

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.02.014

成型方法对 PE-UHMW 摩擦磨损性能的影响

王仕仙¹, 张仲²

(1. 武汉工程大学邮电与信息工程学院, 武汉 430073; 2. 武钢集团鄂城钢铁有限公司, 湖北鄂州 436000)

摘要: 采用对比试验的方法分别对模压成型法、机筒成型法制备的超高分子量聚乙烯 (PE-UHMW) 进行摩擦磨损性能研究。结果表明, 采用机筒成型的 PE-UHMW 试样的磨合期较短, 稳定区间摩擦系数为模压成型 PE-UHMW 试样摩擦系数的 62.4%, 机筒成型的 PE-UHMW 试样在载荷、转速变化的条件下摩擦系数表现更稳定; 磨损量都呈现先快速增大后缓慢上升再快速增大的趋势, 试验 60 min 后, 模压成型 PE-UHMW 试样的磨损量为 1.4 mg, 机筒成型试样的磨损量为 1.2 mg, 机筒成型 PE-UHMW 试样的耐磨性能优于模压成型 PE-UHMW 试样; 对试样摩擦磨损试验后的表面形貌的 SEM 分析表明, 模压成型的 PE-UHMW 试样的摩擦机理主要为粘着磨损和疲劳磨损; 机筒成型的 PE-UHMW 试样的摩擦机理以磨粒磨损和疲劳磨损为主, 后期转化为粘着磨损。机筒成型的 PE-UHMW 试样摩擦磨损过程中的磨粒起到自润滑及减摩剂的作用, 其热力学及力学性能优于模压成型的 PE-UHMW 试样。

关键词: 挤出成型; 模压成型; 超高分子量聚乙烯; 摩擦磨损性能; 干摩擦

中图分类号: TQ325.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)02-0073-05

Effects of Forming Methods on Friction and Wear Performances of PE-UHMW

Wang Shixian¹, Zhang Zhong²

(1. College of Post and Telecommunicate of Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China;

2. Wisco Group E Cheng Iron and Steel Co., Ltd., Ezhou 436000, China)

Abstract : Adopted contrast test method, the friction and wear performances of ultrahigh molecular weight polyethylene (PE-UHMW) forming from the compression molding and the barrel molding were studied. The results show that the running period of the PE-UHMW pipe forming from the barrel molding is relatively short, the stable friction coefficient is 62.4% of that forming from compression molding, and the friction coefficient is more stable under the condition of the load and the speed change. Dry friction wear loss is presented a trend from rapid increase at first to slowly rising then to rapid increase again. After 60 min, the wear loss of sample forming from compression molding is 1.4 mg, and the wear loss of sample forming from the barrel molding is 1.2 mg, the friction and wear performance of sample forming from the barrel molding is better than one forming from the compression molding. SEM analysis of the morphology of the friction and worn surfaces after wear tests shows that the friction mechanism of PE-UHMW forming from the compression molding is mainly adhesive wear and fatigue wear, and the friction mechanism of PE-UHMW forming from barrel molding is mainly abrasive wear and fatigue wear, but late the mechanism change into adhesive wear. In PE-UHMW friction and wear process, the abrasive grains play a role of self-lubricating and friction reducing, and its thermodynamic and mechanical properties are better than that of PE-UHMW forming from the compression molding.

Keywords : extrusion molding ; compression molding ; ultrahigh molecular weight polyethylene ; friction and wear performance ; dry friction

超高分子量聚乙烯 (PE-UHMW) 是一种具有优异综合性能的热塑性工程塑料, 近十几年来发展迅速^[1], 它可以在腐蚀介质、冲击载荷大、低温等极限工况下使用, 同时还具有自润滑和摩擦系数低的优良特性^[2]。PE-UHMW 最突出的性能是耐磨性好, 其耐磨性在塑料类材料中表现最为突出, 并超过部分常用金属, PE-UHMW 管的耐磨性是钢管、不锈钢管的 7~10 倍, 铜管的 2~7 倍^[3]。

