

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.01.013

机筒槽深和机筒与螺棱间隙对力化学反应器的影响^{*}

李彦周^{1,2}, 张鹏^{1,2}, 张帅³, 杨帆^{1,2}, 吴飞^{1,2}, 陈占春^{1,2}

(1. 太原理工大学机械工程学院, 太原 030024; 2. 太原理工大学煤矿综采装备山西省重点实验室, 太原 030024;

3. 华中科技大学机械科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 从对力化学反应器挤出成型和剪切效果有重要影响的机筒螺槽深度(简称槽深)和机筒与螺棱间隙着手, 分别通过改变机筒槽深和机筒与螺棱间隙, 采用 Polyflow 软件对聚乙烯熔体在等温状态下的挤出过程进行数值模拟。对表征力化学反应器剪切效果的参数指标, 如最大剪切速率、最大剪切应力和最大混合指数作相应的比较分析。研究表明, 机筒未开槽(槽深 0 mm)或槽深过大(2 mm)均降低了力化学反应器对物料的剪切和混合作用, 而槽深为 1 mm 时, 获得的最大剪切速率、最大剪切应力值和最大混合指数最大; 随着机筒与螺棱间隙从 0.5 mm 依次增加到 1 mm 和 2 mm, 力化学反应器对物料的剪切及混合能力依次减弱, 当机筒槽深为 1 mm, 且机筒和螺棱的间隙尺寸为 0.5 mm 时力化学反应器对物料的剪切和混合效果最好。

关键词: 机筒; 螺棱; 最大剪切速率; 最大剪切应力; 最大混合指数; 力化学反应器

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)01-0065-05

Influence of Cylinder Groove Depth and Gaps between Cylinder and Screw on Force Chemical Reactor

Li Yanzhou^{1,2}, Zhang Peng^{1,2}, Zhang Shuai³, Yang Fan^{1,2}, Wu Fei^{1,2}, Chen Zhanchun^{1,2}

(1. School of Machinery Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2. Shanxi Key Laboratory of Fully Mechanized Coal Mining Equipment, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 3. School of Mechanical Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: From the following aspects that the cylinder groove depth and the gaps between cylinder and screw aris have great effects on the extruding performance and shearing action of force chemical reactor, by changing the cylinder groove depth and the gaps between cylinder and screw aris respectively, the extruding process of polyethylene melt in isothermal flow fields was simulated with Ployflow software. To represent the shear effect of the force chemical reactor, contrastive analysis for some parameters, such as maximum shear rate, maximum shear stress and maximum mixing index, were carried out. The results show that, the shearing and mixing actions for material of the force chemical reactor are reduced when cylinder is machined with groove depth of 0 mm and 2 mm, respectively. When groove depth is 1 mm, the maximum shear rate, maximum shear stress and maximum mixing index are the largest. With the increase of the gaps between cylinder and screw aris (increasing from 0.5 mm to 1 mm and 2 mm in turn), the shear and mixing ability are gradually weakened for the force chemical reactor. When cylinder is machined with groove depth of 1 mm and the gaps between cylinder and screw aris is 0.5 mm, the shear and mixing effect of particles in flow channel is the best.

Keywords: cylinder; screw aris; maximum shear rate; maximum shear stress; maximum mixing index; force chemical reactor

聚合物材料在现代工业生产中的使用越来越广泛, 为了获得性能优异的新型材料, 常常需要将聚合物材料进行断链和接枝改性。断链和接枝改性中最常用的方法是力化学反应接枝法, 其原理是利用机械能来诱发聚合物的接枝反应。

陈占春等^[1]将磨盘力化学反应器^[2]和串联式磨盘螺杆挤出机^[3]的“磨盘”设计思想引入到挤出系统的螺杆和料筒上, 从而设计出一种具有强剪切效果的力化学反应挤出装置。通过把该装置安装在

单螺杆挤出机的机头部分, 普通挤出机挤出的聚合物熔体经过该装置后受到强剪切力的作用, 从而达到断链、接枝改性的目的。李峰等和张帅等^[4-5]通过对等温流场下螺旋升角不同和螺棱与机筒横截面组合为不同形状的单螺杆挤出机的挤出过程作计算

