

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.10.026

考虑冷却及剪切工况下的聚合物 PVT 特性研究历程及展望^{*}

李政,李月林,关昌峰,杨卫民,谢鹏程

(北京化工大学机电工程学院,北京 100029)

摘要:综述了聚合物 PVT 特性及其在注射成型加工领域的应用。介绍了 PVT 测量仪从传统型到改进型的发展历程,其中传统测试技术包括直接加压法和间接加压法,而改进型则考虑了成型过程中冷却和剪切工况的影响。此外,总结了国内外关于冷却速率和剪切对聚合物 PVT 特性影响规律的研究历程,并对今后的研究方向进行了展望。

关键词:注射成型;聚合物 PVT 特性;PVT 测量仪;冷却;剪切

中图分类号: TQ320.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)10-0128-05

Research Course and Prospects of Polymer PVT Property Considering Cooling and Shear Conditions

Li Zheng, Li Yuelin, Guan Changfeng, Yang Weimin, Xie Pengcheng

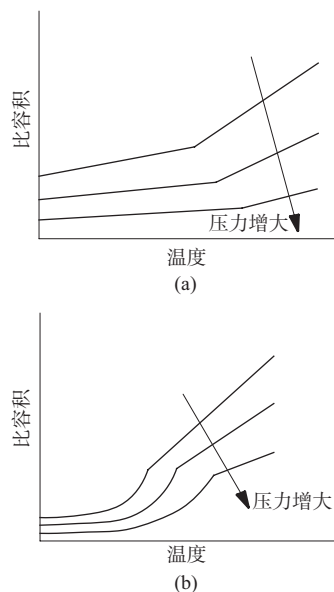
(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract : Research progresses in polymer PVT property and its application in injection molding were reviewed. The research course of polymer PVT test technique and device considering cooling and shear conditions were also mentioned. In addition, the research course in the influence of cooling and shear parameter on polymer PVT property was summarized. At the same time the research direction in the future was prospected.

Keywords : injection molding ; polymer PVT property ; PVT test technique ; cooling ; shear

聚合物 PVT 特性作为聚合物的基本物性参数,是指聚合物的比容积 (V) 与加工过程中熔体压力 (P) 和温度 (T) 之间的关系。无论聚合物的加工过程有多复杂,材料的比容积始终遵循与压力和温度的对应关系^[1]。在聚合物注射成型方面,PVT 特性关系经常表示为经典的 PVT 曲线图^[2](图1),从 PVT 曲线图中获得的材料体积膨胀系数^[3]和等温压缩系数是模具胀模量的判定依据,对模具型腔的尺寸设定具有重要意义;获得的不同温度下的密度、转变温度和聚合物状态方程,可在 CAE 软件中分析制品尺寸精度和使用性能,也可解释制品可能出现的缩痕、翘曲、气孔等缺陷,并获得注射成型的最优工艺参数^[4-6];此外,结合先进的测控技术,可以得到模腔内熔体压力、温度的实时参数,并以 PVT 特性为依据进行及时调整,实现对型腔内材料比容积的有效控制,进而得到精密制品^[7-9]。

作为聚合物加工中代表性成型方法之一,注射成型是将高温熔体注入到具有一定形状特征的模具型腔内,经冷却定型得到最终制品的成型方法^[10]。在成型过程中,聚合物材料会经历高剪切、高温梯度、压力骤变等一系列变化,造成聚合物在玻璃态转变、结晶、取向等微观层面的变化,宏观反映为材料的 PVT 热力学特性的改变^[11]。但是,传统静态、较低冷却速率条件下的测试方法与装置获得的聚合物 PVT 特性参数用于注射成型等实际加工过程时所得到的具体结果很



a—无定型;b—半结晶型

图1 聚合物 PVT 特性曲线示意图^[2]

大程度上偏离真实值。因此为得到实际加工成型过程中聚合物的 PVT 特性参数,就必须研发具有冷却、剪切功能的

^{*} 国家自然科学基金项目 (51203009)