塑料的成型方法对成型塑料产品的性能有较大的影响, PE-UHMW 常用的成型方法为模压成型法, 研究者对热压成型 PE-UHMW 的摩擦磨损性能进行了大量的研究^[4-6]。同时, 研究者也尝试其它新的成型方法, 目前国内已有研究者开发出机筒螺

联系人: 王仕仙, 讲师, 主要从事机械设计、摩擦磨损及仿真技术研究

收稿日期: 2015-11-18

杆和机筒双螺杆来加工 PE-UHMW 产品,对成型材料的耐腐蚀性能、冲击性能等进行了研究^[7-8],但对机筒成型的 PE-UHMW 产品的摩擦磨损性能研究较少,采用不同成型工艺制成的 PE-UHMW 产品的摩擦磨损性能缺乏对比试验研究,哪种工艺制造的产品摩擦磨损性能更为优越还无定论。因此有必要对不同成型法制成的 PE-UHMW 进行摩擦磨损性能测试,在评价材料的摩擦学性能方面,摩擦系数和磨损量是重要的指标^[9-14]。在干摩擦条件下,笔者分别对模压成型法、机筒成型法制成的 PE-UHMW 分别与 45# 钢配副的摩擦磨损性能进行研究,通过摩擦磨损对比试验,并结合磨痕形貌研究了不同成型法制成的 PE-UHMW 材料的摩擦磨损性能,探讨了 PE-UHMW 的摩擦磨损行为及机理。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PE-UHMW:MIII, 分子量为 3×10^6 , 粒径为 100~200 μm , 北京东方石油化工有限公司助剂二厂;

乙醇和丙酮:均为市售。

1.2 主要仪器及设备

数控摩擦磨损试验机:XP-6 型,武汉理工大学;
低真空扫描电子显微镜(SEM):JSM-5610L 型,日本电子株式会社;

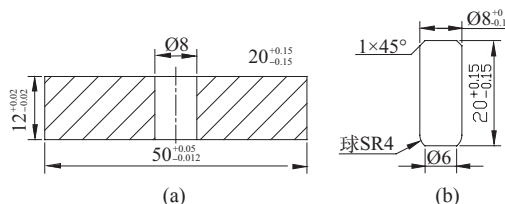
电子天平:BL-220H 型,精度为 0.1 mg,日本岛津公司;

超声波清洗仪器:Anpel 型,上海安谱实验科技股份有限公司。

1.3 试样制备

试样尺寸:为了保证试样便于安装在数控摩擦磨损试验机上,将热压成型法、机筒成型法两种工艺制备的 PE-UHMW 加工成如图 1a 所示的圆盘体试样,外径为 50 mm,内径为 8 mm,厚为 12 mm,在试验前用 800 号水砂纸打磨试样的摩擦表面具有相同粗糙度 ($R_a=0.5 \mu\text{m}$),安装时用 M8 螺栓穿过内径孔拧紧,将试样固定在试验台架上。对偶件为 45# 钢圆销,其外径为 8 mm,作为摩擦面的圆销端面直径为 6 mm,粗糙度为 $0.5 \mu\text{m}$,如图 1b 所示。试验前后用乙醇和丙酮超声清洗摩擦副表面,放置在烘干器中待用。

试样 1 的制备:用模压成型方法,将 PE-UHMW 粉末倒入全自动热压镶嵌机中加热至 180°C ,并保温 120 min,然后在热压压力 45 MPa 条件下保压



a—盘试样;b—销试样

图1 盘试样和销试样示意图

40 min,脱模,在数控机床上加工成试样 1,如图 1a 所示。

试样 2 的制备:PE-UHMW 的单螺杆挤出成型加工过程分为加料段、压缩段和计量段,螺杆转速为 14 r/min,喂料速度为 18 kg/h,机头背压为 22 MPa,模具温度:一区 195°C 、二区 220°C 、三区 220°C ,挤出温度:一区 140°C 、二区 165°C 、三区 185°C 。用机筒成型法挤出管材试样,其外径 74 mm、壁厚 5 mm,按试样尺寸截取一段刚挤出的 PE-UHMW 管材,沿母线方向划开,利用片材成型辅机将划开的圆管压成平片,将该片粘到按图 1a 制成的 45# 钢圆柱体的一个端面上,得到试样 2。

