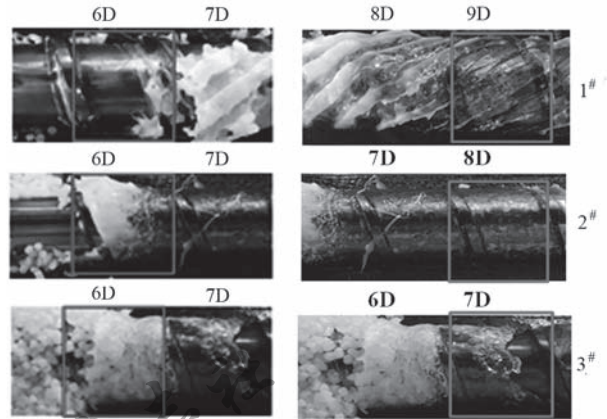


图9 机筒结构对挤出机熔融过程的影响

图10示出螺杆结构对PP塑化过程的影响。从图10可以看出, S1螺杆螺槽内的熔融起始点位于7D位置, S2~S4螺杆螺槽内的熔融起始点均在10D位置;熔融结束点位于8D,14D,17D,19D位置,由此可知, S1~S4螺杆中PP塑化需要的熔融长度分别为2D,5D,8D,10D。

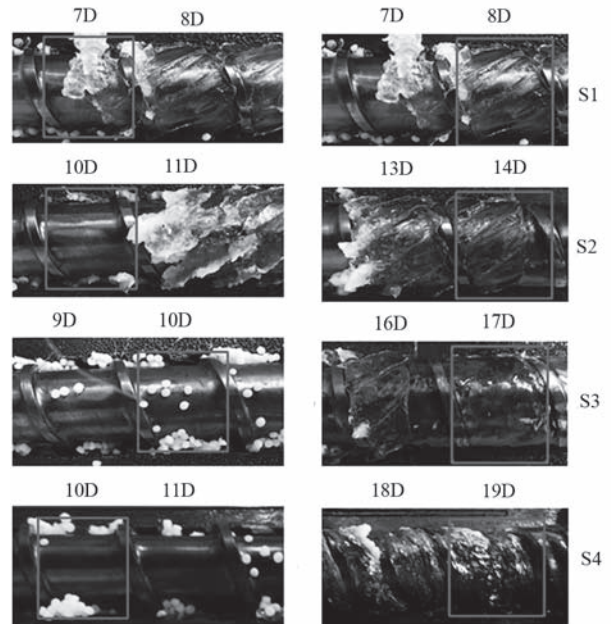


图10 螺杆结构对挤出机塑化过程的影响

综上,在螺杆结构一定的条件下,3[#]机筒中物料熔融所需的熔融长度最短;在机筒结构一定的条件下, S1螺杆中,物料熔融所需的熔融长度最短。

当挤出机螺杆长径比一定时,熔融长度越短,物料可以在输送过程中充分地混合,提高熔体的均匀性,从而导致制品的内部缺陷不断减少,证实了超声波检测结果。

4 结论

利用超声波检测技术实验研究了机筒结构和螺杆结构对沟槽机筒挤出机塑化特性的影响。研究表明,在螺杆结构一定的条件下,3[#]机筒塑化效果最好;在机筒结构一定的条件下,S1螺杆塑化效果最好。机筒压缩段开设螺旋沟槽有利于物料的熔融,机筒沟槽和螺杆螺槽耦合作用产生的剪切热与较高固体输送量所需熔融热相匹配,有效提高了沟槽机筒简单螺杆挤出机熔融效率。

