

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.01.012

PE-HD/GF 复合带共挤数值模拟与实验制备^{*}

秦升学¹, 张兴邦¹, 王大鹏², 刘杰¹, 王庆昭²

(1. 山东科技大学机械电子工程学院, 山东青岛 266590; 2. 山东科技大学化学与环境工程学院, 山东青岛 266590)

摘要: 基于复合共挤成型原理, 建立了高密度聚乙烯 (PE-HD)/ 玻璃纤维 (GF) 复合共挤有限元模型, 采用有限元软件 Polyflow 对流道内熔体的三维等温非牛顿流动行为进行了数值模拟, 给出了 GF 以不同速度移动时流道内熔体压力和速度的分布特点及变化规律。根据数值模拟结果确定了挤出工艺参数, 研制了共挤模具, 制备了 PE-HD/GF 复合带, 并进行了力学性能测试。结果表明, 随着 GF 移动速度的提高, 流道内压力减小, 熔体在复合成型段挤出速度明显增加; GF 移动速度达到一定值时熔体挤出速度均匀, 移动速度过大则导致熔体速度分布不均匀。研制的 PE-HD/GF 复合带拉伸强度保留率可达 GF 的 82%。

关键词: 玻璃纤维; 高密度聚乙烯; 复合共挤; 数值模拟

中图分类号: TQ325.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)01-0053-05

Numerical Simulation and Experimental Production of PE-HD/GF Composite Tape By Using Co-Extrusion Technology

Qin Shengxue¹, Zhang Xingbang¹, Wang Dapeng², Liu Jie¹, Wang Qingzhao²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

2. College of Chemical and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract : Based on the forming principle of composite co-extrusion, the finite element model of high density polyethylene (PE-HD)/ glass fiber(GF) composite co-extrusion was established. Three dimensional isothermal non-Newtonian flow behavior of melt in the mold channel was numerical simulated by using Polyflow. The distribution characteristics and variation law of pressure and velocity of melt with different GF feed speeds were given. The extrusion process parameters were determined and experimental mold for co-extrusion was developed based on the simulation results and PE-HD/GF composite tape was produced. The mechanical properties tests were conducted. The results show that the pressure in channel decreases with the feed rate of glass fiber increasing, and the extrusion speed of melt in composite molding zone is improved obviously. The melt extrusion speed is homogeneous when GF mobile speed reaches a certain value. But unstable extrusion speed will be induced with too high GF feed speed. 82 percent of GF's tensile strength could be remained in PE-HD/GF composite tape.

Keywords : glass fiber ; PE-HD ; co-extrusion ; numerical simulation

高密度聚乙烯 (PE-HD) 具有耐磨损、抗冲击、耐低温、自润滑等优异性能, 应用领域十分广泛。但由单一 PE-HD 制备的增强带不能承受高的拉伸强度, 限制了在石油、化工、采矿等具有高安全标准要求领域中的应用。玻璃纤维 (GF) 具有拉伸强度高、吸收冲击能大、耐化学药品性好等优点, 且价格便宜, 是一种很好地增强材料; 但是耐磨性差。利用复合共挤的方法将 GF 和 PE-HD 在模具中融合, 可制备出 PE-HD/GF 复合带^[1,2]。通过共挤制备的复合带综合 PE-HD 和 GF 二者的优异性能, 可作为一种增强材料应用于高压输油和输气管道的缠绕。

目前, 国内在 PE-HD/GF 复合带挤出成型方面的研究还处于空白。因此, 笔者针对 PE-HD/

GF 复合带研究上的欠缺, 设计了由稳流段、过渡段、压缩段和复合成型段组成的共挤模具, 通过建立 PE-HD/GF 复合共挤成型有限元模型, 采用有限元软件 Polyflow 对复合共挤流道内满足压力和拖曳的混合流动进行了模拟, 并通过改变 GF 移动速度获得了共挤过程中压力场、速度场分布的特点以及变化规律。结合工艺要求研制了共挤模具, 制备了 PE-HD/GF 复合带, 并进行了力学性能测试, 为工业化制备 PE-HD/GF 复合带提供了理论指导和实践参考。

