

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.10.015

叶片塑化输运单元加工聚合物塑化性能研究^{*}

杜遥雪¹, 胡建朋¹, 冯彦洪²

(1. 五邑大学机电工程学院, 广东江门 529020; 2. 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: 阐述了聚合物叶片注塑成型机中叶片塑化输运单元的工作原理并进行三维建模, 应用流体动力学软件分析了该单元的塑化机理和拉伸流动特性。结果表明, 该单元在锥形流道腔室内形成较大区域的拉伸流场, 同时也有剪切流场和涡流的存在; 该单元入口处呈现较大负压力, 出口处呈现较大正压力, 具有良好的正位移输运能力; 叶片单元剪切流场区域所占流体区域的比例较小, 与螺杆元件一样存在较强的剪切流场; 叶片单元具有较强的拉伸作用, 而螺杆元件在产生拉伸流场方面远低于叶片单元。因此, 叶片塑化输运单元可以提高聚合物的塑化与分散混合性能, 经过叶片注塑成型机加工的制品性能要优于螺杆元件加工的制品。

关键词: 叶片塑化输运单元; 塑化性能; 速度场; 压力场; 剪切速率; 拉伸速率

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)10-0064-04

Study on Polymer's Plasticizing Property During Processing of Vane Plasticizing Transportation Unit

Du Yaoxue¹, Hu Jianpeng¹, Feng Yanhong²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuyi University, Jiangmen 529020, China; 2. National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Working principle and three-dimensional model of the vane plasticizing transportation unit for polymer vane injection molding machine were illustrated. Using fluid dynamic software, plasticizing mechanism and tensile flow characteristics of the unit were analyzed. The results show that taper channel of the unit can form tensile flow field in more region, at the same time existing shearing flow field and vortex flow. Larger negative pressure exists in the unit entrance, and larger positive pressure exists in the unit exit, which means the unit is of better positive displacement transportation ability. The fluid region occupied by shearing flow field in the vane unit is of small proportion, and the vane unit has stronger shearing flow field like screw element. The vane unit has stronger tensile action, while the screw element is far lower than the vane unit in aspect of producing tensile flow field. Therefore, the vane plasticizing transportation unit can improve polymer plasticizing and dispersive mixing properties, and the product processed by the vane injection molding machine is better than the product processed by screw element.

Keywords: vane plasticizing transportation unit; plasticizing properties; velocity field; pressure field; shearing rate; tensile rate

目前聚合物注塑成型加工装备主要是螺杆注塑成型机主导市场, 聚合物的熔融塑化主要依赖聚合物与金属料筒摩擦以及聚合物内摩擦的作用, 这种塑化方式受剪切流场的支配, 存在聚合物所经历的热机械历程较长、设备结构大、能耗较高、对物料依赖性强等缺陷。为此瞿金平等^[1-2]发明了聚合物叶片注塑成型机, 新装备将传统的螺杆元件用叶片塑化输运单元代替, 实现了聚合物加工过程中收敛流道的正位移输运, 在流道内以拉伸变形机理使聚合物塑化熔融, 与螺杆塑化相比具有塑化混合效率高、能耗低、体积小等优点。

为了揭示叶片塑化输运单元的聚合物熔体塑化机理和拉伸流动特性, 笔者应用聚合物流体动力

学软件 Polyflow, 对单元内聚合物流动状态进行三维等温模拟, 分析了单元内的速度场、压力场、剪切速率和拉伸速率及其变化规律, 并对比分析了叶片塑化输运单元与传统螺杆元件的塑化混合能力, 从而为此单元及其在叶片注塑成型机的应用提供理论指导。

1 单元工作原理

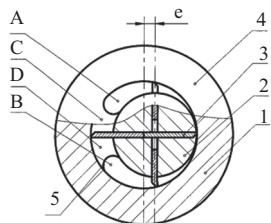
叶片塑化输运单元结构如图1所示, 主要由定子1和转子2及成对插在转子上的叶片3组成。转

^{*} 广东省自然科学基金资助项目 (S2011010000411)

联系人: 杜遥雪, 教授, 主要从事聚合物成型加工 CAD/CAE 研究

收稿日期: 2013-08-02

子2与定子1放置时存在一定的偏心距,且大小可以调节。4和5为挡料盘,安装在每个叶片塑化单元两侧,可以与转子和定子及叶片形成体积变化的腔室。在挡料盘4上有进料口A,挡料盘5上开口B为出料口。转子在图示位置以逆时针转动,此时叶片与转子的壁面、定子的内壁面以及两侧的挡料盘4、5形成密闭腔室C。当转子转动时腔室C的容积逐渐变大,从进料口A吸入聚合物,而腔室D的容积逐渐减小,从出料口B将聚合物熔体排出。这样在转子的转动过程中形成锥形流道的腔室,与拉伸流场原理相同,聚合物在周向正应力和料筒外加热作用下被塑化熔融,形成以拉伸作用为主的聚合物加工方法^[3-4]。



