

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.07.027

聚合物加工塑化程度表征技术研究进展*

杨茜, 贾明印, 薛平, 李晨昕

(北京化工大学机电工程学院, 北京 100029)

摘要: 聚合物加工过程中, 聚合物的塑化质量对于改变工艺参数、优化生产过程、减少原料浪费、提高产品质量有着非常重要的作用, 因此, 应当选择合适的检测技术描述和表征聚合物加工过程中的塑化质量。从离线检测技术和在线检测技术两个方面概述了近年来国内外学者对聚合物加工过程中聚合物塑化程度表征技术的研究进展, 指出了未来的发展趋势, 为后续实验研究提供了理论指导。

关键词: 塑化程度; 在线检测; 离线检测; 聚合物加工

中图分类号: TQ325 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)07-0134-05

Research Development on Characterizing Plasticizing Degree of Polymer Processing

Yang Qian, Jia Mingyin, Xue Ping, Li Chenxin

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

Abstract : It is very important to describe and characterize the plasticizing quality in polymer processing to change the process parameters, optimize the production process, reduce the waste of raw materials and improve the quality of products. Therefore, appropriate detection techniques should be selected to describe and characterize the plasticizing quality during polymer processing. The research development of characterizing plasticizing degree in polymer processing were summarized in two aspects of off-line detection technology and on-line detection technology and its future development trend was predicted, which provide theoretical guidance for the following experiments.

Keywords : plasticizing degree ; on-line detection ; off-line detection ; polymer processing

随着科技的不断发展, 高分子材料在人类生活中扮演着越来越重要的角色, 其制品几乎涉及到每一个领域, 如通讯、医学、航空航天、汽车、船舶、化工、建筑等, 甚至食品、军工等领域。高分子材料制品的质量除受加工制品所用聚合物原料的性能、组分以及加工工艺条件等因素的影响外, 聚合物原料在加工过程中的塑化质量也是至关重要的^[1]。聚合物在加工过程中的塑化质量, 是指聚合物经过特定设备(挤出机、注塑机、开炼机、密炼机等)的塑化系统的高热或剪切加工后, 在产品质量上的反映。它包括两方面内容, 即外在质量和内在质量。外在质量即在出料后就可以观察到, 包含出料状态、成型物表面情况, 即塑化效果。内在质量需要通过一系列检测手段测得, 包含试件的力学性能(如对试样进行拉伸、弯曲试验)以及成型物内部结构状况, 即塑化结果。聚合物塑化不良会造成熔料流动性差, 导致制品出现凹痕等缺陷^[2], 但是过度塑化还会造成物料热分解, 从而影响聚合物的加工性能以及制品的力学性能, 故适当的塑化度是保证产品质量的基本前提。

要满足人们对高分子材料制品质量不断提高的要求, 精确的过程控制就显得至关重要^[3], 而这些是以系统地研究评价聚合物加工过程中的塑化质量为基础的。近年来, 不少

国内外学者对评价塑化质量的方法进行了研究并取得了阶段性成果, 文章主要介绍了聚合物加工过程中利用离线检测和在线检测两类检测技术表征物料塑化效果的研究现状。

1 离线检测技术

离线检测技术是指人工从加工生产线上取样, 然后利用实验检测设备对获取的样品进行检测, 或实验人员根据经验判断, 从而获得所需实验数据的技术。其优点在于检测方法操作简单, 检测设备的成本较低, 可以消除加工生产中环境的影响对检测结果造成的误差。目前在聚合物材料加工过程中, 常用的离线检测技术主要有目测法、溶剂法^[4-5]、力学性能测试法、差示扫描量热(DSC)法、转矩流变仪法、扫描电镜法、X射线衍射仪法、成型制品重量重复性法^[6]、红外光谱法等。

