

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2025.10.025

加工助剂对低熔体流动速率聚丙烯管材料性能影响

李春晖, 刘傲翔, 郑树松, 郝春波, 刘全中, 宁兴洋, 姚秀超, 姜翠, 于森, 李耀波

(北方华锦化学工业股份有限公司, 辽宁盘锦 124000)

摘要: 在低熔体流动速率聚丙烯(PP)管材料加工生产中, 由于存在PP熔体流动性不足、挤出过程模口积料以及制品表面光滑度欠佳等问题, 严重影响PP管材料产品的质量及生产效率。研究了加工助剂含氟聚合物(PPA)、芥酸酰胺以及两者复配对低熔体流动速率PP管材料挤出加工性能、力学性能、热性能及外观性能的影响, 旨在为优化该类材料的加工工艺和提升产品综合性能提供参考。结果表明, PPA在改善PP熔体流动性方面表现出显著优势, 熔体在口模处流动性能更好, 口模压力较纯PP树脂降低12%; 通过偏光显微镜观察发现, 添加PPA的试样表面更为平整, 粗糙度明显降低, PPA可有效减少模口积料现象, 使试样光泽度最高达87.5°; 芥酸酰胺未明显改善材料的力学性能、结晶性能和外观性能, 反而降低了材料的热稳定性; PPA通过在熔体之间形成低表面能氟碳链段, 增加链段取向规整度, 提升材料的力学性能、结晶性能、热稳定性和外观性能。PPA与芥酸酰胺复配可显著提高PP的加工性能, 同时也在一定程度上提升了拉伸性能, 但对其他性能的协同提升作用不显著。综上所述, 高熔点PPA对低熔体流动速率PP管材料综合性能的改善效果最优, 且与芥酸酰胺复配后对材料加工性能产生了显著的协同增效作用。

关键词: 加工助剂; 改性; 聚丙烯; 管材料; 挤出加工; 力学性能

中图分类号: TQ322 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2025)10-0204-08

Influences of processing aids on properties of low melt flow rate polypropylene pipe material

LI Chunhui, LIU Aoxiang, ZHENG Shusong, HAO Chunbo, LIU Quanzhong, NING Xingyang, YAO Xiuchao, JIANG Cui,
YU Miao, LI Yaobo

(North Huajin Chemical Industries Group Corporation, Panjin 124000, China)

Abstract : In the production and processing of low melt flow rate polypropylene (PP) pipe materials, problems such as insufficient PP melt fluidity, die buildup during extrusion, and poor surface smoothness of products restrict the product quality and production efficiency of PP pipe materials. The effects of processing aids, including fluoropolymer (PPA), erucamide, and their compound, on the extrusion processing performances, mechanical properties, thermal and appearance performances of low melt flow rate PP pipe materials were studied. The aim was to provide reference for optimizing the processing technology of such materials and improving their comprehensive product performances. The results indicate that the PPA shows significant advantages in improving PP melt flowability. The melt fluidity at the die is better, and the die pressure is significantly reduced by 12%. Through observation with a polarizing microscope, it is found that the surface of the sample with PPA added is smoother, the roughness is significantly reduced. PPA can effectively reduce the phenomenon of die buildup, resulting in a maximum glossiness of 87.5°. Erucamide does not significantly improve the mechanical properties, crystallization and appearance performances, on the contrary, the thermal stability is reduced. The PPA forms low surface energy fluorocarbon segments between melts, increases the regularity of segment orientation, and improves the mechanical properties, crystallinity, thermal stability, and appearance performances of PP resin. The compound of PPA and erucamide can significantly improve the processing performances of PP, and improve the tensile properties to a certain extent, but the synergistic effect on other properties is not significant. To sum up, PPA with high melting point has the best effect on improving the comprehensive performances of low melt flow rate pipe materials, and it can produce an obvious synergistic effect on the processing performances when it is compounded with erucamide.

Keywords : processing aids ; modification ; polypropylene ; pipe material ; extrusion processing ; mechanical property

通信作者: 郝春波, 研究员级高级工程师/工学学士, 从事高分子材料合成、改性及加工方面的研究

收稿日期: 2025-08-08

引用格式: 李春晖, 刘傲翔, 郑树松, 等. 加工助剂对低熔体流动速率聚丙烯管材料性能影响[J]. 工程塑料应用, 2025, 53(10): 204-211.

LI Chunhui, LIU Aoxiang, ZHENG Shusong, et al. Influences of processing aids on properties of low melt flow rate polypropylene pipe material[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(10): 204-211.