^{*} 国家青年科学基金项目(51303123), 太原理工大学青年基金项目(2012L065)

联系人: 陈占春, 讲师, 主要从事高聚物加工及形态结构的研究

收稿日期: 2016-10-21

机仿真,得到增大螺旋升角以及螺棱与机筒螺槽横截面形状均为梯形形状时可以提升对物料的剪切速率。

目前尚未见关于机筒螺槽深度(简称槽深)和机筒与螺棱之间的间隙对力化学反应器挤出效果的影响研究,笔者从对熔融挤出材料成型有重要影响的机筒槽深和机筒与螺棱间隙考虑,采用 Polyflow 软件,以聚乙烯(PE)为挤出物料,对不同的槽深和间隙组合进行模拟,对比其最大剪切速率、最大剪切应力和最大混合指数,进而得出适合用于单螺杆强剪切力化学反应器的机筒槽深和机筒与螺棱的间隙数据,为该设备的设计与制造提供参考。

1 数学和物理模型

1.1 数学模型

物料在流道内的流动过程非常复杂,为减少计算量,需对数学模型进行简化分析,并做如下假设:

(1) 流场为等温流场,机筒内壁和螺杆表面无滑移;

(2) 熔体为符合 Bird-Carreau 模型方程的非牛顿黏性不能压缩流体,重力值、惯性力值可以不予考虑(远小于黏滞力的值);

(3) 流体在分析区域内为充满状态,并进行层流流动。

Bird-Carreau 模型本构方程如下所示。

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

式中: η ——表观黏度;

η_{∞} ——无穷大的剪切速率情况下的黏度值,通常取 0;

η_0 ——零剪切黏度;

γ ——无限大剪切速率;

λ ——松弛时间;

n ——非牛顿指数。

1.2 物理模型

图 1 所示是螺杆、流道与机筒的构型。图中螺杆和机筒的长度都是 300 mm,螺杆外径和螺棱高度分别是 120 mm 和 6 mm,螺棱顶部和机筒螺槽顶部的间隙是 2 mm。

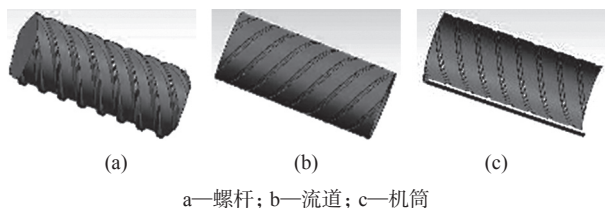


图 1 螺杆、流道与机筒的几何结构模型

1.3 设定模拟参数

采用 Polyflow 软件对 PE 在相同螺杆和不相等槽深机筒的组合流场中的挤出过程进行数值模拟,得出其剪切速率和速度场的改变过程。考虑计算的方便性,设置熔体为广义的牛顿等温流体,使用的插值方法为 mini-element,压力采用线性插值,黏度迭代采用 Picard 插值。螺杆转速 100 r/min,入口压力 0 MPa,出口压力 0.1 MPa。

2 机筒槽深的影响

2.1 组合方案

大量学者研究发现机筒加料段开槽可明显提高单螺杆挤出机的产量,机筒内部表面的形状对挤出过程影响很大,机筒内部是螺旋形状沟槽构型的单螺杆机筒挤出机,其共混物料的能力有所增加,开有左旋螺槽的机筒结构可增强挤出机对物料的挤出输送能力和共混性能,在机筒与螺棱之间的间隙尺寸不改变的情况下,机筒槽深较大更有利于单螺杆机筒挤出机共混能力的提升^[6-13]。因此将螺杆和机筒头数设计成 5 头,螺棱升角为 30°,螺杆螺棱旋向为右旋,机筒螺槽为左旋,机筒与螺棱间隙为 2 mm,以机筒螺槽深度为变量对不同槽深的流道进行数值分析,使螺槽深度分别为 0, 1, 2 mm,机筒螺槽横截面与螺棱横截面都是梯形,其示意图如图 2 所示。