联系人: 谢鹏程,教授,博士生导师,主要研究方向为高分子材料加工成型与先进制造

收稿日期: 2015-08-08

PVT 测量仪,同时研究冷却、剪切对聚合物 PVT 特性的影响规律,国内外学者对此已开展了一系列的深入研究。

1 聚合物 PVT 测试技术研究发展历程

PVT 测量仪的核心功能是测量并记录聚合物的比容随压力与温度变化而改变的实时数据,并通过专门的分析方法得到所测材料的 PVT 特性参数^[1]。PVT 测量仪通常由测量模块、温控系统、压力供给系统、数据测量与采集系统、数据分析软件等组成^[9]。

1.1 传统 PVT 测量仪

传统 PVT 测量仪根据其测量原理可分为柱塞-套筒测量方法和封闭液测量方法两大类^[12](图 2),从压力供给形式看,柱塞-套筒测量方法可称为直接加压法,封闭液测量方法可称为间接加压法^[13]。

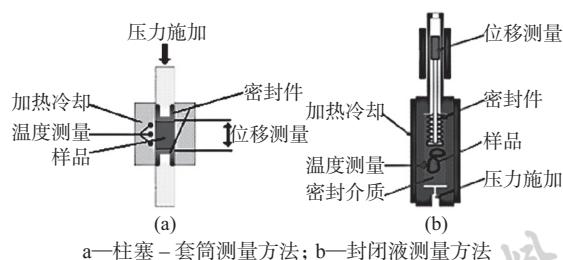


图 2 PVT 测量仪原理^[12]

德国 SWO 公司生产的 PVT-100 型测量仪为直接加压法的典型代表。测量过程中,样品与测量型腔直接接触,通过专门设计的密封件保证其可靠密封,密封件与测量模块自身的变形量可通过数据分析软件的程序进行自动校准,进而保证仪器的测量精度。一些流变仪,如 Rheograph75 型(德国 Goettfert 公司生产)和 Rosand RH10 型(英国 Malvern 公司生产)为适应科研需求加装了基于直接加压原理的 PVT 测量套件,但受流变仪基本测试原理的限制,测量模式仅有定温模式。

Y. Sato 等^[14]基于间接加压法研制出精度高达 $\pm 0.2\%$ 的 PVT 测量仪。由于仍采用封闭介质,温度上限仍为 350°C ,且温度测控精度在大于 300°C 时出现明显下降。美国 Gnomix 公司生产的 PVT 测量仪和英国 Rapra 公司生产的高压热膨胀计同样采用间接加压法。这些仪器以液体作为封闭介质,可保证测量单元良好的传热和密封性能。压力系统通过封闭介质对样品间接加压,使样品处于更加均匀的受力状态。但是,间接加压法无法解决样品温度分布不均的问题。

在实际成型过程中存在的高温高压、高流动剪切和快速非等温冷却等工况势必对聚合物 PVT 特性产生影响。上述传统 PVT 测试方法和装置均未考虑成型过程中冷却及剪切对于聚合物 PVT 特性的影响,所得聚合物 PVT 特性参数还难以准确地指导注射成型过程。为此,研究人员陆续开始

提出具有快速冷却和剪切功能的改进型 PVT 测量仪。

1.2 引进冷却与剪切作用功能的改进型 PVT 测量仪

(1) 具有快速冷却功能的 PVT 测量仪。

G. Menges 等^[15]最早指出聚合物比容的变化不仅与压力和温度有关,还取决于熔体冷却定型过程中的冷却速率。他们采用直接加压法设计出一套冷却速率和压力接近成型工况的测量仪器。该仪器的测量型腔为圆柱形,与测量型腔紧密接触的冷却盘套可实现快速冷却功能。通过改变其相对接触位置改变有效冷却作用面积,进而调节冷却速率。但受技术条件所限,测量结果并不准确。