加工助剂是用于改善高分子聚合物加工性能的功能助剂,主要在高聚物熔融状态时发挥作用,起到内、外润滑剂的作用,提高材料流动性能,改善加工性能^[1-3]。含氟聚合物加工助剂(PPA)为含有氟原子的一类高分子聚合物加工助剂,在塑料挤出、吹塑加工过程中作为内润滑剂,可以促进熔体的流动性能,降低熔体间的摩擦系数^[4-6];芥酸酰胺作为外润滑剂,在产品成型过程中迁移至表面,降低树脂与设备间的摩擦系数,提升流动性能。低熔体流动速率聚丙烯(PP)管材料在挤出加工过程中,由于流动性差,容易出现流痕、裂纹等缺陷^[7]。添加加工助剂,可有效降低该类材料的熔体黏度,提升流动性能,消除熔体破裂情况,改善制品表面质量,提高管材的外观质量和使用性能^[8-10]。

韩朝昱等^[11]概述了聚合物加工助剂的作用原理,PPA应用在吹塑、挤出等领域,可有效消除模口积料,消除表面瑕疵,提高表面光泽度,降低晶点或凝胶等,有效改善低熔体流动速率树脂的加工性能;周立新等^[12]探究了氟聚合物加工助剂在高密度聚乙烯(PE-HD)挤出中的作用,发现PPA的加入可极大地降低体系的出口压力,降低熔体黏度,提升流动性,提高树脂挤出效率;薛巧男等^[13]探究了高分子薄膜添加剂对薄膜表面形态和光学性能的影响,发现PPA有效降低薄膜表面起伏,降低薄膜雾度,改善光学性能,同时降低薄膜摩擦系数,小尺寸芥酸酰胺也可起到一定的爽滑作用,提升熔体的流动性能。然而,现有研究多集中于单一加工助剂对聚合物材料加工性能的改善作用,尤其对低熔体流动速率管材料挤出加工性能的研究甚少。对于“内润滑+外润滑”复配体系在改善材料加工性能过程中的协同作用机制,尚未有深入且系统的探究。内润滑剂(如部分PPA)主要作用于熔体内部,通过降低分子间摩擦力来改善流动性;外润滑剂(如芥酸酰胺)则更多作用于熔体与加工设备界面,减少界面摩擦以优化加工过程。二者复配时如何通过协同效应进一步提升材料的综合性能,其具体的改善效果仍有待阐明。

基于此,笔者采用加工助剂PPA(FX5920和FX5911)、芥酸酰胺及这两类加工助剂复配改性低熔体流动速率PP管材料,考察加工助剂对低熔体流动速率PP管材料流动性能、力学性能及外观性能的影响,验证加工助剂对低熔体流动速率PP管材料挤

出加工性能的改善作用。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP:PPB240,优级品,北方华锦化学工业集团有限公司;

PPA:FX5920,低熔点PPA,白色颗粒,工业级,美国3M化学公司;

PPA:FX5911,高熔点PPA,白色颗粒,工业级,美国3M化学公司;

芥酸酰胺:INNOSLIP E,工业级,韩国派斯威尔有限公司;

抗氧剂1010(受阻酚类抗氧剂):Irganox 1010,巴斯夫有限公司;

抗氧剂168(亚磷酸酯类抗氧剂):Irganox 168,巴斯夫有限公司。

1.2 主要仪器及设备

双螺杆挤出机:EC30,南京越升挤出机械有限公司;

注塑机:CJ90M5CPC,广东震雄机械有限公司;

烘箱:SPH-200,日本大阪TABAL ESPEC公司;

恒温恒湿箱:SS-7123,东莞松恕仪器公司;

熔体流动速率(MFR)仪:bmf-001.02,德国ZWICK公司;

缺口制样机:GT-7016-A3,青岛高铁科技股份有限公司;

电子万能试验机:AT-7000M-HC3,青岛高铁科技股份有限公司;

数字型冲击试验机:GT-7045-NDLP,青岛高铁科技股份有限公司;

毛细管流变仪:CR-6000,青岛高铁科技股份有限公司;

偏光显微镜:Axio Lab. A1 POL,德国蔡司有限公司;

色差仪:CM-3600A,日本Konica Minolta公司;

差示扫描量热仪:DSC3,瑞士梅特勒仪器公司;

色度仪:C17800,美国X-rite公司;

热重(TG)分析仪:STARe,瑞士梅特勒-托利多集团有限公司。

1.3 试样制备

改性料的制备:按照表1所给定的配比,分别对各组分进行称量,随后放入高速混料机中搅拌至均匀状态,混合后的物料通过双螺杆挤出机完成挤出

表1 样品配方(质量分数)
Tab. 1 Formulations of samples (mass fraction)

Samples	PP	PPA (FX5920)	PPA (FX5911)	Erucamide	Irganox 1010	Irganox 168
Pure PP	99.70				0.1	0.2
PP/5920	99.66	0.04			0.1	0.2
PP/5911	99.66		0.04		0.1	0.2
PP/E	99.66			0.04	0.1	0.2
PP/5920/E	99.62	0.04		0.04	0.1	0.2
PP/5911/E	99.62		0.04	0.04	0.1	0.2

造粒工序,其工艺参数设定为挤出温度范围 180~240 ℃,主喂料频率 8 Hz,主机转速 180 r/min。

样条的制备:先将制备好的粒料置于 80 ℃鼓风干燥箱中处理 6 h,以去除其中的水分,随后进行注塑制样,注塑机的工艺参数设定为注塑温度控制在 220~230 ℃,注塑时间 20 s,保压压力 30 MPa,保压时间 30 s,冷却时间 30 s。