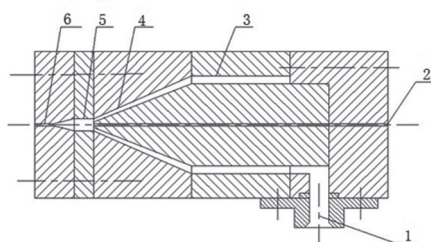
^{*} 青岛市科技计划项目 [12-1-4-6-(6)-jch]

联系人: 秦升学, 副教授, 主要从事高分子加工与数值模拟研究

收稿日期: 2014-11-28

1 复合共挤的工艺原理

PE-HD/GF 复合带成型工艺的显著特点是采用了复合共挤模具,即由于挤出过程中 GF 的引入,材料在流道中经历了特定的流动过程,图 1 为复合带共挤模具结构示意图。PE-HD 熔体与 GF 牵引方向成 90° ,由导入段进入流道后进入过渡段逐步发展形成平直流动,然后通过压缩段进入稳流段包覆 GF,最后通过复合成型段稳定挤出制品。熔体通过压缩段进入稳流段后,由于 GF 拖曳的作用,拖曳和压力成为熔体在流道内流动的共同驱动力,这种混合的流动会影响熔体的流变特性,其变化规律也比常规挤出复杂^[3]。



1—熔料导入段;2—GF入口;3—过渡段;
4—压缩段;5—稳流段;6—复合成型段
图1 复合带共挤模具结构示意图

2 模型建立

根据聚合物加工流变学理论和复合共挤流动的特点,作以下假设^[4]:(1)熔体为不可压缩的非牛顿流体;(2)稳态层流;(3)入口处为完全发展流动;(4)壁面粘附,即熔体粘附于模具壁面上,GF壁面上的熔体与GF以相同速度运动;(5)不计惯性力和重力;(6)忽略模具内熔体的温度变化,视为等温流动;(7)忽略GF的弹性变形,视为刚性体。熔体在流道内流动符合连续性方程、动量守恒方程,联立求解可获得熔体的速度和压力分布。

笔者对复合共挤流道内压缩段、稳流段和复合成型段内熔体的流动进行了有限元建模,采用 Polyflow 开展了有限元模拟。由于流道为平面对称,故采用 $1/2$ 流道建立有限元模型,如图 2 所示。