1.4 性能测试

利用数控摩擦磨损试验机分别对试样 1 和试样 2 进行试验。试验采用销—盘摩擦副,试验条件:干摩擦,温度为 27°C ,相对湿度为 80%,转速分别设定为 50,80,100,150 r/min,分别加载法向载荷为 50,80,100,150 N,试验时间为 60 min,在试验前后,将试样 1、试样 2 及对偶销放入超声波清洗器中用丙酮进行清洗,然后烘干。每种试验条件下进行 3 次试验,记录摩擦系数、磨损量。磨损量采用称量法,时间节点为 15,30,45,60 min,称量试样在试验前后的质量变化确定磨损量,采用精度为 0.1 mg 的电子天平称重,取 3 次的平均值。

将摩擦磨损试验结束后的试样置于丙酮中,用超声波清洗 10 min,烘干,然后在 SEM 上观察试样的磨痕表面形貌。

2 结果与讨论

2.1 摩擦系数

图 2 是试样 1 和试样 2 在摩擦磨损试验过程中摩擦系数随时间的变化曲线。从图 2 可以看出,随着时间的推移,试样 1 和试样 2 都出现摩擦系数先增大后减小、再趋于平稳的现象。这是因为在试样摩擦磨损过程中存在磨合期,磨合期出现在摩擦过程的前期,试样 1 的磨合时间大约为 5 min,试样 2 的磨合时间大约为 3 min,试样 1 的最高摩擦系数

达到 0.130, 试样 2 的最高摩擦系数为 0.096。

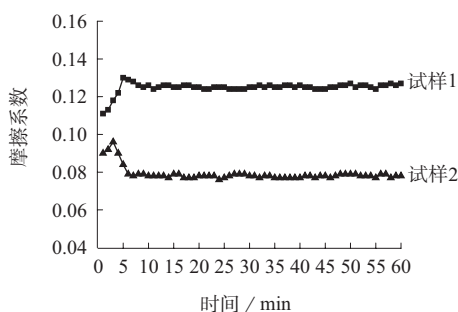


图2 不同成型方法的 PE-UHMW 摩擦系数随时间的变化曲线

摩擦平稳期试样表面的摩擦系数较低并表现较为稳定, 模压成型的试样 1 与钢配副的干摩擦系数为 0.125, 机筒成型的试样 2 与钢配副的干摩擦系数为 0.078。结果表明, 采用机筒成型法挤出的 PE-UHMW 管材的磨合期较短, 稳定摩擦磨损阶段的摩擦系数为模压成型的 PE-UHMW 块材的摩擦系数的 62.4%。

当转速为 100 r/min、试验时间为 60 min 时, 不同载荷对两种试样摩擦系数的影响如图 3 所示。从图 3 可以看出, 试样 2 在整个试验过程中摩擦系数较试样 1 低, 两者的摩擦系数均随载荷的增加而增大。这是由于在载荷较低情况下, 材料表面微凸体压入比较浅, 此时摩擦系数较小; 当载荷增大到一定程度时, 材料表面变形, 微凸体压入较深, 表面间的剪切力增大, 导致摩擦系数增大。载荷对试样 1 摩擦系数的影响比对试样 2 更明显。