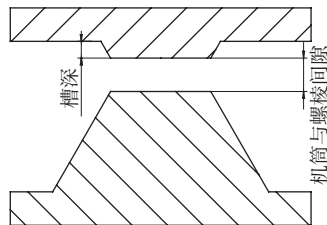


图 2 机筒与螺棱横截面形状组合示意图

2.2 网格划分

螺杆和流道的有限元模型在 Gambit 里生成, Polyflow 采用网格重叠技术 (MST) 进行瞬态任务的计算,这就必须分别对螺杆和流道划分网格,然后对网格进行叠加。在重叠区域, Polyflow 采用网格重叠技术 (MST) 能够对网格进行重新划分和计算。如图 3 所示,分别为螺杆和流道的有限元模型。



图 3 螺杆与流道有限元模型

2.3 模拟结果分析

在得到模拟结果后,对该结果进行混合任务处理,在入口处放置 1000 个粒子,流道出口做切片,计算粒子从进口到出口的过程中所经历的最大剪切速率概率函数、最大混合指数概率函数和最大剪切应力概率函数等。主要通过评估剪切应力、混合指数和剪切速率等来衡量力化学反应器的混炼效果。剪切速率越大,物料在流道中受到的剪切次数越多,越有利于力化学反应器对物料的剪切作用;剪切应力越大,说明力化学反应器对物料的剪切效果越好;最大混合指数的概率是时间的方程,伴随着时间的递增,更大比例的粒子数达到最大混合指数,表明随着共混的进行,经过强剪切作用的流场粒子将变得更多^[14]。

示踪粒子在流体域中,从进入到流出,其剪切速率在每一个位置是持续改变的。对某个单一的粒子来说,在整个流入和流出过程中,它会获得一个最大的剪切速率,而对全部的粒子来说,在整个流入和流出过程中,最大剪切速率是不等的。给定一个剪切速率值,将小于或等于这个剪切速率的粒子占整个粒子数量的百分数^[15]定义为粒子百分数。当给定相同的粒子百分数时,3 种不同槽深结构对应的剪切速率值将有一个最大值,该值越大,则力化学反应器就能够达到更好的剪切效果。采用相同的方法评价最大剪切应力和最大混合指数。

图 4 示出示踪粒子在不同机筒槽深结构流道中的最大剪切速率分布曲线。从最大剪切速率来看,在相同粒子百分数情况下,1 mm 槽深结构所提供的最大剪切速率值最大,0 mm 的槽深结构次之,而槽深结构为 2 mm 的则最小。

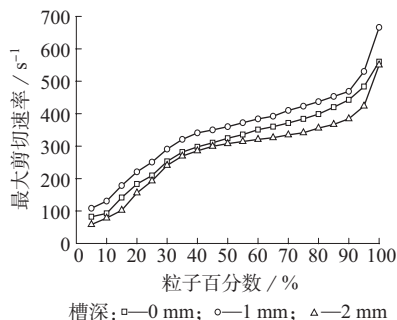


图 4 不同槽深对应的最大剪切速率分布曲线

图 5 示出示踪粒子在不同机筒槽深结构流道中的最大剪切应力分布曲线。由图 5 可以看出,在较宽的粒子百分数范围内,各曲线的变化较为平缓,这说明粒子所经受的最大剪切应力已经达到了流道中

螺棱结构所能供给的最大值。当最大剪切应力不大于 0.125 MPa 时,各槽深结构供给的最大剪切应力值变化很小。当最大剪切应力值大于 0.125 MPa 时,1 mm 槽深结构所提供的剪切应力值最大,其次是 0 mm 槽深结构,而 2 mm 槽深结构最小,但两者的差距很小。

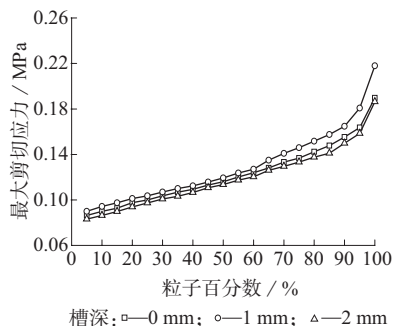


图 5 不同槽深对应的最大剪切应力分布曲线

不同机筒槽深结构流道内粒子的运动轨迹用粒子示踪法进行数值仿真,对流道内的最大混合指数进行统计和计算,定量分析 3 种机筒槽深结构的动态混合能力,研究这 3 种结构的混合性能,结果如图 6 所示。从图 6 分析得出,当最大混合指数为 0.7 时,槽深为 0,1,2 mm 的机筒流道内的粒子百分数分别为 75%,34% 和 55%,即槽深结构为 0,1,2 mm 的机筒流道内分别有 25%,66% 和 45% 的粒子最大混合指数大于 0.7,说明槽深结构为 1 mm 时,获得最大拉伸作用,机筒内不开槽受拉伸作用最小。所以,当采用混合指数考察 3 种槽深结构的共混能力时,槽深为 1 mm 的机筒的混合能力最强。