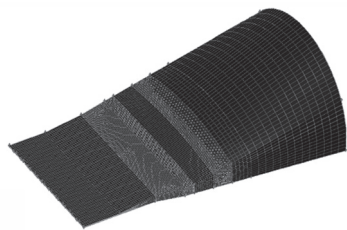


图2 共挤流道有限元模型

选取本构方程为 Bird-Carreau 模型表征 PE-HD 的流变行为,其流变参数^[5]为:零剪切黏度为 2 100

Pa·s,松弛时间为 0.3 s,非牛顿指数为 0.54,密度为 964 kg/m^3 ,采用 Picard^[6-7] 算法进行迭代计算。

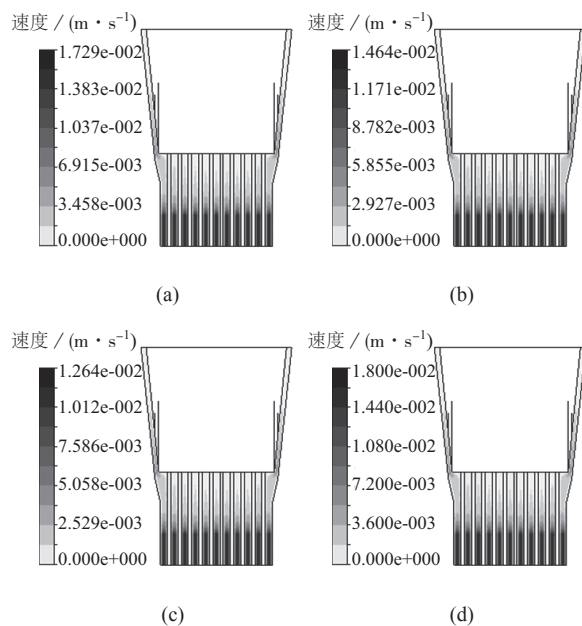
3 结果与讨论

在复合共挤过程中,熔体与 GF 相互融合的区域存在较为复杂的流动。当 GF 的移动速率比熔体的挤出速率大时,熔体会受到 GF 的拖曳作用,此时熔体的流动可以认为是压力与拖曳共同作用下的混合流动;当两者速率相等时,可以认为是无边界条件影响下的压力流;当 GF 移动速率比熔体的挤出速率小时,可认为是消除部分边界条件影响下的压力流。

在实际生产中,在挤出流量固定不变的条件下,设置合理的 GF 移动速度,有利于提高产量、保证质量。首先保持入口体积流量 $Q=2.4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ 固定不变,GF 的移动速度分别取 0,0.006,0.012,0.018 m/s 时,获得速度场和压力场的分布;进而改变入口体积流量进行分析,获得体积流量对成型规律的影响。

3.1 速度场分析

图 3、图 4 分别为 $Q=2.4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ 时,不同 GF 移动速度下中间剖面 $Z=0.0003$ 截面上熔体速度分布图和出口处熔体速度分布矢量图。

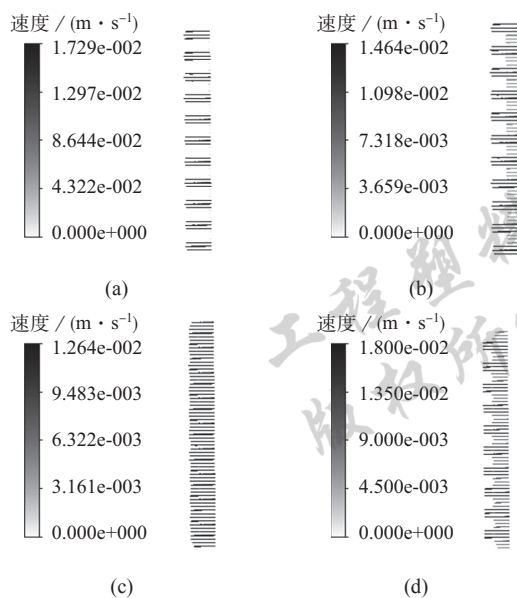


GF 移动速度: a—0; b—0.006 m/s; c—0.012 m/s; d—0.018 m/s

图3 $Z=0.0003$ 截面上的速度分布

由图 3、图 4 分析可知,GF 的移动速度为 0 时,熔体只在压力作用下流动,出口处速度分布不均匀。由于在稳流段内熔体只受压力作用,挤出速度不均匀,且稳流段内熔体速度过小,使得熔体在模具

内停留时间过长,易产生熔体分解。GF 移动速度为 0.006 m/s 时,稳流段由于 GF 的拖曳,稳流段速度变大;出口处熔体挤出速度大于 GF 移动速度,使 GF 在出口处过度包覆,制品会产生内应力,从而影响带的质量。GF 的移动速度为 0.012 m/s 时,GF 移动速度接近于挤出速度,熔体受压力与拖曳的共同影响,熔体在模具出口处的挤出速度分布均匀,制品质量稳定。GF 的移动速度为 0.018 m/s 时,GF 移动速度过大,在稳流段内 GF 与熔体之间产生相对滑动,在出口处由于 GF 速度过大,熔体供料不足无法将 GF 完全包覆,从而容易导致熔体破裂。通过对不同 GF 移动速度下的速度场进行对比,在入口体积流量 $Q=2.4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ 下,GF 的移动速度取 0.012 m/s 比较合理。