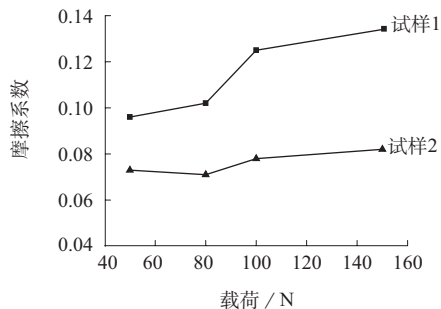


图3 转速为 100 r/min、时间为 60 min 时载荷对试样摩擦系数的影响

当载荷为 100 N、时间为 60 min 时, 转速对两种试样摩擦系数的影响如图 4 所示。图 4 表明, 在整个试验过程中, 试样 2 的摩擦系数较试样 1 低, 两者的摩擦系数均开始都随转速的增加而减小, 在较低转速时, 摩擦副处于干摩擦状态, 摩擦副的微观凸凹不平表面直接接触, 所以摩擦系数较大; 随着转速的逐渐增大, 摩擦过程进入稳定期, 促使摩擦表面形成耐磨膜, 并且磨粒可以起到自润滑及减摩剂的

作用, 因而使摩擦系数降低。但由于 PE-UHMW 是半结晶的热塑性材料, 随着转速的上升, 摩擦热不能及时散出, 造成局部温度上升, 结晶作用减弱, 试样的摩擦磨损主要以粘着磨损为主, 表面呈现严重的塑性流动, 甚至出现材料碎片剥离的现象, 试样 1 在转速升到 150 r/min 时的摩擦系数表现为急剧上升, 而试样 2 表现为缓慢上升。可以看出, 试样 2 在高速条件下的摩擦系数更稳定。

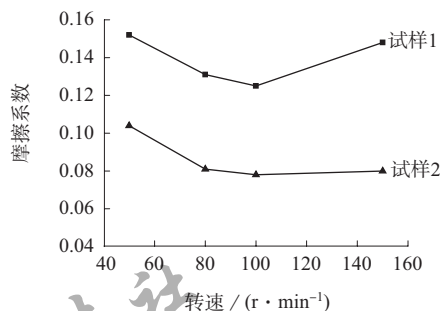


图4 载荷为 100 N、时间为 60 min 时转速对试样摩擦系数的影响

2.2 磨损量

当转速为 100 r/min、载荷为 100 N、时间为 60 min 时, 不同成型方法的 PE-UHMW 磨损量随时间的变化曲线如图 5 所示。

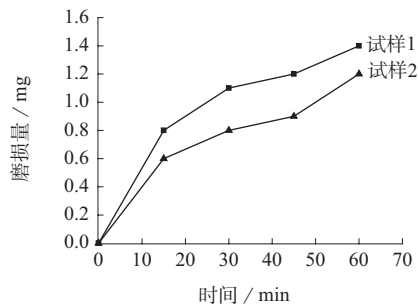


图5 不同成型方法的 PE-UHMW 磨损量随时间的变化曲线

从图 5 可以发现, 在该试验条件下, 随着时间的推移, 干摩擦时的磨损量呈现先快速增大后缓慢上升再快速增大的趋势。摩擦磨损过程中存在磨合期、稳定磨损期、加速磨损期。在磨合期内, 试样接触表面较粗糙, 微观上存在沟壑, 表面沟壑的互相咬合滑移、凸起部分的撕裂和剪断造成磨损量较大; 进入稳定期后, 随着试样表面沟壑凹凸质量体的撕裂、粘着、转移, 试样表面的凹凸部分逐渐变平, 并形成耐磨膜, 摩擦过程呈缓慢磨损; 在加速磨损期, 由于温度上升, 主要表现为粘着磨损, 材料发生热降解磨损, 造成磨损更严重。在试验过程中还发现, 载荷变化对两个试样磨损量的影响不大, 但转速对试样磨损量的影响较大。试验 60 min 后, 模压成型试样