1.1 目测法

目测法是指技术人员根据多年的经验, 直接观察聚合物的熔融状态或成型制品表面状况, 从而对聚合物的塑化质

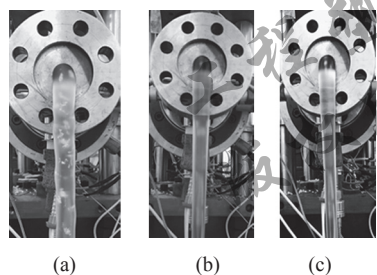
* 国家自然科学基金项目(21404007)

联系人: 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

收稿日期: 2017-05-03

量作出判断。由于目测法不需要专门的设备辅助测试,对使用场合没有要求,故该方法具有简单快捷的优点,但该方法只能对塑化质量做出定性判断,且需要技术人员具有一定的经验积累,因此该方法具有一定的局限性。

目测法可以有两种检测途径:一是对聚合物熔融物料的表观质量进行目测判断。若挤出物表面光滑,无鲨鱼皮现象,不夹杂生料,则视为塑化良好。如图 1a 所示,图中聚丙烯(PP)物料制品中夹杂生料,表面模糊,不光滑平整,因此可以判断聚合物塑化效果不好;图 1c 中 PP 物料制品通透有光泽,表面平整光滑,因此可以判断聚合物塑化效果良好;图 1b 中 PP 物料制品虽然表面平整光滑,不夹杂生料,但聚合物表面模糊没有光泽,通透性差,塑化程度介于两者之间。二是利用剖分式机筒,直观地观察机筒内物料的熔融塑化状态,若熔融物料均匀地包覆在螺槽表面,且表面光滑则视为塑化良好。贾明印等^[7]发明了一种沟槽机筒挤出机,采用剖分式机筒,可以通过对包覆在螺杆上的物料的状态进行分析得出该挤出机的塑化能力,如图 2 所示,在挤出稳定的情况下,急停螺杆,利用液压驱动装置快速打开上半机筒,观察螺杆螺槽和机筒沟槽内物料的熔融状态,进而判断加工过程中聚合物的塑化程度。



a—开始塑化;b—未完全塑化;c—完全塑化

图 1 PP 在不同塑化程度时的表观质量

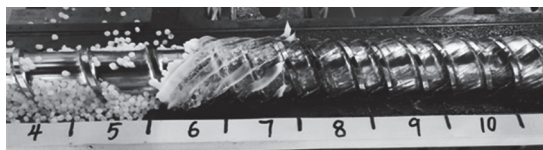


图 2 机筒沟槽和螺杆螺槽内物料塑化状态

1.2 力学性能测试法

力学性能测试法是指通过测试制品试样的力学性能来表征聚合物在加工过程中物料达到的塑化度。由于塑化的物料会在制品中形成了贯穿的网状结构,而这种结构的变化必然会引起力学性能的变化,进而影响制品的性能。只有当熔融物料达到一种均匀的状态时,制品才能呈现出良好的力学性能。因此,对试样进行力学性能测试和数据分析可以得到塑料制品的质量进而反映出聚合物加工过程中的塑化质量。马一青等^[8]对硬聚氯乙烯(PVC-U)制品的冲击强度进行了测试,从制品塑化度与冲击强度的关系曲线中得出塑化

度在 60%~65% 之间时制品的抗冲击能力最强。除此之外,董跃等^[4]在研究 PVC-U 异型材塑化度的评价方法时介绍了拉伸法定量表征塑化度的方法,即通过拉伸试验计算出标准试样的断裂伸长率,根据断裂伸长率判断制品的塑化度。