随后 S. Piccarolo^[16], S. Imamura 等^[17]和 C. Brown 等^[18]先后将快速冷却功能引入其研制的测量仪器,其中 S. Piccarolo 运用一种从侧面测试样品温度的方法在快速冷却条件下对半结晶聚合物进行了测试研究。S. Imamura 和 C. Brown 分别将最大冷却速率提升至 $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 和 $250^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。S. Chakravorty^[19]将快速冷却功能引入 PVT-100 型测量仪,并进行了相关改进,测量压力上限达到 250 MPa ,最大冷却速率为 $300^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。张盛桂^[20]研制成功了压力达 100 MPa ,冷却速率达 $45^{\circ}\text{C}/\text{s}$,重复精度达 0.35% 的 PVT 测量仪,并为国内工程材料厂商提供 PVT 测试数据。P. Batpiste 等^[21]基于直接加压法研制了一台新的 PVT 测量仪,测量温度达到 400°C ,测量压力最大达到 200 MPa ,最大冷却速率达到 $200^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

(2) 具有剪切功能的 PVT 测量仪。

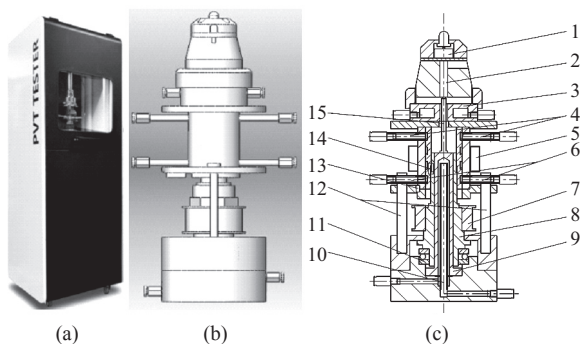
A. K. Fritzsche 等^[22]最早研发了一台带有剪切功能的热膨胀仪用以研究剪切速率及剪切作用时间对半结晶型聚合物结晶动力学特征的影响。仪器将传统热膨胀仪与 Couette 流变仪结合到一起,通过环形测试腔为引入剪切条件创造了条件。但该热膨胀仪没有引入压力和冷却速率测量功能,只能研究恒温下比容变化与剪切速率、剪切作用时间的关系。而且设备测得的结果与目前所确认的 PVT 曲线有较大偏差。

R. Pixa 等^[23]通过扭转的方式给膨胀仪增加了剪切功能,用来研究固态聚氯乙烯的体积变化。该仪器就结构而言更类似于万能试验机,测得的材料固态时的比容变化结果并不适用于实际成型。K. Watanabe 等^[24]结合直接加压法和板式流变仪原理对 PVT 测量仪进行改进,通过电机带动缓冲轴旋转对熔融态样品施加剪切。同上述测量仪器相比,该仪器具备对聚合物熔体施加剪切并测量 PVT 特性的能力,但该仪器的压力测量条件会影响缓冲轴的转动。引入剪切速率的相关实验的测量压力上限为 20 MPa ,测试过程中试样泄漏会对测量结果产生直接影响。

(3) 同时具有快速冷却、剪切功能的 PVT 测量仪。

M. H. E. Van der Beek 等^[25]参考 A. K. Fritzsche 的设计理念,以直接加压法为设计基础,开发出一台 PVT 测量仪。该仪器使用环形试样,在考虑剪切的同时引入快速冷却功能。仪器测量压力 10~100 MPa,测量温度 30~260℃,剪切速率 0~80 s⁻¹,冷却速率 0.1~80℃/s。聚合物在固态和熔融态下的比容测量精度分别为 0.1% 和 0.4%。使用该仪器虽可研究注射成型工艺条件对聚合物 PVT 特性影响,但其套筒只能在 ±270° 范围内旋转,所能施加的剪切效果十分有限。随后, J. Housmans 等^[26]及 R. Forstner 等^[27]分别对该仪器进行改进,将剪切速率提升至 200 s⁻¹,冷却速率提升至 100℃/s,并设计了专门的控制和数据处理软件。固态和熔融态下的比容测量精度也由此分别提升至 0.03% 和 0.3%。IME Technologies 也基于直接加压法对传统 PVT 测量仪进行了改进,开发了一台全新的同时具有冷却及剪切功能的 PVT 测量仪。仪器测量压力 0.1~120 MPa,剪切速率 1~180 s⁻¹,测量温度 20~300℃,冷却速率最高可达 90℃/s。