1 的磨损量为 1.4 mg,机筒成型试样 2 的磨损量为 1.2 mg,试样 2 的磨损量为试样 1 的 85.7%,可见机筒成型 PE-UHMW 的耐磨性能优于模压成型 PE-UHMW。

2.3 摩擦磨损形貌

在转速为 100 r/min、载荷为 100 N 条件下,采用 SEM 对试样 1 和试样 2 的摩擦磨损表面进行观察,比较它们的摩擦磨损形貌,其 SEM 照片如图 6 所示。通过对 SEM 照片的观察发现,试样 1 的摩擦磨损表面呈现严重的塑性流动,而且出现材料碎片剥离的现象,摩擦机理主要为粘着磨损和疲劳磨损;而试样 2 的摩擦磨损表面塑性流动较轻微,几乎没有材料碎片剥离的现象,只有沿着摩擦方向的少量轻微擦痕,摩擦机理以磨粒磨损和疲劳磨损为主,后期转化为粘着磨损。由此推断,由机筒成型法挤出的 PE-UHMW 管材试样的摩擦磨损形式主要为磨粒磨损,而试样磨粒可以起到自润滑及减摩剂的作用^[3],致使其热力学及力学性能优于模压成型的 PE-UHMW 试样。

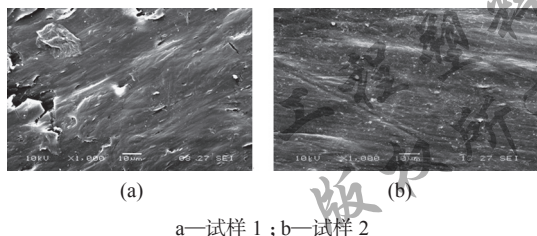


图 6 不同成型方法成型的 PE-UHMW 试样摩擦磨损表面 SEM 照片

3 结论

(1) 在试验机主轴转速为 100 r/min、载荷为 100 N、摩擦副为面-面接触形式、试验环境温度为 27℃、相对湿度为 80%、干摩擦和试验时间为 60 min 条件下, PE-UHMW 与 45# 钢存在磨合期,摩擦系数随着时间的推移都呈现先增大后减小再趋于平稳的趋势,机筒成型的 PE-UHMW 试样的摩擦系数为模压成型的 PE-UHMW 试样的 62.4%。

(2) 干摩擦时, PE-UHMW 的磨损量都呈现先快速增大后缓慢上升再快速增大的趋势,试验 60 min 后,模压成型试样的磨损量为 1.4 mg,机筒成型试样的磨损量为 1.2 mg,机筒成型的 PE-UHMW 的耐磨性能优于模压成型的 PE-UHMW,不同的制备工艺对 PE-UHMW 成型材料的摩擦磨损性能有着较大的影响。

(3) 对试验后的摩擦磨损表面形貌的 SEM 分析表明,模压成型的 PE-UHMW 的摩擦机理主要为粘

着磨损和疲劳磨损;机筒成型的 PE-UHMW 的摩擦机理以磨粒磨损和疲劳磨损为主,后期转化为粘着磨损。在摩擦磨损过程中,机筒成型的 PE-UHMW 磨粒起到自润滑及减摩剂的作用,致使其热力学及力学性能优于模压成型的 PE-UHMW。