为防止 PP 原料在双螺杆挤出过程中老化降解,影响试验结果,故在各配方中添加相同量的主、辅抗氧化剂。

1.4 测试与表征

1.4.1 流变性能测试

材料的流变性能借助毛细管流变仪进行测定,先将设备升温至 220 ℃并恒温 30 min,随后称取约 10 g 试样进行测试,设置预热时间为 300 s,剪切速率控制在 100 s⁻¹。

1.4.2 MFR 测试

MFR 按照 GB/T 3682.1-2018 测试,测试条件为 230 ℃/21.6 kg。

1.4.3 力学性能测试

将所有制备完成的样条在恒温恒湿箱中静置 48 h 后进行性能测试。弯曲性能依据 ASTM D790-17 测试,每组使用 5 根样条,测试速率 3 mm/min;冲击性能参照 ASTM D256-10el 在 23 ℃常温环境下测试,冲击样条一侧中部铣有标准 V 型缺口(深度 2.45 mm),每组使用 10 根样条;拉伸性能按照 ASTM D638-22 测试,每组使用 5 根样条,测试速率 50 mm/min。

1.4.4 外观性能测试

黄色指数测试标准为 GB/T 39822-2021,光泽度测试标准为 GB/T 8807-1988;外观照片采用偏光显微镜测试,放大倍数 10 倍。黄色指数测试、光泽度测试使用 5 块样片。

1.4.5 结晶性能测试

取约 10 mg 样品,在氮气氛围下按照 GB/T 19466.3-2004 进行测试:先以 10 ℃/min 速率升温至 200 ℃,恒温 10 min 以消除热历史;再以 10 ℃/min 速率降温至 30 ℃,恒温 10 min,记录 PP 的结晶曲线。

1.4.6 TG 测试

取约 10 mg 样品,在氮气氛围下按照 GB/T 27761-2011 进行测试,升温速率 20 ℃/min,升温区间 30~900 ℃。

所有测试均进行平行试验(至少 3 次),结果取平均值±标准差。

2 结果与讨论

2.1 流变性能

2.1.1 加工助剂对 MFR 的影响

图 1 为纯 PP 及不同加工助剂改性 PP 管材料的 MFR。由图 1 可知,添加加工助剂后,树脂的 MFR 均有提升,PPA 对树脂流动性能的提升效果优于芥酸酰胺,而 PPA5911 与芥酸酰胺复配改性样品 PP/5911/E (FX5911 和芥酸酰胺质量分数均为 0.04%)效果最优,MFR 达 0.48 g/10 min。

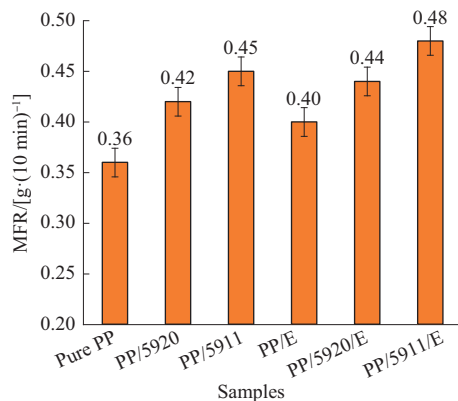


图1 纯 PP 及改性 PP 的 MFR

Fig. 1 MFR of pure PP and modified PP

PPA 与芥酸酰胺作用机制存在差异,芥酸酰胺作为外润滑剂通过在熔体表面形成润滑膜,提升流动性能,PPA 通过氟碳链的“滑动效应”降低熔体黏度,实现流动性能的改善^[4],PPA FX5911 熔点高于 FX5920,适用于高黏度、高分子量聚烯烃树脂,对于高加工温度(220~245 ℃)、高剪切的低熔体流动速率 PP 管材料,FX5911 作用效果更优,PPA FX5911 的高温稳定性和低添加量特性,可有效降低熔体黏度,显著增加流动性。

2.1.2 加工助剂对口模压力的影响

图 2 为在挤出温度 220 ℃、剪切速率 500 s⁻¹加

工条件下,纯PP和不同加工助剂改性PP管材料的口模压力变化曲线,口模压力反应了PP树脂在口模出口挤出时所受的阻力,阻力越小树脂加工性能越好。由图2可知,加入加工助剂后,PP树脂口模压力降低。PPA可有效改善PP熔体流动性能,口模压力较纯PP树脂降低12%,其中芥酸酰胺与含氟PPA复配改性效果最为显著,芥酸酰胺初期通过PP树脂进行表面润滑,提高流动性来降低口模压力,PPA后期借助于口模处的高温高剪切作用,形成摩擦系数低的含氟涂层来降低口模压力^[15-17]。