1—定子;2—转子;3—叶片;4,5—挡料盘;
A—进料口;B—出料口;C—密闭腔室;D—密闭腔室
图1 叶片塑化运输单元结构

2 单元转子模型及网格划分

叶片塑化运输单元的主要参数有定子内径、转子直径、定子与转子的偏心距、转子长度、叶片厚度,由此可建立其转子的结构模型如图2所示,并采用Gambit软件对转子和流体区域进行网格划分,其结果如图3所示。转子的入口和出口的位置比较特殊,前者为流道入口,后者为流道出口,固体转子和流体区域是耦合的,流体区域包围在转子外面,采用流固耦合的MST网格重叠技术,自动处理固体和流体的重合部分,这有利于流体区域的模型简化和对模拟结果进行统计分析^[5]。

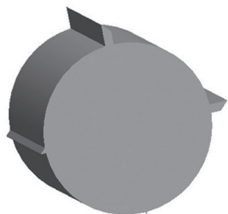


图2 单元转子结构

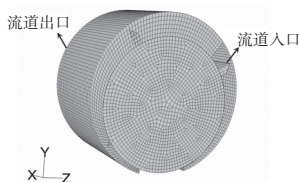


图3 流固耦合单元网格

3 本构方程及边界条件设置

采用Carreau模型,熔体表观黏度与剪切速率的关系为:

$$\eta = \eta_0(1 + \lambda^2 \dot{\gamma}^2)^{(n-1)/2} \quad (1)$$

式中: η_0 为零剪切黏度, λ 为Carreau模型参数, $\dot{\gamma}$ 为剪切速率, n 为非牛顿指数。

叶片塑化运输单元的边界条件主要针对图3中的流体区域,取入口处流量为 $4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$,外环和内环及端面分别取定子和转子及挡料盘的固体壁面条件,转子转速为 100 r/min 。

4 计算结果与分析

4.1 速度场

叶片塑化运输单元的整体速度矢量分布如图4所示。聚合物熔体从入口处流入流体区域,入口处两叶片形成的腔室容积随着叶片的转动而增大,形成低压室,所以入口的速度较大。熔体经历锥形流道的拉伸挤压作用,在出口处腔室容积变小,形成高压室,使熔体速度达到最大值而流出叶片单元,进入下一个叶片单元。

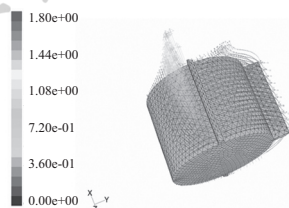
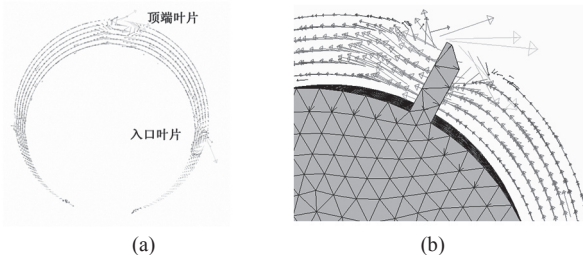


图4 整体速度矢量分布

在轴向距离 20 mm 处截取转子,对应该截面的流动区域速度矢量分布如图5所示。



a—整个流道截面; b—顶端叶片区域

图5 截面速度矢量分布

图5a为整个流道截面速度矢量分布图,图5b为顶端叶片的速度矢量分布图。由图5a可以看出,在顶端叶片(即叶片伸出最长时候)和入口叶片处,存在聚合物熔体的回流旋转,这种现象在叶片的整个轴向上都存在。由图5b可以清楚地看出顶端叶片及邻近区域的涡流现象,此现象产生的原因与涡流泵类似,主要是由于转速较快时,叶片与叶片之间的熔体速度大于叶片与壁面之间的熔体速度,叶片

与壁面之间的聚合物在惯性作用下发生回流,而这些熔体流回上一个封闭区间后会进入叶片转动方向的背面,在叶片背面负压的作用下发生涡流旋转,这些次级流动对聚合物的分散混合起到有利作用。

在轴向距离 20 mm 处截面的流动区域速度等值线云图如图 6 所示。图 6 中箭头一处为速度梯度方向,与熔体的运动方向一致,此处产生熔体的拉伸流动;而图中箭头二处速度梯度方向与熔体流动方向垂直,此处存在较强的剪切作用。其它区域也存在很明显的剪切流场和拉伸流场,但整体上看,此单元拉伸流场主要分布在定子与转子之间的中间区域,而靠近定子和转子的壁面处多为剪切流场作用。