力学性能测试法可以直观、具体的反映出聚合物的塑化质量,但是需要制作大量的测试样条,使得研究过程变得繁复,造成浪费。

1.3 DSC 法

DSC 法即用曲线记录试样在一定的加热速率下吸收热量的过程,并对曲线进行分析的热分析技术,可以定量计算出试样的塑化度。伍巧晖等^[9]利用 DSC 技术测得了硬聚氯乙烯(PVC-R)树脂在热加工过程中的 DSC 曲线,分别得出样品在高温和低温下的焓变,用塑化过程吸收的热量占整个吸收热量的比例计算 PVC-R 树脂的塑化程度。赵波^[10]利用 DSC 法评价了 PVC-R 管材的塑化度,并研究了样品质量和升温速率对测试结果的影响,实验得出样品质量对塑化度的影响很小,可以忽略不计;而升温速率在 40℃/min 时,用 DSC 法测量塑化度出现了一定的偏差。除此之外,还进行了“小样本”的精密度试验,测得重复性标准差为 0.19%,再现性标准差为 0.20%,从而表明了该测试方法良好的重复性和再现性。贺盛喜等^[11]在利用转矩流变仪表征 PVC 材料的流变性能时,结合 DSC 法,测出了材料的凝胶化度,准确地反映了试验中的工艺状态,为改进配方,优化工艺提供了参考。

1.4 转矩流变仪法

转矩流变仪是一种高分子材料流变性能测试实验设备,可以测量聚合物材料在加工时由玻璃态逐渐变成高弹态、粘流态的流变特性,从而对材料的流变行为进行研究。转矩流变仪可以实现在接近真实加工的条件下工作,因而得到了广泛的应用。转矩流变仪法就是利用转矩流变仪的工作原理对聚合物加工过程中转矩流变曲线的特征参数进行分析,从而对塑化度进行表征。栾照辉等^[12]利用转矩流变仪绘制出了未塑化的 PVC(PVC-U)干混料塑化过程的转矩流变曲线,定义曲线上塑化峰转矩与平衡转矩之差为熔体塑化转矩差,熔体塑化转矩差越大,物料的塑化程度越高。陈继华等^[13]利用转矩流变仪研究了聚氯乙烯/邻苯二甲酸二烯丙酯(PVC/DAP)聚合物的加工性能,根据转矩-时间曲线上熔融塑化峰的位置确定塑化时间,从而能探明 DAP 对 PVC/DAP 塑化时间的影响。

1.5 扫描电镜法

物料的塑化过程从聚集态结构上可以看作是颗粒的破碎到初级粒子的破碎再到一级粒子的破碎,最后形成自由的大分子链的过程。因而,可以利用扫描电镜照片中断面的平

整度分析聚合物的塑化程度。左迎峰等^[14]利用扫描电镜法研究了玉米淀粉的塑化程度,分析样品断面的电镜测试结果得出:断面的平整度越好,塑化程度越高。王明军^[15]利用扫描电镜研究了高能火药经过剪切压延得到的塑化程度,结果表明,硝化棉的结构排列越整齐、条理越清晰,则火药的压延塑化效果越好,反之亦然。

1.6 X射线衍射仪法

X射线衍射法是利用X射线在分子材料中的衍射效应进行物质结构分析的技术。由于聚合物的结晶结构在塑化过程中会被破坏掉,当用具有足够能量的X射线照射特定的结晶结构时,对应结晶结构的特征峰会随着塑化过程的进行发生变化。通过测定衍射角位置(峰位)的变化可以实现对聚合物塑化过程的定性分析,通过测定谱线的积分强度(峰强度)可以实现对聚合物塑化过程的定量分析。2004年,Huang Mingfu等^[16]利用X射线衍射法分别对增塑淀粉材料和用蒙脱土增强的增塑淀粉复合材料的结晶度进行了研究,结果表明蒙脱土有效降低了增塑淀粉材料的结晶度。

1.7 红外光谱法

由于聚合物中原子是处于不断振动状态的,当用红外光照射聚合物时,不同的化学键或官能团会吸收与其分子振动、转动频率相一致的红外光,随着塑化过程的进行,聚合物分子间的化学键会遭到破坏,从而对应的吸收峰和振动峰会发生变化,通过对光谱分析可以对塑化程度进行评价。J. W. Park等^[17]分别测得了纯淀粉和凝胶化淀粉的红外光谱图,和纯淀粉相比,—OH的吸收峰峰宽和C—O的伸缩振动峰在凝胶化淀粉中都发生了向高波数方向移动的变化,通过分析比较红外光谱图中吸收峰和振动峰的变化过程对聚合物的塑化程度进行了判断。