笔者所在科研团队在分析国外先进仪器特点的基础上,选择直接加压法作为设计原理,并采用环形测量型腔和试样,研制了一台同时具有快速冷却和剪切功能的 PVT 测量仪(图3)。主测试模块为柱塞套筒结构,共设有 4 套冷却水路可实现设备的快速冷却。该测试仪可以实现测量压力 1~100 MPa,测量温度 30~300℃;冷却速率为 25℃/s 可得到较准确结果;剪切功能可在试样熔融状态时施加,最大剪切速率可达 320 s⁻¹,剪切功能的压力测量上限为 20 MPa。经重复性实验验证,仪器的各种测量功能均具有很好的再现性,最大重复性误差为 0.81%。



1—压力传感器; 2—位移传感器; 3—隔热块; 4—螺旋冷却液出口;
5—陶瓷加热器; 6—螺旋冷却液介质; 7—同步齿形带轮;
8—旋转柱塞; 9—静止柱塞; 10—喷涌式冷却; 11—压力轴承;
12—防转螺柱; 13—安全销; 14—试样和密封; 15—顶杆
a—实物图; b—测试模块三维图; c—测试模块二维图

图3 具有冷却及剪切功能的 PVT 测量仪

2 冷却速率及剪切对聚合物 PVT 特性的影响

由于聚合物材料在实际成型过程中受到高剪切、高温梯度、压力骤变等一系列变化而导致其 PVT 特性发生变化。为此研究人员针对冷却速率以及剪切对聚合物 PVT 特

性的影响进行了深入的研究。

2.1 冷却速率对聚合物 PVT 特性的影响

G. Menges 等^[15]最早根据实验结果粗略描绘出冷却速率对聚合物 PVT 特性的影响趋势。R. Y. Chang 等^[28]以聚苯乙烯为材料,研究了冷却速率对无定型聚合物 PVT 特性的影响。结果表明,随冷却速率的增加,聚合物玻璃化转变温度有所升高,转变点以下比容变化速率略有降低。今村伸二^[29]和 J. F. Luyé 等^[30]通过不同方法修正试样温度梯度对结果的影响,结果表明提高冷却速率会使其玻璃化转变温度降低,转变过程对应温度范围增大,且样品最终比容明显增大。S. Chakravorty 等^[19]研究了不同冷却速率下聚丙烯的结晶性能,并得到了与上述现象一致的测量数据。但是上述研究均在较低冷却速率下进行,最高冷却速率仅为 2.5℃/s,与注射成型中的真实工况相差甚远。P. Batpiste 等^[21]利用自主研发的 PVT 测量仪研究了冷却速率对聚合物 PVT 特性的影响规律,得到了与上述现象一致并且更为准确的数据。H. Zuidema 等^[31]在对聚丙烯 PVT 特性的研究中,将测量过程中的最大冷却速率提升至 54.2℃/s,所得 PVT 曲线表现出与上述一致的变化趋势,但最大测量压力仅为 20 MPa,因而无法研究高压和高冷却速率耦合作用对比容变化规律的影响。

2.2 冷却速率与压力耦合对聚合物 PVT 特性的影响

V. Brucato 等^[32]和 V. L. Carrubba 等^[33]研究了冷却速率与压力耦合对聚合物 PVT 特性的影响,实验结果表明试样比容会随冷却速率的提高而增大,但高冷却速率下,试样的最终比容不受压力影响。M. H. E. Van der Beek 等^[34]在实验中将测量压力提升至 60 MPa,冷却速率提升至 32.5℃/s。实验结果表明,各压力下冷却速率的影响规律与上述结论相同;但是各冷却速率下试样的最终比容随压力增大而减小,且减小幅度随冷却速率的增加而明显增大,表明压力和冷却速率对聚合物 PVT 特性的影响同时存在但相互联系微弱。J. Housmans^[26]使用同类仪器进行实验,并得到相似结论。