参考文献

- [1] 薛平,贾明印,金晓明.一种沟槽机筒挤出机,201310261134.4 [P].2013-06-27.
Xue Ping, Jia Mingyin, Jin Xiaoming. A grooved barrel extruder, 201310261134.4 [P].2013-06-27.
- [2] 李晨昕,薛平,贾明印,等.沟槽机筒简单螺杆挤出机塑化性能的模拟研究[J].中国塑料,2017,31(2):99-107.
Li Chenxin, Xue Ping, Jia Mingyin, et al. Simulation study on plasticizing performance of single screw extruder with grooved barrel [J]. China Plastics, 2017, 31(2):99-107.
- [3] 李晨昕,薛平,贾明印,等.沟槽机筒简单螺杆挤出机塑化特性的实验研究[J].中国塑料,2017,31(6):111-117.
Li Chenxin, Xue Ping, Jia Mingyin, et al. Experimental study on plasticizing characteristics of single screw extruder with grooved barrel[J]. China Plastics, 2017, 31(6):111-117.
- [4] 金晓明.沟槽机筒简单螺杆挤出机熔融理论研究[D].北京:北京化工大学,2015.
Jin Xiaoming. Study on the melting theory of grooved barrel single screw extruder[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2015.
- [5] 李晨昕.机筒沟槽和螺杆螺槽耦合作用下熔融塑化研究[D].北京:北京化工大学,2017.
Li Chenxin. Research on melting and plasticizing under the coupled action of barrel groove and screw channel[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2017.
- [6] Seto D, Weber W. Developments in using ultrasound for QNDE of polymer melts[C]// Quantitative Nondestructive evaluation. American Institute of Physics, 2002:1 727-1 734.
- [7] 金艳,吴大鸣,何亚东,等.超声波测量聚合物熔体密度[J].塑料,2011,40(5):102-105.
Jin Yan, Wu Daming, He Yadong, et al. Ultrasonic measurement of polymer melt density[J]. Plastics, 2011, 40(5):102-105.
- [8] 蔡伟.精密超声波温度测量仪的研究[D].重庆:重庆理工大学,2012.
Cai Wei. Research on precision ultrasonic thermometer[D]. Chongqing:Chongqing University of Technology, 2012.
- [9] Yan D, Sutcliffe M, Wright B, et al. Ultrasonic imaging of full matrix capture acquired data for carbon fibre-reinforced polymer[J]. Insight:Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 2013, 55(9):477-481.
- [10] 王峰,王召巴,陈友兴,等.聚合物混合状态的超声检测及在线监控[J].塑料科技,2010,38(2):85-88.
Wang Feng, Wang Zhaoba, Chen Youxing, et al. Ultrasonic testing and on-line monitoring for blending state of polymer[J]. Plastic Science and Technology, 2010, 38(2):85-88.
- [11] 孙会波.基于超声波测量的聚合物共混物相容性表征方法研究[D].广州:华南理工大学,2012.
Sun Huibo. Research on ultrasonic characterization of polymer blends compatibility[D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2012.
- [12] 韩婧.表征聚合物共混状态的超声特征信号处理技术研究[D].太原:中北大学,2014.
Han Jing. Research on signal processing technology for represent polymer compounding state[D]. Taiyuan:North University of China, 2014.
- [13] 赵洋,王克俭.超声法表征高密度聚乙烯的PVT和熔融过程[J].高分子材料科学与工程,2012,28(11):121-124.
Zhao Yang, Wang Kejian. Ultrasonic characterizing of PVT and melting of high density polyethylene[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2012, 28(11):121-124.
- [14] 吕文丽,李再珂,王甲士,等.复合材料板弹簧用预浸料的固化工艺[J].武汉工程大学学报,2014,36(11):54-59.
Lyu Wenli, Li Zaike, Wang Jiashi, et al. Curing process of prepreg for composite leaf spring[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2014, 36(11):54-59.
- [15] 周洲,王明星,肖罗西,等.厚壁复合材料纵置板弹簧预浸料固化工艺及验证[J].塑料工业,2018,46(1):10-13.
Zhou Zhou, Wang Mingxing, Xiao Luoxi, et al. Curing process and verification of prepreg for composite longitudinal leaf spring with thick wall[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(1):10-13.

(上接第77页)

Zhao Hongbin, Chen Hongzhang, Liu Zhongshan. Development of single leaf spring for fiber composite[J]. Fiber Composite, 2000(3):29-31.

- [13] 王甲士,李再珂,吴辉,等.汽车复合材料板弹簧的有限元分析及性能测试[J].汽车技术,2012(4):55-57.
Wang Jiashi, Li Zaike, Wu Hui, et al. Finite element analysis and performance test of composite leaf spring for automobile[J]. Automobile Technology, 2012(4):55-57.
- [14] 吕文丽,李再珂,王甲士,等.复合材料板弹簧用预浸料的固化