参考文献

- [1] 汪小伟,牛永平,张军凯,等. UHMWPE/纳米 Al_2O_3 复合材料在不同温度下的摩擦磨损性能研究[J]. 塑料工业, 2010, 38(5): 72-74.
Wang Xiaowei, Niu Yongping, Zhang Junkai, et al. Study of tribological properties of nano- Al_2O_3 / UHMWPE composites under different temperature[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(5): 72-74.
- [2] 刘广建. 超高分子量聚乙烯[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
Liu Guangjian. UHMWPE[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001.
- [3] 常铁军,李大全,姜树立. 超高分子量聚乙烯磨损性能的研究[J]. 应用科技, 2002, 29(9): 4-6, 11.
Chang Tiejun, Li Daquan, Jiang Shuli. The research on wear-resistance of ultrahigh molecular weight polyethylene[J]. Applied Science and Technology, 2002, 29(9): 4-6, 11.
- [4] 蒋启柏,薛平,何亚东,等. 超高分子量聚乙烯复合材料的发展[J]. 工程塑料应用, 2000, 28(3): 36-39.
Jiang Qibo, Xue Ping, He Yadong, et al. Developing of the UHMWPE composites[J]. Engineering Plastics Application, 2000, 28(3): 36-39.
- [5] 何春霞. 几种工程塑料摩擦磨损性能的分析与比较[J]. 工程塑料应用, 1997, 25(6): 42-44.
He Chunxia. Friction and wear properties of three kinds of engineering plastics[J]. Engineering Plastics Application, 1997, 25(6): 42-44.
- [6] 何春霞. 超高分子量聚乙烯摩擦磨损特性[J]. 工程塑料应用, 2002, 30(2): 42-44.
He Chunxia. Friction and wear properties of ultrahigh molecular weight polyethylene[J]. Engineering Plastics Application, 2002, 30(2): 42-44.
- [7] 秦建华,王辉,杨光振. 超高分子量聚乙烯单螺杆挤出压力形成理论[J]. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(2): 33-35.
Qin Jianhua, Wang Hui, Yang Guangzhen. The research in uhmwpe single screw extruding process theory[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2007, 23(2): 33-35.
- [8] 秦建华,高万振. 超高分子量聚乙烯单螺杆挤出形成理论的研究[J]. 材料保护, 2005, 38(10): 27-29.
Qin Jianhua, Gao Wanzhen. Theoretical research on single screw extruding molding of ultrahigh molecular weight polyethylene[J]. Materials Protection, 2005, 38(10): 27-29.
- [9] Liu Shuhai, Luo Jianbin, Li Gang, et al. Effect of surface

- physicochemical properties on the lubricating properties of water film[J]. Appl Surf Sci, 2008, 254:7 137-7 142.
- [10] Xiong Dangsheng, Gao Zhan, Jin Zhongmin. Friction and wear properties of UHMWPE against ion implanted titanium alloy[J]. Surf Coat Tech, 2007, 201:6 847-6 850.
- [11] Jia Junhong, Chen Jianmin, Zhou Huidi, et al. Comparative investigation on the wear and transfer behaviors of carbon fiber reinforced polymer composites under dry sliding and water lubrication[J]. Compos Sci Technol, 2005, 65:1 139-1 147.
- [12] Duan Haitao, Wu Yimin, Wang Xuemei, et al. Study on the tribological properties of new water lubricated bearing materials[J]. Journal of Wuhuan University of Technology, 2012, 34(6):17-21.
- [13] Wang Youqiang, Zhang Lijing. Characteristics and Outline of Water-Lubricated Thordon Bearing[J]. Advanced Materials Research, 2012, 496:355-358.
- [14] 马艳红,郑保忠,韦良强. 聚合物/碳纳米管复合材料的研究进展[J]. 塑料, 2013, 42(5):1-4
- Ma Yanhong, Zheng Baozhong, Wei Liangqiang. Review of research on polymer / carbon nanotube composite[J]. Plastics, 2013, 42(5):1-4.

金明 Classicx 系列多层共挤薄膜吹塑机组

金明塑机一直引领着国内行业技术创新和最前端的制膜技术,其设备品质和工艺在一些领域已经达到甚至超过欧美品牌。

金明 Classicx 系列吹膜机组是金明优化现有机型产品推出的定制化和高产能的中高端机型。该机型满足客户对薄膜均匀度、透明度、挺度和韧性、产量等有较高要求的生产。Classicx 机型以标准配置为基础,可根据客户的实际生产加工需要和工艺条件进行定制化选配。