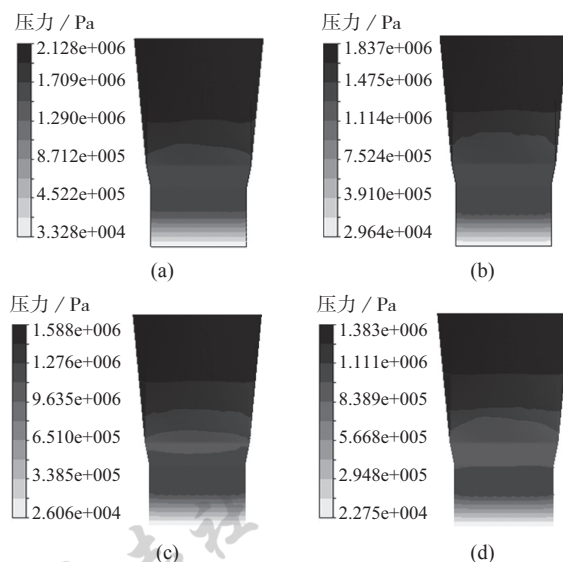
GF 移动速度: a—0; b—0.006 m/s; c—0.012 m/s; d—0.018 m/s

图4 出口速度分布矢量图

3.2 压力场分析

图 5 为 $Q=2.4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ 时, GF 不同移动速度下的熔体压力分布。图 5a 中 GF 的移动速度为 0, 压力分布类似于微孔薄膜挤出成型时的压力分布^[8]。由图 5b~5d 可见, 当 GF 的移动速度大于 0 时, 在入口体积流量一定的条件下, GF 移动产生的拖曳流动, 促进了熔体的流动, 降低了所需的驱动压力。随着拖曳速度的增加, 压力进一步减小; 在压缩段与稳流段结合的区域, 压力出现突变, 使熔体流动不均匀。图 5c 中出现了明显的压力突变, 即在熔体高压区域内出现低压, 这是由于该处 GF 的移动速率比熔体流速大, GF 的拖曳改变了熔体的压力

分布。对比图 5a 和图 5d 可知, GF 移动速度增加到 0.018 m/s 时, 压力下降了 35%。可知 GF 移动速度显著影响熔体的压力分布。

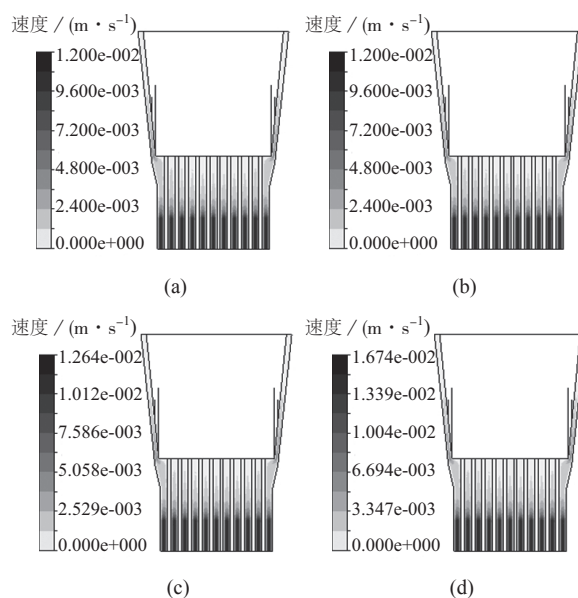


GF 移动速度: a—0; b—0.006 m/s; c—0.012 m/s; d—0.018 m/s

图5 不同 GF 移动速度下的熔体压力分布

3.3 不同入口流量下速度场分析

当 GF 移动速度恒定时, 入口流量也会影响熔体的挤出状态。图 6 为 GF 以 0.012 m/s 移动时不同入口流量下的速度分布。



入口流量: a— $1.2 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$; b— $1.8 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$;
c— $2.4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$; d— $3 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$;