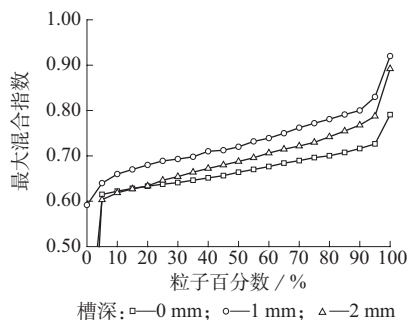


图 6 不同槽深对应的最大混合指数分布曲线

由以上分析可以看出,若要使力化学反应器对熔融物料的剪切作用最好,机筒槽深的数值不宜过大,以 1 mm 较为合适。

3 机筒与螺棱间隙的影响

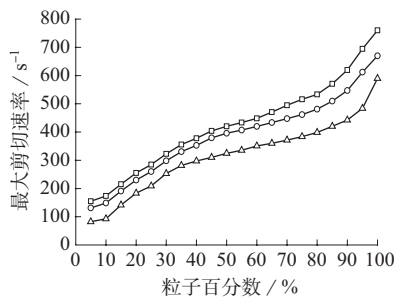
3.1 组合方案

为了研究机筒与螺棱间隙尺寸对力化学反应器剪切物料的效果,分别取间隙的大小为 0.5,1,

2 mm,其位置如图2所示。采用2.3的评价方法,当机筒与螺棱间隙大小改变时,通过比较最大剪切速率、最大剪切应力和最大混合指数来研究间隙大小变化对剪切效果的影响。

3.2 模拟结果分析

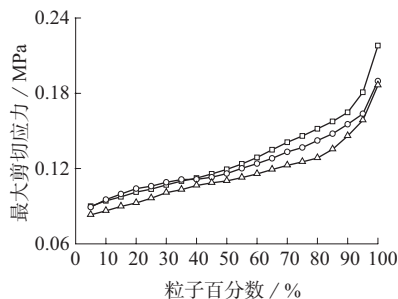
图7为示踪粒子在不同机筒与螺棱间隙中的最大剪切速率分布曲线。由图7可以看出,在相同的粒子百分数下,随着机筒与螺棱间隙尺寸的增加,剪切速率值逐渐降低。间隙尺寸为0.5 mm时,获得的剪切速率最大,即力化学反应器对物料的剪切作用更好。



机筒与螺棱间隙:□—0.5 mm; ○—1 mm; △—2 mm

图7 不同机筒与螺棱间隙对应的最大剪切速率分布曲线

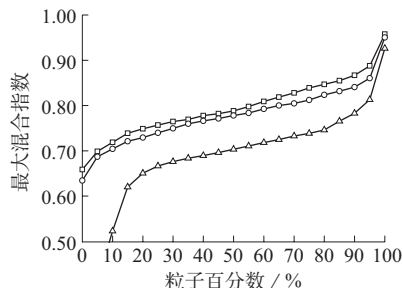
图8为示踪粒子在不同机筒与螺棱间隙中的最大剪切应力曲线。由图8可知,当最大剪切应力不大于0.15 MPa时,各间隙对应的最大剪切应力变化相差较小。当最大剪切应力大于0.15 MPa时,在粒子百分数相同的情况下,机筒与螺棱间隙尺寸为0.5 mm时,得到的最大剪切应力值最大。这和剪切速率的整体规律保持一致。



机筒与螺棱间隙:□—0.5 mm; ○—1 mm; △—2 mm

图8 不同机筒与螺棱间隙对应的最大剪切应力分布曲线

图9为示踪粒子在不同机筒与螺棱间隙中的最大混合指数曲线。由图9可以看出,在相同粒子百分数的情况下,随着间隙尺寸的增加,最大混合指数逐渐降低,尤其当间隙为2 mm时,最大混合指数的降低幅度更大。这表明,间隙尺寸越大,力化学反应器的混合性能越差,从而越不利于力化学反应器对物料的剪切作用。