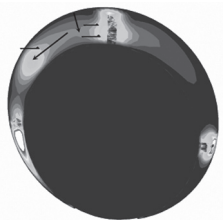


图 6 截面速度等值线云图

由速度矢量分布和等值线云图的结果,揭示了该单元流道内的拉伸流场和剪切流场,在锥形流道的腔室内形成了较大区域的拉伸流场,同时也有剪切流场和涡流的存在。

4.2 压力场

在转子轴向 5, 15, 25 mm 处截取三个截面,相应截面的流动区域压力等值线云图如图 7 所示。由图 7 可以看出,每两个相邻的叶片之间的区域压力处于一个数量级,但各个容积变化的区间内压力却有较大差距,图中入口处小间隙内呈现出较大的负压力,这样熔体就会在压力作用下进入叶片单元,而图中出口处小间隙呈现出较大的正压力,将熔体压出叶片单元,这种压力分布使得叶片塑化运输单元具有良好的正位移输运能力。

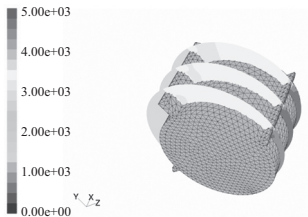


图 7 截面压力等值线云图

4.3 剪切速率

在聚合物的混炼过程中维持一定的剪切应力是必需的,它使颗粒团聚体发生碎裂,从而使聚合物颗粒分散得更均匀。在转子轴向 5, 15, 25 mm 处

截取三个截面,相应截面的流动区域剪切速率等值线云图如图 8 所示。由图 8 可知,流体区域中剪切流场主要出现在叶片的顶端和出口与入口的壁面,在转子与定子的间距较小的缝隙区域也会出现较强的剪切流场,从整体上看剪切流场区域所占流体区域的比例较小。

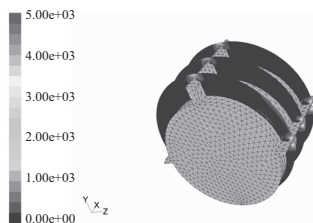


图 8 截面剪切速率等值线云图

5 叶片塑化运输单元与螺杆元件的对比

叶片塑化运输单元和螺杆元件的拉伸速率对比如图 9 所示。

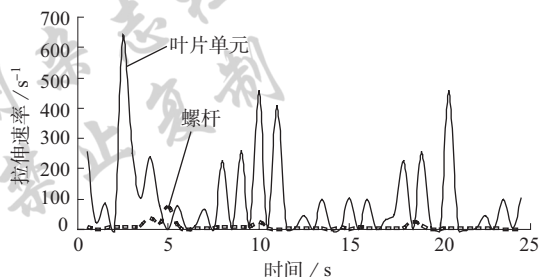


图 9 叶片单元和螺杆元件的拉伸速率

由图 9 可知,叶片单元粒子所经历的拉伸速率强度不仅峰值远大于螺杆元件粒子所经历的拉伸速率,而且叶片单元的粒子几乎在整个混合过程中所受到的拉伸应力都大于螺杆中的粒子。由此可见,叶片塑化运输单元产生拉伸应力的均值较大,具有较强的拉伸作用。在相同的形变速率下,拉伸流场提供给团聚颗粒的作用力是剪切流场的两倍,所以颗粒在叶片塑化运输单元会更容易分散混合,这使得叶片塑化运输单元的拉伸混合效率强于螺杆元件,有利于聚合物团聚体的破碎。显然,螺杆所能提供的拉伸作用是有限的,在产生拉伸流场方面远低于叶片塑化运输单元。叶片塑化运输单元可以大大提高聚合物的塑化混合性能,粒子在叶片单元作用下将会分散得更加均匀,而且经过叶片注塑成型机加工的制品性能要优于螺杆元件。

叶片塑化运输单元和螺杆元件的剪切速率对比如图 10 所示。由图 10 可知,叶片单元可以产生较大的剪切速率,但是粒子也会经历较小的剪切作用。剪切速率呈现波动变化的状态说明叶片与壁面

之间产生较大的剪切应力,所以叶片塑化运输单元存在较强的剪切作用。在螺杆元件里,粒子的剪切速率呈现平稳变化的状态,这符合螺杆的结构特点和塑化混合特性,说明螺杆元件也存在较强的剪切流场,印证了螺杆是依赖于剪切流场来塑化混合聚合物的。

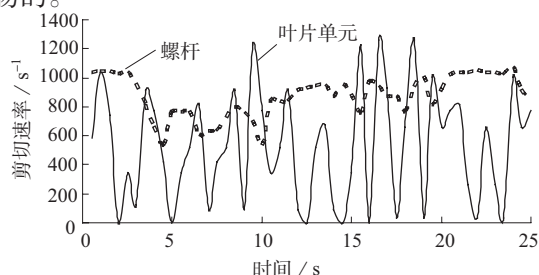


图 10 叶片单元和螺杆元件的剪切速率

6 结论

(1) 叶片塑化运输单元拉伸流场主要分布在定子与转子之间的中间区域,靠近定子和转子的壁面处多为剪切流场作用,在锥形流道的腔室内形成较大区域的拉伸流场,同时也有剪切流场和涡流的存在,对聚合物的分散混合起到有利作用。