图6 $Z=0.0003$ 截面上的速度分布

由图 6 可知, 当入口流量小于 $2.4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 熔体的挤出速度小于 GF 的移动速度, GF 与熔体容易出现相对滑动, 由于熔体供料不足会使得 GF

不能被熔体完全包覆,容易由于熔体破裂出现包覆不连续现象。当入口流量大于 $2.4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ 时,熔体的挤出速度大于 GF 的移动速度,使得熔体在出口处聚集,出现波浪纹或鲨鱼皮等现象。随着流量的增大,熔体流动不均匀更加明显。当入口流量为 $2.4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ 时,熔体在 GF 拖曳和压力的影响下,复合成型段流动均匀。

4 实验制备

4.1 主要原材料

PE-HD: 扬子石化公司;

GF: 1200TEX, 山东玻纤集团股份有限公司。

4.2 主要仪器及设备

转矩流变仪: XSS-300 型, 上海科创橡塑机械设备有限公司;

三辊压延机: WL-P370 型, 武汉维尔塑料机械有限公司。

4.3 试样制备

根据数值模拟结果确定了 PE-HD/GF 复合带的挤出工艺参数, 采用转矩流变仪将 PE-HD 挤入复合模具中, GF 通过复合模具与 PE-HD 复合挤出, 经过三辊压延机压轧后制备出了样品。在实验过程中稳定了加工温度后, 确定 GF 的牵引速度为 0.012 m/s , 熔体的挤出速度为 0.012 m/s , 制备的 PE-HD/GF 复合带如图 7 所示。

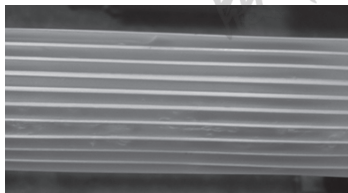


图 7 PE-HD/GF 复合带

4.4 力学性能测试

选取样品进行拉伸强度测试, 图 8 为复合带拉力曲线。测得拉力最大值为 3581.49 N , 最大变形量为 4.53 mm 。相对于实验用 GF, 可计算出样品的拉伸强度保留率为 82.9% 。

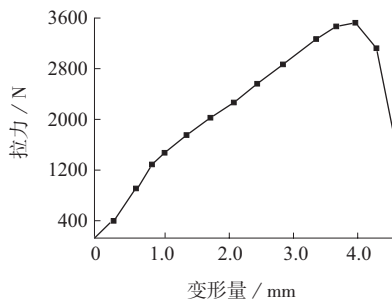


图 8 复合带拉力曲线

5 结论

(1) 采用有限元方法对熔体在模具内的流动进行了计算机模拟, 研究发现, GF 的移动速度对模具内熔体的压力和挤出速度有显著的影响, 并最终影响制品的质量。当 GF 的移动速度与熔体挤出速度匹配时, 模具出口处的流动均匀, 制备的复合带质量好。

(2) 当 GF 的移动速度相对于熔体挤出速度较大时, 有利于促进熔体流动, 降低所需的挤出压力, 但过大时易引起压力突变导致成型的不稳定; 当 GF 的移动速度相对于熔体挤出速度较小时, 易由熔体的堆积导致产品的缺陷, 且会降低生产效率。生产中为获得高的生产效率, 尽可能设置高的挤出速度和 GF 的移动速度, 并可根据所分析的成型现象调整二者直至匹配。