虽然上述介绍的离线检测方法具有操作简单,成本低的优点,但是由于大部分检测方法需要人工从加工生产线上取样,然后在实验检测设备上对获取的样品进行检测,这样就会造成检测时间的延迟,使测量结果不具有时效性,无法对工艺条件的合理性做出及时的判断,从而对生产效率产生一定的影响。另外,人工取样无法保证取样的均匀性,无法隔离环境的影响都会使测量结果与真实结果产生偏差。

除此之外,目测法对工作人员自身的素质要求比较高,只有具有相当丰富的经验积累,才有可能做出迅速、准确的判断;X射线衍射方法、扫描电镜法、红外光谱法和DSC法只适合于中低塑化程度样品的表征^[18],这就限制了其工业化的应用;转矩流变仪法只有在样品黏度较高的情况下才能保持足够的灵敏性,而且转矩流变仪仅仅是模拟实际生产加工的过程,许多的工艺参数与实际生产加工过程还存在很大区别;溶剂法、力学性能测试法和成型制品重量重复性法需

要大量的样品,造成不可避免的浪费。这些原因都限制了离线检测法在实际生产中的应用,为了消除离线检测技术带来的时间滞后和对实际生产流程的影响,近年来,国内外学者对在线检测技术进行了大量的研究。

2 在线检测技术

在线检测法是在工程环境下对聚合物的性能进行检测,可以实现在加工中连续的检测和表征且不对生产过程产生影响,可以随时进行过程监控和质量检测,及时为改变工艺参数提供依据,从而减少原料的浪费,降低生产成本,提高产品质量,优化生产过程,提升企业的市场竞争力^[19]。目前,应用的在线表征方法有可视化技术、在线流变仪测试法、超声波检测技术、拉曼光谱法。

2.1 可视化技术

可视化技术就是指利用一台既可以正常完成生产过程,又可以从外部直接观察到机器内部的物理化学过程的设备用于科学研究。金志明等^[20]在机筒的不同位置开设视窗(如图3所示)用于注射成型塑化过程的研究,利用该设备可以清楚地看到整个熔融过程,包括固体床的形成和熔融、熔膜熔池的形成以及固体床和熔池的变化。利用采集到的数据对熔融过程进行物理和数学模型的建模,为优化注射成型的操作条件和注射螺杆的设计提供依据。C. Y. Wong等^[21]在研究螺杆转速和熔融温度对单螺杆挤出机混合质量的影响时,在可视化挤出机的窗口处连接金属管(如图4所示),将熔融聚合物引流到狭缝流动单元,从而取样用于性能的检测。杨磊等^[22]用石英玻璃代替传统的金属材料在模具上人为添加视窗,在照明装置的辅助下,利用高速摄像机拍摄熔体在模具中的塑化及填充过程,利用图片直观的描述聚合物模塑成型过程。