(2) 叶片塑化运输单元入口处呈现较大的负压力,出口处呈现较大的正压力,有利于熔体的吸入和压出,使得单元具有良好的正位移运输能力。

(3) 叶片单元剪切流场区域所占流体区域的比例较小,可以产生较大的剪切速率,存在较强的剪切作用,而螺杆元件也存在较强的剪切流场。

(4) 叶片单元产生拉伸应力的均值较大,具有较

强的拉伸作用,而螺杆元件在产生拉伸流场方面远低于叶片单元,因此叶片塑化运输单元可以提高聚合物的塑化混合性能,经过叶片注塑成型机加工的制品性能优于螺杆元件加工的制品。

参考文献

- [1] 瞿金平. 基于拉伸流变的高分子材料塑化运输方法及设备: 中国, ZL200810026054.X[P], 2009-06-10.
Qu Jinping. Polymer plasticizing transportation method and device based on tensile rheology: CN ZL200810026054.X[P], 2009-06-10.
- [2] 杨智韬. 聚合物叶片挤出机熔体正位移输送和混合特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2009.
Yang Zhitao. Study on melt positive displacement conveying and mixing characteristics of polymer vane extruder[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2009.
- [3] 曾武. 叶片注射机成型 PP/ 硅灰石填充体系的性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2009.
Zeng Wu. Study on properties of PP/ wollastonite blend by vane injection molding machine[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2009.
- [4] 瞿金平, 冯彦洪, 殷小春. 一种叶片挤出机: 中国, ZL201120046887.X[P], 2011-11-23.
Qu Jinping, Feng Yanhong, Yin Xiaochun. A vane extruder, CN ZL201120046887.X[P], 2011-11-23.
- [5] 柳天磊, 王建鸿, 杜遥雪. 注塑机螺杆混炼元件混炼性能对比研究[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(4): 51-54.
Liu Tianlei, Wang Jianhong, Du Yaoxue. Comparative study on plasticizing properties of screw mixing units for injection machine[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(4): 51-54.

日本化纤协会上田英志呼吁发展高性能纤维要加强合作

当前以及未来短期内,全球化纤都将处于供大于求的局面。在这种情况下,我国作为化纤产量第一大国,应在产业升级中担负更多的责任并发挥更大的作用。化纤行业应该培育新的市场来应对人们在社会、安全、环境方面的需求。发展高性能纤维,各国和地区应该继续努力加强合作和信息共享。制定高性能纤维的标准化体系是当务之急。

2012年,全球主要纤维产品总产量达7900万t,比上年增长了3.1%。其中棉产量为2300万t,下降了2%,化学纤维产量为5410万t,提升了6%。尽管在某些年份出现了起伏,但是化纤行业在全球还是处于增长阶段。到2016年,全球纤维的需求量有望达到8900万t,其中对于合成纤维的需求有望达到5790万t,年增长率为5.0%;对于棉产品的需求,有望达到2550万t,年增长率下降1.2%。到2016年,合成纤维的产能将会继续提升,从2011年的5800万t提升到2016年的7800万t,年增长率大约为6.3%。如果从纤维产品的种类来看,腈纶短纤和尼龙长丝的产量可能会保持不

变,而涤纶短纤的产能有望从1800万t提升到2300万t,涤纶长丝的产能有望从3200万t提升到4500万t。预估涤纶纤维的生产设备将会进一步增长。

亚洲的纤维工业产业结构会发生变化,可能会对化纤工业的发展提供机遇。我们需要进一步开发亚洲市场,找到新的需求点:一是亚洲地区化纤产品对于精细化的要求会有所增长;二是为解决全球环保问题,可能会使先进纤维、高端纤维的需求进一步增长。以日本的经验来说,当日本的人均国民生产总值突破1000美元,对服装的价值需求会显著提升;突破3000美元,日本对于高端服装产品的消费将会被进一步加强,一旦经济水平发展到一定规模,包括中国在内,市场会转向附加值高的产品,化纤产品的应用类目标市场将会进一步地拓展,包括交通、信息、环境等领域。(中国聚合物网)

重庆成立国家级塑料研究机构

不久前,国家复合改性聚合物材料工程技术研究中心重庆市分中心挂牌,接下来将在渝研发专门用于汽车的隔热降噪材料等产品。这是全市塑料制品行业第一个国家级研究机构。(工程塑料网)