(3) 采用复合共挤的成型方法制备的复合带具有较高的拉伸强度, GF 和 PE-HD 可有机地结合为一个整体。

参考文献

- [1] Huang Runzhou, Zhou Chengjun, Zhang Yang, et al. Co-extrusion technology for functioned nature fiber reinforced polymer composites[J]. Advanced Materials Research, 2013, 773:497-501.
- [2] Irina Turku, Kimmo, Timo. Co-extrusion of PP / wood flour composites with PP-based cap layer reinforced with macro-and micro-sized cellulosic fibres [J]. Advanced Materials Research, 2013, 834-836:203-210.
- [3] 秦升学. 异型材聚合物挤出与钢塑共挤过程的有限元模拟关键技术及其机理研究 [D]. 济南: 山东大学, 2006.
Qin Shengxue. Research on fem key technigque and mechanics of polymer extrusion and co-extrusion of polymer with metal insert[D]. Jinan: Shandong University, 2006.
- [4] 秦升学, 赵国群, 牟玥. 钢塑共挤模具分流段成形过程数值模拟 [J]. 机械工程学报, 2006, 42(8):146-149.
Qin Shengxue, Zhao Guoqun, Mu Yue. Numerical simulation of profile co-extrusion process of split-flow part of polymer with metalinsert[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(8):146-149.
- [5] 梁耀桓. 聚合物叶片挤出机流场与混合性能的数值模拟研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012:28-30.
Liang Yaohuan. Numerical simulation of the flow and mixing characteristics in polymer vane extruder[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012:28-30.
- [6] Kumar S, Smith P J. Optimization of the nonlinear convergence rate of the SIMPLER picard algorithm for steady incompressible internal flows through enforcement of continuity projections[J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2006, 50(7):795-816.

- [7] Cannone M, Karch G. On the validity of picard algorithm for nonlinear parabolic equations[J]. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh(Section A): Mathematics, 2005, 135(5):947-958.

- [8] 肖建华,高延峰.微孔薄膜挤出成型数值模拟[J].中国塑料,2012,26(5):109-111.
Xiao Jianhua, Gao Yanfeng. Numerical simulation of extruded microcapillary film[J]. China Plastics, 2012, 26(5):109-111.

西帕收购 Automa PET 瓶机械业务

西帕公司已向 Automa 公司收购注拉吹设备业务,交易价尚未公布,这两家公司均位于意大利。

西帕本身就在制造生产 PET 容器的注拉吹设备,但 Automa 技术的加入可以进一步扩展其能力。

“Automa 的注拉吹设备设计用于容器的小批量生产,它的特点是能够在不同产品结构之间实现快速转换。”西帕在新闻发布会上说道。

西帕表示, Automa 设备的其它优势在于结构紧凑,而且节能效率很高。

该公司将此次收购描述为“一次重要的战略行动”,使西帕进一步丰富了单段注拉吹设备系统,并加强了其在生产特殊产品的吹塑设备市场中的地位,比如药物、化妆品、个人护理用品、烈酒等产品的容器。

“能成为所有客户值得依赖且实力强劲的合作伙伴,我们为此感到骄傲。同时,能将 Automa 的客户纳入我们的客户体系,我们感到非常开心,”西帕总经理 Enrico Gribaudo 说道,“现在,我们正强化运营,确保客户在购买 PET 瓶加工设备时收到最高水平的服务和技术支持。”

他说道,西帕和 Automa 的注拉吹设备业务将产生协同效应,三个优先区域是包装开发、注拉吹设备加工和容器的研发以及技术支持。

西帕在意大利 Sala Baganza 和 Vittorio Veneto、中国杭州、墨西哥圣路易斯波托西以及罗马尼亚蒂米什瓦拉均建有制造厂,在全球拥有 18 家分公司和 23 个技术援助中心。

至于吹塑机方面,西帕为 PET 成型机和装灌线制造注塑和吹塑模具,提供预成型产品和塑料瓶设计服务。此外,在自动化 PET 预成型注塑机和吹塑模具方面,该公司正与 Athena Automation 进行合作。(工程塑料网)