M. Vanngelen 等^[35]测定了等规聚丙烯在 3 种冷却速率(0.1, 1.5, 90℃/s)和 4 种压力(30, 60, 90, 120 MPa)下的 PVT 特性数据,结果表明各冷却速率下压力对 PVT 特性曲线的影响规律一致。等规聚丙烯转变点温度随压力的增加而变大,但其比容值会减小,冷却速率对 PVT 特性的影响与压力的作用恰恰相反,随着冷却速率的增大低密度聚乙烯比容变化速率也变快,温度转变点值变得越小且转变过程对应温度范围增大。笔者所在科研团队采用等压模式测定了低密度聚乙烯在 3 种压力等级和 3 种冷却方式下的 PVT 特性数据^[36],并得到相似的结论。

2.3 剪切对聚合物 PVT 特性的影响

剪切速率对聚合物 PVT 特性影响的相关研究较少。A. K. Fritzsche 等^[22]研究了剪切速率对聚乙烯熔体比容的影响规律。实验在等温模式下进行,所用剪切速率为 140 s^{-1} ,结果表明剪速率会引发结晶,导致比容的快速转变,且增大剪切速率,使比容变化提早发生。但受技术条件限制,测量均在常压下进行。K. Watanabe 等^[24]在其实验中加入压力条件,研究剪切速率对等温等压下聚丙烯熔体比容变化规律的影响。结果表明剪切速率会促进熔体结晶过程,且影响程度随剪切速率和压力的增大而增强。但其所用最大剪切速率仅为 1 s^{-1} ,且等温等压的测量方法与注射工艺过程存在差距。

M. H. E. Van der Beek 等^[37]将测试模式改为非等速降温过程,并将剪切速率提升至 78 s^{-1} ,压力提升至 60 MPa 。结果表明,剪切速率使转变温度升高,PVT 曲线结晶段向高温区域偏移,且这一现象随压力增大而愈发明显。R. Forstner 等^[27]使用同一类仪器进行了类似研究,并得到相同结论。但其重点已转为研究不同分子量聚丙烯受剪切速率的影响程度,测量条件并未有更大提升和更多考虑。T. B. V. Erp 等^[38]测定了等规聚丙烯在 4 种剪切速率 ($10, 30, 100, 180\text{ s}^{-1}$) 和 4 种压力 ($10, 50, 90, 120\text{ MPa}$) 下的 PVT 特性数据。结果表明各压力下剪切速率对聚合物 PVT 特性曲线的影响规律基本一致。剪切速率的增大会促使等规聚丙烯转变点温度有所增大,比容的变化幅度有所减小,且影响效果随压力的增加愈发明显。

3 结语

综上所述,聚合物 PVT 特性数据在注射成型应用研究方面具有十分重要的作用,它为注射成型的模具设计、工艺优化与控制、制品精度分析提供必要参数依据。但是在实际注射成型中,聚合物熔体会经历高剪切、高温梯度等一系列复杂的变化,这些变化都会对聚合物 PVT 特性有所影响,因此研究冷却、剪切等工况对于聚合物 PVT 特性的影响规律显得尤为重要。但是近些年针对冷却、剪切等工况对聚合物 PVT 特性影响的研究甚少,究其原因主要有以下两方面:

(1) 仪器功能限制。虽然国内外学者对于冷却、剪切速率聚合物 PVT 特性影响规律进行了大量的研究,但是受仪器功能限制,实验中所施加的冷却速率和剪切速率与注射成型真实工艺条件仍有一定差距,所得聚合物 PVT 特性数据并不能非常准确地指导实际成型过程。因此如何提升仪器的测量功能,或研究新的测量技术来使得测量条件达到实际工况条件是今后一个重点研究的方向。

(2) 制品结构的差异性。在实际注射成型过程中,制品所受的冷却速率和剪切作用对应各个具体结构存在差异,这

种非均一性导致最终结论并不具有普适性。针对这个问题的主要解决方法是改进现有的聚合物状态方程,建立能够同时包含冷却速率和剪切速率影响参数的聚合物状态方程,尽量消除由于制品结构非均一性而对结果产生的影响。