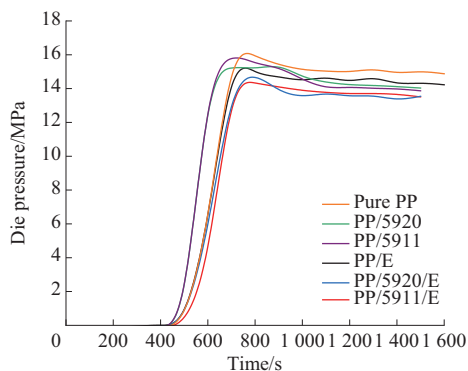


图2 纯PP及改性PP的口模压力

Fig. 2 Die pressure of pure PP and modified PP

2.2 加工助剂对加工性能的影响

图3为挤出机主机喂料量增加(即喂料频率增加)时,对纯PP和不同加工助剂改性PP管材料进行挤出加工时的主机电流变化曲线。主机电流与PP熔体黏度相关:熔体黏度越大,物料流动性越差,主机电流则会越大。由图3可知,随着喂料频率增加,主机电流均增加,其中纯PP样品变化最大,在22 Hz喂料负荷下,电流最大为35.1 A;对于加工助剂改性的PP样品,低负荷(6 Hz)运转时,主机电流相差不大,保持在29.3 A左右,随着主机喂料频率的增加,

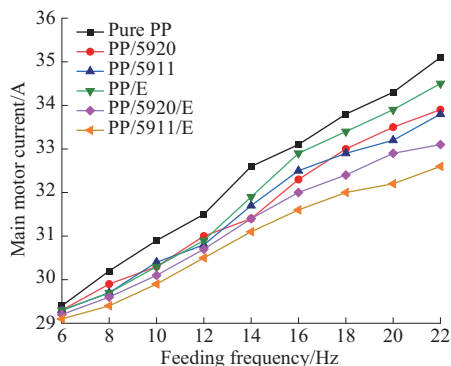


图3 纯PP及改性PP挤出加工时的主机电流

Fig. 3 Main motor current of pure PP and modified PP during extrusion process

芥酸酰胺改性样品的电流变化趋势大于PPA改性样品,在22 Hz喂料负荷下,PP/E(质量分数0.04%芥酸酰胺)样品的主机电流达34.5 A,PP/5911(质量分数0.04%FX5911)样品的主机电流为33.8 A。其中两种助剂复配改性PP/5911/E样品的主机电流最小,仅为32.6 A。

芥酸酰胺作为外润滑剂,主要通过表面润滑作用降低熔体与设备的摩擦力来降低主机电流,当高负荷运转时,芥酸酰胺润滑作用无法匹配熔体的流动速率,导致电流增加明显;PPA作为内润滑剂,主要通过改善分子间流动性来降低熔体黏度,降低主机电流。且高负荷作用下更能促进PPA在口模处形成低表面能的氟碳涂层。相较于芥酸酰胺,PPA的降阻(降低挤出阻力)效果更优,对主机电流的降低作用更明显,更能使材料体现出稳定的加工过程。当芥酸酰胺与PPA复配时,两者可形成“芥酸酰胺初期润滑+PPA后期长效降阻”的协同作用,显著降低主机电流^[18-20]。

图4展示了在喂料频率22 Hz条件下,经高负荷、高剪切作用挤出成型的PP纯料、PPA FX5911与芥酸酰胺复配改性PP(PP/5911/E)样条的偏光显微镜照片(放大10倍)。对比可见,纯PP树脂挤出样条表面存在明显粗糙感,且伴随挤出流痕;而PP/5911/E试样的挤出样条表面呈现光滑状态,无显著流痕。

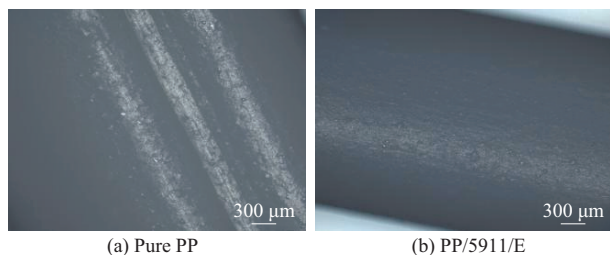


图4 高负荷、高剪切作用挤出成型的PP材料的微观形貌

Fig. 4 Micrograph of PP materials extruded under high load and high shear actions

2.3 加工助剂对力学性能的影响

图5为纯PP和不同加工助剂改性PP管材料的弯曲模量与缺口冲击强度。PP纯料的弯曲模量为1 119 MPa,添加芥酸酰胺后,PP树脂的弯曲模量为1 122 MPa,说明芥酸酰胺对PP树脂弯曲模量影响较小,这是因为芥酸酰胺属于脂肪酸酰胺类润滑剂,主要通过降低表面摩擦提升树脂流动性,对PP树脂的本体结构影响甚微,因此无法改善其力学性能。过多添加反而造成“团聚”问题,易导致应力集

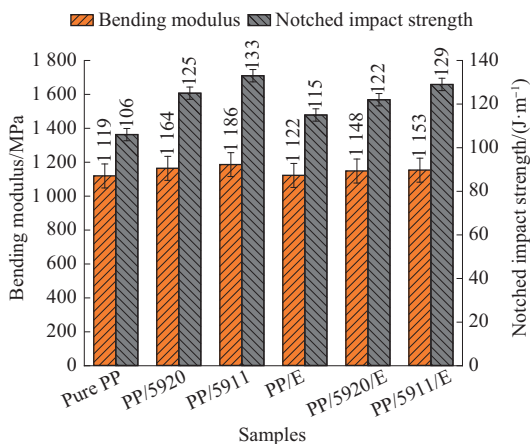


图5 纯PP及改性PP的弯曲模量和缺口冲击强度

Fig. 5 Bending modulus and notched impact strength of pure PP and modified PP

中,降低PP力学性能。与之不同的是,PPA通过在熔体之间形成低表面能氟碳链段,增加链段取向规整度,提升结晶度,改善PP树脂弯曲性能,其中PP/5911样品弯曲模量最大,为1186 MPa。