机筒与螺棱间隙:□—0.5 mm; ○—1 mm; △—2 mm

图9 不同机筒与螺棱间隙对应的最大混合指数分布曲线

4 结论

(1) 通过对机筒不同槽深的分析,发现机筒槽深不宜过大,当机筒不开槽或机筒槽深达到2 mm时,力化学反应器的最大剪切速率、最大剪切应力和最大混合指数均降低,当机筒上的槽深为1 mm时,最有利于强剪切力化学反应器对物料的剪切作用。

(2) 随着机筒和螺棱间隙的增加,力化学反应器的最大剪切应力、最大混合指数和最大剪切速率均逐渐降低,当间隙尺寸为0.5 mm时,力化学反应器对物料的剪切作用达到最好。

(3) 模拟结果对力化学反应器样机的设计制造、结构优化以及理论分析有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 陈占春,李峰,樊耀耀,等.一种强剪切力化学反应器:CN103566862A[P].2014-02-12.
Chen zhanchun, Li Feng, Fan Yaoyao, et al. The force chemical reactor:CN103566862A[P].2014-02-12.
- [2] 王琪,徐僖.磨盘形力化学反应器极其在高分子材料制备中的应用[J].高等学校化学学报,1997,18(7):1 197-1 201.
Wang Qi, Xu Xi. A pan-milling type of equipment and its application in developing polymer materials[J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 1997, 18(7):1 197-1 201.
- [3] 李翱,江波,许澍华.串联式磨盘螺杆挤出机设计原理[J].塑料,2004,33(2):83-86.
Li Ao, Jiang Bo, Xu Shuhua. Design principles of series disc-screw extruder[J].Plastics,2004,33(2):83-86.
- [4] 李峰,樊耀耀,王宁,等.螺杆几何参数对强剪切应力挤出机流场的影响[J].工程塑料应用,2013,41(12):70-74.
Li Feng, Fan Yaoyao, Wang Ning, et al. Effects of screw geometric paramters on flow fields of strong shear stress extruder[J]. Engineering Plastics Application,2013,41(12):70-74.
- [5] 张帅,李峰,王宁,等.螺杆与机筒不同断面形状组合对挤出机流场的影响[J].工程塑料应用,2014,42(10):72-75.
Zhang Shuai, Li Feng, Wang Ning, et al. Influence of screw and channel sectional shapes on extruder flow field[J]. Engineering Plastics Application,2014,42(10):72-75.

- [6] 张惠敏,周桂莲. 可提高挤出产量的沟槽加料段[J]. 上海塑料, 2004,6(2):28-31.
Zhang Huimin, Zhou Guilian. Grooved feed sections for increasing of extrusion productivity[J]. Shanghai Plastics, 2004, 6(2):28-31.
- [7] 潘龙,张玉霞,金志明,等. 单螺杆挤出机高速挤出技术研究进展[J]. 中国塑料, 2009, 23(8):1-6.
Pan Long, Zhang Yuxia, Jin Zhiming, et al. Technological progress in high speed extrusion of single-screw extruders[J]. China Plastics, 2009, 23(8):1-6.
- [8] 贾明印,薛平,金晓明,等. 开槽机筒单螺杆挤出机的对比研究[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(10):50-53.
Jia Mingyin, Xue Ping, Jin Xiaoming, et al. Comparative research on grooved barrel single screw extruders[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(10):50-53.
- [9] 卢和亮. 挤出机螺旋槽加料段固体输送特性研究[D]. 广州:华南理工大学, 2011.
Lu Heliang. Research on the characteristics of solid conveying with helical grooves feed zone in extruder[D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2011.
- [10] Sasimowski E. Studies in the effectiveness of a new generation extruder. Part II. The shape of the inner surface of the barrel rotating sleeve[J]. Polimery, 2012, 57(4):296-302.
- [11] 柳娟,王建. 左右旋螺筒结构对单螺杆挤出机性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2014, 30(3):124-133.
- Liu Juan, Wang Jian. Influence of left and right hand helically grooved barrels on the performance of single screw extruder[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2014, 30(3):124-133.
- [12] 王建,郭迪,陈晋南. 数值模拟研究螺筒结构对单螺杆挤出机性能的影响[J]. 塑料科技, 2012, 40(10):74-78.
Wang Jian, Guo Di, Chen Jinnan. Numerical simulation study on effect of barrel structures on performance of single screw extruder[J]. Plastics Science Technology, 2012, 40(10):74-78.
- [13] 王建,郭迪,陈晋南,等. 数值研究槽深对单螺杆螺筒挤出机性能的影响[J]. 塑料工业, 2012, 40(10):70-73.
Wang Jian, Guo Di, Chen Jinnan, et al. Numerical study on the influence of groove depth in the performance of single screw extruder with helically grooved barrel[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(10):70-73.
- [14] 魏静,梁新龙,陈大兵,等. 异向啮合型双螺杆捏合机转子型线演化及其混合性能[J]. 机械工程学报, 2014, 50(15):34-44.
Wei Jing, Liang Xinlong, Chen Dabing, et al. Rotor profiles evolutionary design and evaluation of the mixing performance for intermeshing counter-rotating twin-screw kneader[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(15):34-44.
- [15] 魏静,梁新龙,陈大兵,等. 评价一种新型双螺杆捏合机混合性能[J]. 塑料工程, 2014, 54(10):2407-2419.