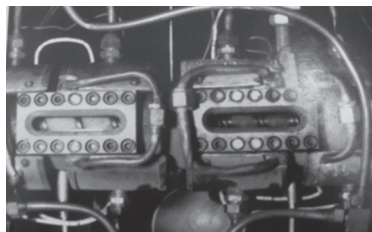


图3 机筒上开设有视窗的可视化实验装置

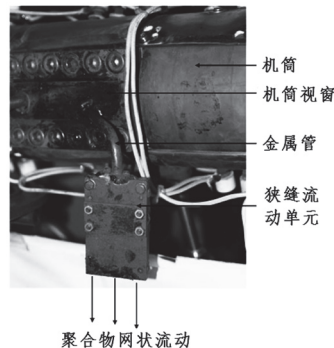


图4 连接在机筒视窗上的狭缝流动单元

2.2 在线流变仪测试法

上述应用转矩流变仪检测聚合物的塑化程度时,聚合物是在转矩流变仪中完成塑化过程的,虽然比较接近真实的加工情况,但是不同于加工过程的热历程、受力历程会造成结果误差。而在线流变仪则是把流变仪和加工设备结合起来,利用加工设备的塑化系统将聚合物熔融,进行实时测定,从而保证了测试条件的真实性和测试结果的准确性。秦晓梅^[23]把毛细管流变仪和注射机结合起来,该套装置的测试物料是由注射机直接供给,避免了离线检测过程中聚合物熔体的热历程和应力历程与实际装备中的不同所造成的误差,实现了物料在注射工况下的流变性能测试。J. A. Covas 等^[24]研制了一种新型在线毛细管模流变仪(见图5),该设备可安装在挤出机轴线方向任意位置进行取样,实现对挤出机内不同位置流变性能测量。S. Mould 等^[25]利用市面上已知黏度的硅油、低密度聚乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯分别进行了离线和在线测试,验证该设备的可靠性。孙雪丽^[26]研制了旁路式在线流变仪,将物料从挤出机旁路引出进行单独测试,测试完成后将物料返回到挤出机中,从而实现循环在线测试。

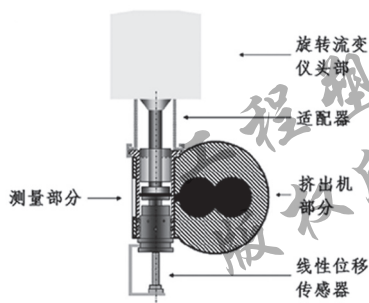


图5 在线旋转流变仪的结构

2.3 超声波检测技术

超声波检测技术是指对从聚合物中通过的超声波信号(主要包括声波速度、振幅和衰减系数)进行检测,根据声波的变化得到聚合物的物理化学性质^[27]。超声波分析技术已被证明能够在线准确地测量熔体黏度,填料含量和分子量^[28],并且由于其检测灵敏度高、检测信息丰富以及不会对被检测物产生明显扰动等优点而被广泛的应用在定量无损检测方面。目前应用的方法主要有脉冲反射法和穿透法。Wang Dongbiao 等^[29]利用超声波技术研究了聚合物在啮合反向旋转双螺杆挤出机中的熔融行为,根据波的衰减判断了熔融的程度以及熔体的均匀性。V. Putz 等^[30]自行设计了应用超声波长期在线检测聚合物熔体中速度分布的装置(如图6所示),该装置使用熔体泵把挤出机和具有矩形截面熔体通道的毛细管模头相连,模头中插有与超声波换能器直接相连的缓冲杆,作者应用该装置成功的测量了聚合物在挤出后的速度分布。