神宁煤化工产出新牌号聚丙烯

近日,神宁集团煤化工分公司烯烃公司聚丙烯装置 3 号线挤压机顺利产出高熔指 1101S 聚丙烯新牌号产品,使该公司聚丙烯产品品种增加到了 5 种。

今年以来,随着国内及周边烯烃项目的陆续上马,公司生产的聚丙烯产品市场及售价不断受到冲击挤压,价格及利润下滑。公司成立技术攻关组,研究确定新牌号各项技术指标和生产方案,进行了市场调研,利用规模产量及技术优势,顺利产出合格新牌号 1101S 聚丙烯产品。

据了解,1101S 新牌号产品主用途为粗纤维、拉丝料和地毯料,具有加工性能好、分子量分布窄等特点,应用领域广泛,市场售价较该公司原主牌号 1102K 聚丙烯产品每吨高出 50~100 元。按该公司三线两釜 25 t/a 产量计算,预计每天将为公司增盈 3 万~6 万元。(中国聚合物网)

路博润发布新型热塑性聚氨酯产品

路博润发布最新研发的创新型热塑性聚氨酯产品(TPU): Estane ZHF85AB3, Estane ZHF90AB3 和 Estane ZHF85AT8。新产品设计旨在满足市场对工艺特性及非卤素阻燃剂日益增长的需求。

Estane ZHF85AB3 和 Estane ZHF90AB3 都为聚酯型 TPU 产品,硬度分别为 85A,0A。两种产品都拥有极高的力学强度。Estane ZHF85AT8 是聚醚型 TPU 产品,硬度为 85A。该产品拥有优异的耐低温和耐水解性能。除了以上特性,3 种产品还有共同的性能优势:良好的挤压性能、柔滑的无光面和突出的阻燃性。

亚太地区产业营销经理张家明称:“新发布的非卤素阻燃剂 TPU 产品客户反馈良好。产品将优异的工艺特性和非卤素性能结合于一体,这正是主流市场领域的追求目标。路博润一直致力于不断提供高性能产品,以满足客户日益增长的需求。”(中国聚合物网)

完全生物降解塑料地膜将在 2016 年覆盖新疆

完全生物降解塑料地膜是为适应社会对于环境保护的需要而产生的一种新型地膜,主要由生物降解母料与塑料粒子母料混合生产而成。近日,新疆生产建设兵团与金发科技签订一份推广完全生物降解塑料地膜的 3 年协议。2014 年,兵团 14 个师的 14 万亩农田使用完全生物降解塑料地膜,到 2016 年,将在 600 万亩农田里使用完全生物降解塑料地膜。

目前国内外开发应用的可控降解地膜种类主要有:光降解地膜、生物降解地膜和光、生物降解地膜。完全生物降解塑料地膜能通过微生物作用降解地膜(较低层次的生物降解地膜)。这种完全生物降解塑料地膜主要以天然高分子为原料,如日本采用纤维素与甲壳素水溶液制膜,德国采用直链淀粉或高直链淀粉及其它天然高分子材料制膜,我国也曾采用纤维素来制膜。但是,尽管这些薄膜能够降解,但都存在加工困难、力学性能和耐水性能差的问题,根本无法加以推广和应用。金发科技生产的完全生物降解塑料地膜,在使用过程中性能稳定,使用后可被微生物或动植物体内的酶最终分解为二氧化碳和水。据研发团队负责人徐依斌介绍,这种可降解材料的最大研发难点在于,在需要时保持完整性,不需要时立刻降解,不能再留一点一滴的残物。这是两个十分矛盾的方向,也是世界难以攻克它的原因。

经过 3 年刻苦钻研,金发目前已经开发出完全生物降解塑料地膜和生物基两大产品系列共 10 个牌号的产品,形成了以“ECOPOND”为商品牌号的产品族。

这个产品系列涉及的技术包含聚酯树脂的合成、聚酯树脂的反应挤出、合金化改性技术及其应用加工技术。降解物对植物生长没有任何负面影响。(工程塑料网)