参考文献

- [1] 顾建华,等.塑料,2014,43(3):107-110.
Gu Jianhua, et al. Plastic, 2014, 43(3):107-110.
- [2] 吴廷.基于熔体 PVT 关系的注塑制品质量控制方法的研究[D].北京:北京化工大学,2011.
Wu Ting. Study on quality control method based on melt PVT relationships[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2011.
- [3] 张勤星,等.高分子学报,2013,36(1):18-23.
Zhang Qinxing, et al. Acta Polymerica Sinica, 2013, 36(1):18-23.
- [4] 郭齐健,等.塑料科技,2004,4(3):21-22.
Guo Qijian, et al. Plastic Science and Technology 2004, 4(3):21-22.
- [5] 钱秋波,等.模具工业,2010,36(6):14-16.
Qian Qiubo, et al. Mould Industry 2010, 36(6):14-16.
- [6] 杨卫民.注射成型新技术[M].北京:化学工业出版社,2008:9-14.
Yang Weimin. New technology of injection molding[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2008:9-14.
- [7] Michaeli W, et al. Advances in Polymer Technology, 2009, 28(2):65-76.
- [8] Yang Yi, et al. Polymer Engineering & Science, 2006, 46(4):540-548.
- [9] 王建.基于注塑装备的聚合物 PVT 关系测控技术的研究[D].北京:北京化工大学,2010.
Wang Jian. Measurement and control of polymer PVT relationships based on injection molding equipment[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2011.
- [10] 董鹏伟.导光板注射压缩模具设计及注塑工艺研究[D].北京:北京化工大学,2012.
Dong Pengwei. Design of injection compression mould and the injection process for the light guide plate[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2012.
- [11] 谢鹏程.精密注射成型若干关键问题的研究[D].北京:北京化工大学,2007.
Xie Pengcheng. Study on some critical problems in precision injection molding[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2007.
- [12] Yao Gai. Development of a novel visualization and measurement apparatus for the PVT behaviours of polymer / gas solutions[D]. Toronto:University of Toronto, 2008.
- [13] 陈灿波.聚合物 PVT 关系测试技术及其应用研究[D].大连:大连理工大学,2012.
Chen Canbo. Test technology and application research on PVT relationship of polymers[D]. Dalian:Dalian University of

- Technology, 2012.
- [14] Sato Y, et al. Journal of Applied Polymer Science, 1997, 66(1): 141–150.
- [15] Menges G, et al. Polymer Engineering & Science, 1977, 17(10):758–763.
- [16] Piccarolo S. Macromolecular Science Physics, 1992, 31(4):501–511.
- [17] Imamura S, et al. Japanese Journal of Polymer Science and Technology, 1996, 53:693–699.
- [18] Brown C, et al. Pressure-volume-temperature behavior of polymers during rapid cooling[R]. Middlesex:National Measurement Institute, 1998.
- [19] Chakravorty S. Polymer Testing, 2002, 21(3):313–317.
- [20] 张盛桂. 基于 PVT 特性的精密注塑成型控制机理及设备的研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2013.
- Zhang Shenggui. Study on control mechanism and equipment of precision injection molding based on polymer PVT property[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2013.
- [21] Baptiste P, et al. Polymer Testing, 2015, 34:152–160.
- [22] Fritzsche A K, et al. Polymer Engineering & Science, 1974, 14(6):401–412.
- [23] Pixa R, et al. Colloid and Polymer Science, 1988, 266(10):913–920.
- [24] Watanabe K, et al. Polymer, 2003, 44(19):5 843–5 849.
- [25] Van der Beek M H E, et al. International Polymer Processing, 2005, 20(2):111–120.
- [26] Housmans J, et al. Macromolecular Materials and Engineering, 2009, 294(4):231–243.
- [27] Forstner R, et al. International Polymer Processing, 2009, 24(2): 114–121.
- [28] Chang R Y, et al. Polymer Engineering & Science, 1996, 36(13): 1 789–1 795.
- [29] 今村伸二, 等. 高分子论文集, 1996, 53(11):693–699.
- Mori, et al. Kobunshi Ronbunshu, 1996, 53(11):693–699.
- [30] Luyé J F, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2001, 79(2):302–311.
- [31] Zuidema H, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2001, 82(5):1 170–1 186.
- [32] Brucato V, et al. International Polymer Processing, 2000, 15(1):103–110.
- [33] Carrubba V L, et al. Journal of Polymer Science Part B:Polymer Physics, 2002, 40(1):153–175.
- [34] Van der Beek M H E, et al. Macromolecular Materials and Engineering, 2005, 290(5):443–455.
- [35] Vannigelen M, et al. Polymer, 2012, 53(21):4 758–4 769.
- [36] 张盛桂, 等. 中国塑料, 2013, 27(11):72–74.
- Zhang Shenggui, et al. China Plastic, 2013, 27(11):72–74.
- [37] Van der Beek M H E, et al. Macromolecules, 2006, 39(5):1 805–1 814.
- [38] Erp T B V, et al. Polymer, 2012, 53(25):5 896–5 908.