同样,PPA的加入,可以细化晶粒尺寸和改善表面缺陷,从而改善结晶性能和应力集中,提升缺口冲击强度,其中PP/5911样品缺口冲击强度最大,为133 J/m。两种加工助剂复配时样品的弯曲模量和缺口冲击强度高于单独使用芥酸酰胺的样品,低于单独使用PPA的样品,未能体现出显著的协同增韧增韧作用。

图6为纯PP和不同加工助剂改性PP管材料的拉伸屈服强度及断裂伸长率。由图6可知,PP纯料的拉伸屈服强度为28.45 MPa,断裂伸长率为481.5%;添加芥酸酰胺的PP/E样品的拉伸屈服强度为28.55 MPa,断裂伸长率为494.0%,表明作为外润滑剂的芥酸酰胺在适量添加时,对PP的拉伸强度及

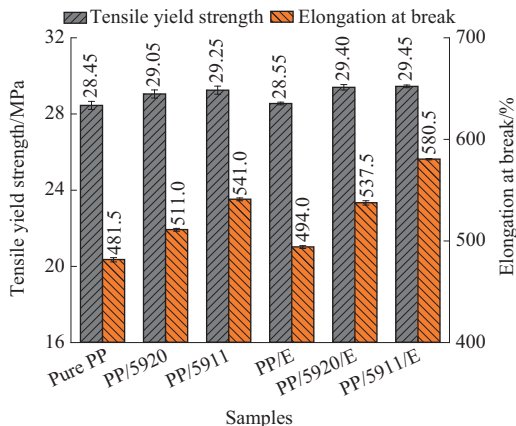


图6 纯PP及改性PP的拉伸性能

Fig. 6 Tensile properties of pure PP and modified PP

断裂伸长率无明显负面影响。作为内润滑剂的PPA,可有效细化PP晶区、减少内部缺陷,从而提升拉伸强度;同时,它能降低分子链间阻力,促进拉伸时的协同形变,进而提高断裂伸长率——添加PPA的PP/5911样品的拉伸屈服强度达29.25 MPa,断裂伸长率为541.0%。两者复配时,内外润滑剂互补,芥酸酰胺优化熔体表面,提升流动性,PPA细化内部结构,减少缺陷,协同减少拉伸时的应力集中^[21-22],使材料的拉伸屈服强度较单独添加时略有提升,而断裂伸长率提升较为明显,其中PP/5911/E样品拉伸性能最优,拉伸屈服强度为29.45 MPa,断裂伸长率为580.5%。

2.4 加工助剂对热性能的影响

2.4.1 结晶性能

图7为纯PP和不同加工助剂改性PP的结晶曲线,表2为获得的结晶数据。由表2可知,纯PP树脂结晶度为35.93%,结晶温度为122.44 °C,加入芥酸酰胺后,PP结晶性能变化甚微,结晶度为36.34%,结晶温度为121.19 °C。这是因为芥酸酰胺作为外润滑剂,通过在树脂表面形成润滑层提升树脂流动性,对PP结晶速率及异相晶核生成影响较小。

相比之下,加入PPA后,PP树脂结晶度、结晶温度均升高。其中,PP/5911样品的结晶性能最好,其结晶度达39.71%,结晶温度升至最高的129.14 °C。这是因为PPA的加入改变了PP树脂分子链的规整

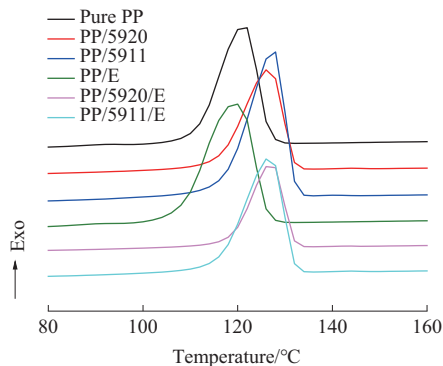


图7 纯PP及改性PP的结晶曲线(DSC测试)

Fig. 7 Crystallization curve of pure PP and modified PP (DSC test)

表2 PP非等温结晶参数

Tab. 2 Non-isothermal crystallization parameters of PP

Samples	Crystallinity/%	Crystallization temperature/°C
Pure PP	35.93±0.5	122.44±0.9
PP/5920	39.61±0.9	127.60±1.3
PP/5911	39.71±0.8	129.14±1.4
PP/E	36.34±1.1	121.19±1.5
PP/5920/E	38.14±0.6	127.97±0.8
PP/5911/E	38.75±0.7	128.05±1.1