金明 Classicx 机型目前提供的非阻隔吹膜机型包括 3 层和 5 层两种结构,薄膜制品宽幅由 1 200 ~ 3 000 mm。金明 Classicx 机型的特点如下:

(1) 智能化控制技术应用,提高了生产管理技术,减少人工成本。

Classicx 机组具备一定的智能化控制,整机采用电脑集中控制,可根据客户需要安装金明最新的薄膜在线厚薄检测控制软件和远程生产实时监控管理软件。管理人员可实时通过电脑、手机对生产动态实时了解。

Classicx 系列机组稳泡器、人字夹板等均为电动调节,并且采用全自动双工位收卷,通过总线技术整合各个系统进行控制及监控,具有自动报警和自动诊断功能,减少了相关人力成本。

(2) 设备各系统采用最新技术,产能提升 40% 以上。

Classicx 机组是一款高效、高产能机型,金明目前在挤出系统、冷却系统、电气控制系统等采取最新的工艺技术,相比国内同行设备,产能提高 40% 以上。

挤出系统的螺杆为金明与世界知名原料商合作共同研发的专门针对 Classicx 系列机型的螺杆,螺杆采用分离型设计,确保在塑化过程中能够实现固液分离和低温挤出,挤出效率提升 30% 左右。

金明冷却系统标准配置双风口精密自动风环,自动风环为侧进风、风室大、分配盘的风阻低、压力损失小,冷却效率提升 30%。如果客户选配金明新一代高效冷却风环,高效冷却风环可沿模头的轴心进行垂直升降,由于多段出风,膜泡和空气接触面积大,冷却时间长,冷却效率可提升 40%~50%。

(3) 行业最先进的加工中心,核心部件欧洲进口,确保设

备持续工作的稳定性。

金明拥有行业最先进的加工设备,DMG 超大型五轴加工中心、Niles 数控精密磨齿机、Cincinnati 精密加工中心、NCS A 超大型高精龙门加工中心等确保设备零部件的加工精度和可靠性。

金明与国际知名部件供应商开展深入合作,传动部件和控制系统均采用欧洲进口产品,工作性能及部件工作寿命更可靠。

(4) 丰富的工艺配方数据库和系统平台仿真推演,确保薄膜更高的品质。

Classicx 系列经过 28 年的行业沉淀,并努力整合机械、电气、工艺等技术平台,借助信息化手段进行设备运行的仿真模拟推演,满足客户选择金明设备能够生产高品质薄膜的需求。

金明建立了完备的工艺配方数据库和原料流变数据库,在解决自身设备加工工艺的同时,致力于为客户提供最佳的配方解决方案,提供优化的薄膜品质配方。数据库以金明数十年的薄膜工艺经验为基础,并采集多家国际知名的原料商系统数据,可根据客户需要提供最佳配方组合。

(5) 设备采用模块化设计,可根据客户需要,实现柔性定制。

金明除了标准化机型外,借助金明公司在薄膜装备系统平台打造的 Classicx 系列机型具备更有弹性的定制化服务,针对供料系统、挤出系统、冷却系统、电气系统、收卷和一些辅机配套设备,均可根据客户实际生产需要进行增加、减少或更换配置等。

(6) 薄膜加工广泛适应性,满足高品质薄膜生产。

Classicx 系列机型的推出以高品质、高产量薄膜生产为目标,设备主要应用于高品质基材膜、热收缩膜、重包装袋膜、拉伸套管膜等高品质薄膜的生产。(工程塑料网)

威猛集团将展示新款全电动 EcoPower 注塑机

威猛集团(Wittmann)将在莫斯科博览会上展示其最新的洁净室技术——全电动 EcoPower 注塑机。

该机器配有一个清洁包,其中包括一个水冷却系统、电镀模具固定板,使用食品级的润滑油和一个特殊的洗涤剂。机器还带有一个层流框、一个次品分离器和一个封装的洁净室传送带。(工程塑料网)