帝斯曼 Akulon® XS 助力聚酰胺吹膜工艺再取新突破

作为全球生命科学与材料科学领先企业,荷兰皇家帝斯曼集团宣布, Akulon® XS 正式投放中国市场,此新产品将推动聚酰胺 6 在使用吹膜工艺制作食品软包装领域取得更广阔的发展前景。帝斯曼集团于 2015 年 9 月 17 日在苏州举行新品发布会,正式推出改性聚酰胺 Akulon® XS 产品。据悉,该产品已于 2013 年德国杜塞尔多夫国际塑料及橡胶展首次问世。

得益于其改进的结晶性能, Akulon® XS 的加工窗口更宽,从而为多层共挤膜和单层膜结构提供了新的设计可能性。加工商发现,使用该种新型材料后,生产流程有了显著改进。嘉合实业(苏州)有限公司是中国较早采用该项技术的公司之一,“与帝斯曼的合作加深了我们对客户的理解,帮助我们开拓新的业务机会,”该公司的总经理高学文女士表示,“而新的业务机会保证了我们当下及未来几年业务增长水平。”

随着公众对减少食品浪费和延长产品货架期意识的增强,食品软包装专用阻隔膜的需求开始呈现持续上升的趋势。如今,多数阻隔膜产品都通过吹膜生产线进行共挤出生产,所以 7 层、9 层甚至 11 层膜结构都属于常见品级。这项性价比极高的先进技术有效地将阻隔性、适印性、密封性和耐冲击性等多种性能完美结合为一体。

聚酰胺 6 具有良好的阻隔性能,无疑是生产此类薄膜的理想原材料之一。然而,聚酰胺 6 的高结晶速度将会限制它的加工窗口。因此,加工商需要在生产效率方面做出让步,或者通过将聚酰胺 6 与价格更高的特种非晶态聚酰胺或聚酰胺共聚物混合使用来改善其加工性能。这样,这类薄膜高性价比的优势就会大打折扣。

帝斯曼研发的 Akulon XS 解决了这一问题。与传统聚酰胺 6 相比, Akulon XS 在膜泡中的结晶速度要慢得多,从而在加工条件方面为加工商提供了更大的操作空间。此外,其在膜泡中具有更好的拉伸性,因此吹胀比提高的同时膜泡更加稳定,形成褶皱的可能性降低,而不必通过与大量的聚酰胺共聚物或者非晶态聚酰胺混合使用,就能实现。

结晶速度减缓也意味着大部分结晶过程都是在较低温度下发生的——这是形成更多较小粒度晶体的一个必要条件,即降低雾度。通过在多层膜表面使用 Akulon XS,加工商不需要混合使用大量的非晶态聚酰胺就能使膜的雾度低于 15%。

相比于传统混合解决方案,新方案具备更好的热塑性,为缩减多层膜中的聚酰胺膜层厚度提供了更多可能性。

借助 Akulon XS,加工商们能够以更简便、更具性价比的途径生产食品软包装,充分发挥高性能聚酰胺 6 材料独特的阻隔与离线性能。

(工程塑料网)