性和相互作用,诱导异相晶核的生成,增加晶核数量,优化结晶性能,结晶度与结晶温度同步提升。两种加工助剂复配时,对PP的结晶性能没有表现出明显的协同提升作用。

2.4.2 热稳定性

通过对加工助剂及改性PP在氮气气氛下的TG分析,可以了解加工助剂对PP管材料的热稳定性影响。图8为氮气气氛下加工助剂芥酸酰胺、FX5911和FX5920,以及纯PP,PP/E,PP/5911,PP/5911/E试样的TG及DTG曲线。

芥酸酰胺热分解温度约为299.33℃,在PP加工温度(220~245℃)下已发生轻微分解,由于芥酸酰胺在高温下释放挥发性小分子,从而使PP/E试样初始分解温度低于纯PP。相比之下,PPA的热分解温度明显高于芥酸酰胺,其中FX5920的5%热失重温度为328.5℃,而FX5911的5%热失重温度最高,达402.33℃。凭借优异的高温稳定性,FX5911能有效减缓PP在挤出加工过程中的热分解,因此其改性的PP/5911试样热稳定性表现最优,5%热失重温度可达438.68℃。

表3为各加工助剂及改性PP试样在热失重过程中5%热失重温度($T_{5\%}$)、最大热分解速率温度($T_{\max}$)、800℃的残炭率等数据。从表3中800℃时的残炭率数据可以清晰看出,芥酸酰胺在高温下已几乎完全分解,残炭率极低,这与其热分解温度相对较低(约299.33℃)的特性相符。芥酸酰胺在PP加工温度(220~245℃)下即发生轻微分解,随着温度升至800℃,其分子结构已彻底被破坏并挥发,难以形成稳定的残余物。与之形成鲜明对比的是,FX5911在800℃时的残炭率最大,达到5.13%;相应地,经FX5911改性的PP/5911试样在800℃时的残炭率也最高,为0.57%。这一现象与PPA的分子结构特性密切相关,PPA分子中含有的强C—F键(键能约485 kJ/mol),其键能远高于C—C键(347 kJ/mol),高温环境下,C—F键不易断裂,使得PPA分子能够抵抗剧烈的热分解,部分结构得以保留并形成残炭;而当PPA与PP共混时,减少了PP分子链在高温下的彻底降解,从而使PP/5911试样也能保持相对较高的残炭率。同时可以看出,两种加工助剂复配后,PP/5911/E的 $T_{5\%}$ 和800℃的残炭率均低于PP/5911,说明相对于PPA,PPA和芥酸酰胺复配并未明显提升PP的热稳定性。

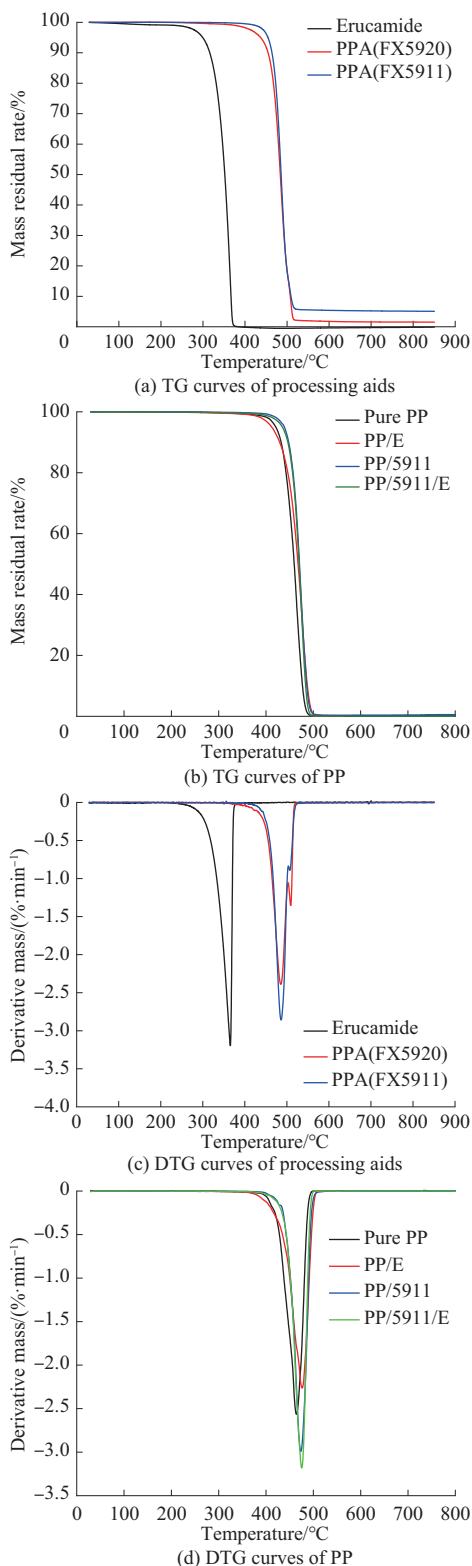


图8 氮气氛围下加工助剂与PP的TG和DTG曲线
Fig. 8 TG and DTG curves of processing aids and PP under nitrogen atmosphere