2017年我国聚乙烯新增产能或将达到130万t

据悉,2017年,我国将增加新一波的聚乙烯产能。根据机构所提供的市场情报称,2016年,我国的聚乙烯产量达到1425万t,其中包括46万t新推出的产能。

具体来说,2015年12月开始的榆林神华能源在2016年生产的低密度聚乙烯估计在22万t;2016年10月份开始的新疆的神华能源项目在2016年的低密度聚乙烯产能为4万t;2016年4月份启动的China Coal Mengda项目共生产1.5万t线型低密度聚乙烯;2016年10月份开始的中天合创项目共计生产了5万t线型低密度聚乙烯。这4个新项目的年生产能力都为30万t。

在2017年,新项目将继续增加聚乙烯的产能,预计将达到130万t。其中包括九台能源(年产能2.5万t)、中天合创(3.7万t)、中国海洋石油公司惠州第二分部(70万t)以及宁夏神华(43万t)。其中,大多数的聚乙烯新产能都来自于煤化工项目。

(中塑机网)

道康宁新款有机硅母粒降低成本提高产量

陶氏化学公司旗下全资子公司道康宁正式发布了Dow Corning(道康宁)MB25-502母粒,这是一种专为优化电线和电缆用高矿物填充聚乙烯改性料的加工性能而设计的先进新型有机硅母粒。

与未添加加工助剂的聚乙烯改性料相比,该有机硅母粒

可通过降低螺杆扭矩、模头堆积及模头压力将挤出产量提高110%。

“电线和电缆行业正在逐渐使用无卤素阻燃剂,但矿物添加剂的高填充会导致严重的加工问题,进而降低生产效率。”道康宁塑料和复合材料全球市场负责人Christophe Paulo说道。“迄今为止,客户仍需在性能与成本之间做出抉择:是选择高成本但过度设计的产品,还是选择较低成本但性能不足的产品。新款Dow Corning(道康宁)MB25-502母粒能够保证在客户无需为产品非必要功能付费的前提下,将电线和电缆的生产力最大化。”

MB25-502母粒通过将螺杆扭矩降低逾30%来提高矿物填充聚乙烯改性料的产量。在低扭矩的同时可以提高生产率并降低能源成本。

此外,这款有机硅母粒可以降低模头堆积及模头压力而导致的停机清理频率。

通过专注提升加工性能,而不是广泛兼顾其它额外的功能性,此款产品得以提供富有竞争力的价格。与其它有机硅助剂相比,除了具备成本效益以外,还能保证在较低填充量(0.5%~1.0%)时的高效加工。

该母粒能与低密度聚乙烯、线型低密度聚乙烯以及交联聚乙烯体系兼容。形态为易于供料的颗粒状,在全球范围均有供应。

(塑新网)