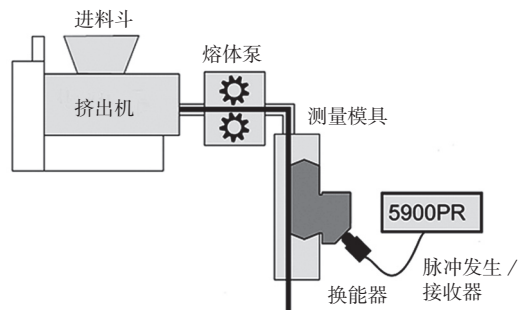


图6 超声波测速装置

2.4 拉曼光谱法

单色光照射到物质上时会发生散射作用,当散射光的频率与入射光的频率不同时,所发生的散射叫拉曼散射^[31]。利用拉曼光谱可以进行原位测量,且样品制作简单,操作简便^[32]。在聚合物的塑化过程中,结晶区的锯齿链构象或螺旋状链构象会逐渐遭到破坏,而链构象在拉曼光谱中会产生对应的拉曼峰,且其强度正比于构象单元的浓度,因此,拉曼光谱可以通过定量测量结晶区中聚合物链构象的拉曼峰强度来表征聚合物结晶度,从而反映聚合物制品的塑化程度^[33]。在应用拉曼光谱法测试时,一般把拉曼光谱探针设置在挤出机机筒端部的模头中^[34]。R. P. Paradkar 等^[35]测定了高密度聚乙烯熔融纺丝过程的消偏振拉曼光谱,根据特定样品测得的特征峰相对于结晶度为100%时所对应的特征峰的比值来表示样品在不同位置的结晶度。同样, S. S. Cherukupalli 等^[36]在研究 iPP 薄膜在吹塑方向上不同位置的结晶度时,也是根据特征峰的强度比值来表征结晶度大小。

3 结语

对聚合物加工过程中,利用离线检测和在线检测两种检测手段评判聚合物塑化质量的研究进展进行了详细的概述。总结全文研究成果可以发现,在线检测高分子材料的结构和加工性能在近年来研究热度与日俱增,流变学、超声学和光学等凭借其检测结果具有较高的准确性和可靠性逐步成为高分子材料加工过程中重要的检测手段,但大多数还只是在实验室范围内进行检测,在真正意义上实现工业化的比例不大,大多数只是进行了可行性的研究,检测变量和表征对象之间尚未建立确定的函数关系。要科学准确地用数学关系表征聚合物的塑化过程和塑化程度,还需要进行更加深入的研究和探索。随着检测技术和检测仪器的不断提高,以及数据处理方法等检测结果的科学优化,可以预计在未来几十年里,在线检测技术必然会向高速、高效和精密化的趋势发展,在聚合物加工及更多的领域应用并推广。

参考文献

- [1] 郭祯. 广东化工, 2015, 42(8):33-34.
Guo Zhen. Guangdong Chemical Industry, 2015, 42(8):33-34.
- [2] 鉴冉冉,等. 工程热物理学报, 2017, V38(2):281-288.