2.5 加工助剂对外观性能的影响

图9为纯PP和不同加工助剂改性PP的黄色指数与光泽度。由图9可知,PPA可改善PP树脂的光

表3 氮气氛围下加工助剂与PP的热失重数据
Tab. 3 Thermal decomposition data of processing aids and PP under nitrogen atmosphere

Samples	$T_{5\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{max}}/^{\circ}\text{C}$	Char yield at 800 $^{\circ}\text{C}/\%$
Erucamide	299.33±0.23	366.34±1.6	0±0.15
PPA(FX5920)	430.00±0.41	485.99±2.1	1.55±0.13
PPA(FX5911)	451.50±0.36	487.12±1.9	5.13±0.09
Pure PP	420.67±1.4	464.68±2.2	0.13±0.08
PP/E	412.01±1.3	475.34±2.1	0.04±0.05
PP/5911	438.68±2.0	473.16±1.7	0.57±0.01
PP/5911/E	434.33±1.4	476.46±1.4	0.03±0.06

Notes: $T_{5\%}$ is temperature of 5% weight loss; T_{max} is temperature of maximum thermal decomposition rate.

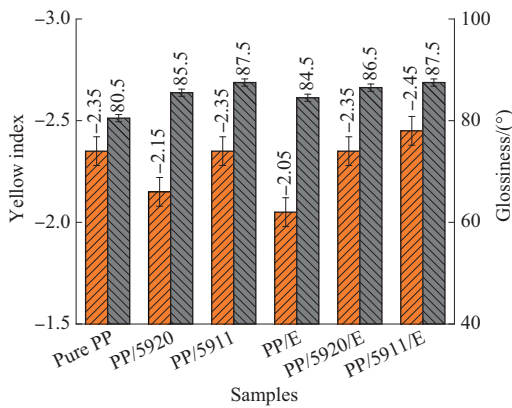


图9 纯PP及改性PP的外观性能

Fig. 9 Appearance performances of pure PP and modified PP

泽度,这是因为PPA的加入细化了PP球晶粒径,均化球晶尺寸,降低表面粗糙度,实现光泽度的提升,其中PP/5911样品光泽度高于PP/5920,达87.5°。这得益于PPA FX5911熔点高于PPA FX5920,且更适用于高黏度、高加工温度的PP树脂,减少加工过程中残炭杂质的生成,更好地解决模口积料的问题,从而提高产品的表面光洁度,增加光泽度。适量芥酸酰胺通过表面迁移,形成均匀润滑膜,填补PP表面因结晶不均产生的界面凹凸,降低表面粗糙度,在一定程度上提升光泽度,但改善效果不明显,光泽度仅为84.5°。当内润滑剂PPA FX5920与外润滑剂芥酸酰胺复配时,可结合“表面润滑填充”与“熔体流动优化”双重优势,进一步提升PP光泽度,但提升幅度较小,而PPA FX5911与芥酸酰胺复配时,PP光泽度与单独使用PPA FX5911时相同。

加工助剂对PP树脂的黄色指数影响甚微,适量的加工助剂不会对树脂黄色指数造成明显影响,均控制在-2.1左右。

3 结论

(1)芥酸酰胺可提高低熔体流动速率PP管材料

表面润滑性、降低摩擦力;PPA能提高PP熔体流动性、降低口模压力、改善、加工性能;二者复配通过内外润滑协同作用,效果最佳,可显著提升PP加工性能。

(2)芥酸酰胺对PP管材料力学性能、结晶性能及外观性能改善有限,并降低了材料的热稳定性,而PPA对PP的改性效果更优,可提升PP的力学性能、结晶性能、热稳定性与光泽度。

(3)芥酸酰胺与PPA复配可进一步提高PP的拉伸性能,同时,PPA FX5920与芥酸酰胺复配能进一步提升PP的光泽度,但提升幅度有限。

参考文献

- [1] 胡洪川,陈杰,刘强,等.不同种类助剂对高填充PVC管材力学性能的影响[J].聚氯乙烯,2023,51(5):13-16.
HU Hongchuan, CHEN Jie, LIU Qiang, et al. The effect of different types of additives on the mechanical properties of highly filled PVC pipes[J]. Polyvinyl Chloride, 2023, 51(5):13-16.
- [2] 马丽.聚丙烯流变性能的研究[J].现代塑料加工应用,2023,35(1):44-47.
MA Li. Research on rheological properties of polypropylene[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2023, 35(1):44-47.
- [3] 张宸,常诚,顾雪萍,等.管材用乙烯- α -烯烃共聚物的结构及合成工艺研究进展[J].塑料工业,2025,53(1):1-7.
ZHANG Chen, CHANG Cheng, GU Xueping, et al. Research progress on the structures and synthetic processes of ethylene- α -olefin copolymers for pipe applications[J]. China Plastics Industry, 2025, 53(1):1-7.
- [4] 王宁,赵贝,张娜,等.温度和含氟弹性体对LLDPE准稳态区影响[J].现代塑料加工应用,2008,20(4):4-7.
WANG Ning, ZHAO Bei, ZHANG Na, et al. Effect of temperature and fluoro elastomer on the relative stable extrusion section of LLDPE[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2008, 20(4):4-7.
- [5] 吴廷禄,刘忠仁.氟聚合物加工助剂在HDPE中的应用研究[J].塑料,2002,31(6):15-16, 60.
WU Tinglu, LIU Zhongren. Application of fluoropolymer additive in HDPE[J]. Plastics, 2002, 31(6):15-16, 60.
- [6] ANIUNOH K, HARRISON G M. The processing of polypropylene cast films. I. Impact of material properties and processing conditions on film formation[J]. Polymer Engineering and Science, 2010, 50(6):1 151-1 160.
- [7] 潘翔宇,李雪珊,党乐平,等.芥酸酰胺迁移对PP无纺布表面润湿性的影响[J].塑料工业,2023,51(6):146-152.
PAN Xiangyu, LI Xueshan, DANG Leping, et al. Effect of erucamide migration on surface wettability of pp non-woven fabrics [J]. China Plastics Industry, 2023, 51(6):146-152.
- [8] 王学军,庄心生,齐辉.薄膜爽滑剂芥酸酰胺研究进展[J].塑料工业,2022,50(7):1-5, 11.