- Jian Ranran, et al. Journal of Engineering Thermophysics, 2017, V38(2):281-288.
- [3] Hopmann C, et al. Cirp Journal of Manufacturing Science & Technology, 2015, 9:51-56.
- [4] 董跃, 等. 聚氯乙烯, 2007(1):17-18.
Dong Yue, et al. Polyvinyl Chloride, 2007(1):17-18.
- [5] 孙书安, 等. 科技信息, 2010(13):76-76.
Sun Shu'an, et al. Science & Technology Information, 2010(13):76-76.
- [6] 徐碧云. 大型注塑机螺杆塑化质量研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2014:22-23.
Xu Biyun. The research on the plasticizing quality of large injection molding machine screw [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2014:22-23.
- [7] 贾明印, 等. 一种基于径向熔融的沟槽机筒挤出机: 中国, 103252885A [P]. 2013-08-21.
Jia Mingyin, et al. A grooved barrel single screw extruder based on radial melting theory: CN103252885A [P]. 2013-08-21.
- [8] 马一青, 等. 纺织器材, 2001, 28(5):271-272.
Ma Yiqing, et al. Textile Accessories, 2001, 28(5):271-272.
- [9] 伍巧晖, 等. 合成材料老化与应用, 2010, 39(4):7-9.
Wu Qiaohui, et al. Synthetic Materials Aging and Application, 2010, 39(4):7-9.
- [10] 赵波. 聚氯乙烯, 2016, 44(4):27-30.
Zhao Bo. Polyvinyl Chloride, 2016, 44(4):27-30.
- [11] 贺盛喜, 等. 中国氯碱, 2016(12):30-33.
He Shengxi, et al. China Chlor-Alkali, 2016(12):30-33.
- [12] 栾照辉, 等. 哈尔滨理工大学学报, 2007, 12(2):134-137.
Luan Zhaohui, et al. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2007, 12(2):134-137.
- [13] 陈继华, 等. 中国塑料, 2017, 31(3):15-18.
Chen Jihua, et al. China Plastics, 2017, 31(3):15-18.
- [14] 左迎峰, 等. 材料导报, 2013, 27(10):104-107.
Zuo Yingfeng, et al. Materials Review, 2013, 27(10):104-107.
- [15] 王明军. 高能火药剪切压延塑化及其塑化性能的研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2013:47-50.
Wang Mingjun. Study on shear-pressing plasticization of high-energy powder and its plasticizing properties [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2013:47-50.
- [16] Huang M F, et al. Polymer, 2004, 45(20):7 017-7 023.
- [17] Park J W, et al. Polymer Engineering & Science, 2000, 40(12):2 539-2 550.
- [18] 周江, 等. 塑料工业, 2006, 34(B05):234-237.
Zhou Jiang, et al. China Plastics Industry, 2006, 34(B05):234-237.
- [19] 赵丽娟, 等. 高分子通报, 2011(3):1-5.
Zhao Lijuan, et al. Chinese Polymer Bulletin, 2011(3):1-5.
- [20] 金志明, 等. 中国塑料, 2003, 17(4):86-90.
Jin Zhiming, et al. China Plastics, 2003, 17(4):86-90.
- [21] Wong C Y, et al. Journal of Polymer Research, 2008, 15(1):11-19.
- [22] 杨磊, 等. 精密成形工程, 2016(1):1-6.
Yang Lei, et al. Journal of Netshape Forming Engineering, 2016(1):1-6.
- [23] 秦晓梅. 在线注射流变测试装置的研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2007:31-42.
Qin Xiaomei. Study of on-line rheological measurement for injection molding [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2007:31-42.
- [24] Covas J A, et al. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 2008, 148(1-3):88-96.
- [25] Mould S, et al. Polymer Testing, 2011, 30(6):602-610.
- [26] 孙雪丽. 旁路式在线流变仪设计开发与性能优化 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015:11-23.
Sun Xueli. The design and performance optimization of bypass on-line rheometer [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015:11-23.
- [27] 赵丽娟, 等. 塑料工业, 2010, 38(9):45-48.
Zhao Lijuan, et al. China Plastics Industry, 2010, 38(9):45-48.
- [28] Seto D, et al. Developments in using ultrasound for QNDE of polymer melts [C] // Quantitative Nondestructive Evaluation. AIP Publishing, 2002:1 727-1 734.
- [29] Wang D, et al. Polymer Engineering & Science, 2005, 45(7):998-1 010.
- [30] Putz V, et al. In-line ultrasonic melt flow measurement of polypropylene with different fillers [C] // Euroensors. 2014.
- [31] 杨金梅, 等. 物理与工程, 2014, 24(4):26-29.
Yang Jinmei, et al. Physics and Engineering, 2014, 24(4):26-29.
- [32] 胡成龙, 等. 高分子通报, 2014(3):30-45.
Hu Chenglong, et al. Chinese Polymer Bulletin, 2014(3):30-45.
- [33] 晋刚, 等. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(7):2 124-2 127.
Jin Gang, et al. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016, 36(7):2 124-2 127.
- [34] Barnes S E, et al. Transactions of the Institute of Measurement & Control, 2007, 29(5):453-465.
- [35] Paradkar R P, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2003, 88(2):545-549.
- [36] Cherukupalli S S, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2005, 98(4):1 740-1 747.

北京建立石墨烯创新中心

不久前,中国航发航材院、中国航发集团公司和北京市政府共同出资 10 亿元,联合发起设立全国有控股公司——北京石墨烯技术研究院有限公司,积极创建石墨烯产业创新

中心。秉持着“全球第一的石墨烯复合技术研究及产业孵化中心”的建设目标,该公司立志通过 1 至 2 年的发展成为代表国家形象、有国际引领作用的新材料研发中心。

(慧聪塑料网)