- WANG Xuejun, ZHUANG Xinsheng, QI Hui. Research progress on erucamide as film slip agent[J]. China Plastics Industry, 2022, 50(7):1-5, 11.
- [9] 谢侃,张桂云,程志凌,等. 无规共聚聚丙烯管材料结构及性能研究[J]. 中国塑料, 2004, 18(12):21-25.
- XIE Kan, ZHANG Guiyun, CHENG Zhiling, et al. Research on structure and property of randomly polymerized polypropylene for pipes[J]. China Plastics, 2004, 18(12):21-25.
- [10] 杜斌,陈商涛,王宇杰,等. 高模量聚丙烯管材料的结构与性能[J]. 化工新型材料, 2019, 47(6):240-243.
- DU Bin, CHEN Shangtao, WANG Yujie, et al. Structure and property of high modulus polypropylene pipe material[J]. New Chemical Materials, 2019, 47(6):240-243.
- [11] 韩朝昱,陈军. 聚合物加工助剂的应用[J]. 化工新型材料, 2008, 36(7):83-84.
- HAN Chaoyu, CHEN Jun. Application of polymer processing aids [J]. New Chemical Materials, 2008, 36(7):83-84.
- [12] 周立新,王少辉,陈军,等. 氟聚合物加工助剂在HDPE挤出中的应用初探[J]. 塑料工业, 2006, 34(9):60-62.
- ZHOU Lixin, WANG Shaohui, CHEN Jun, et al. Preliminary study of application of fluoropolymer additive to extrusion of HDPE[J]. China Plastics Industry, 2006, 34(9):60-62.
- [13] 薛巧男,王元霞,史颖,等. 高分子薄膜添加剂对薄膜表面形态和光学性能的影响[J]. 塑料工业, 2021, 49(4):138-142, 31.
- XUE Qiaonan, WANG Yuanxia, SHI Ying, et al. Effects of polymer film additives on surface morphology structure and optical properties of thin films[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(4):138-142, 31.
- [14] SENTMANAT M L. Miniature universal testing platform: From extensional melt rheology to solid-state deformation behavior[J]. Rheologica Acta, 2004, 43(6):657-669.
- [15] 刘磊,柳和生,黄兴元,等. 等径异长毛细管口模的聚丙烯流变性能研究[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(4):48-52.
- LIU Lei, LIU Hesheng, HUANG Xingyuan, et al. Study on rheological properties of polypropylene melt in different capillary length die[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(4):48-52.
- [16] MAROUFKHANI M, GOLSHAN EBRAHIMI N. Melt rheology of linear and long-chain branched polypropylene blends[J]. Iranian Polymer Journal, 2015, 24(9):715-724.
- [17] DRABEK J, ZATLOUKAL M. Evaluation of thermally induced degradation of branched polypropylene by using rheology and different constitutive equations[J]. Polymers, 2016, 8(9). DOI: 10.3390/polym8090317.
- [18] 娄立娟,王艳芳,张丽洋,等. 高流动抗冲共聚聚丙烯相结构的流变学[J]. 合成树脂及塑料, 2017, 34(3):80-84.
- LOU Lijuan, WANG Yanfang, ZHANG Liyang, et al. Rheological study about phase structure of high flow impact PP[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2017, 34(3):80-84.
- [19] KRAJENTA J, LIPINSKA M, PAWLAK A. Influence of partial disentanglement of macromolecules on the rheological, thermal, and mechanical properties of polypropylene-polyethylene blends [J]. Molecules, 2025, 30(8). DOI:10.3390/molecules30081786.
- [20] 杨廷杰,任冬雪,程敏,等. 聚丙烯薄壁注塑制品白色条带现象解析[J]. 塑料工业, 2024, 52(11):122-128.
- YANG Tingjie, REN Dongxue, CHENG Min, et al. Analysis of white stripe phenomenon of polypropylene thin-walled injection molded products[J]. China Plastics Industry, 2024, 52(11):122-128.
- [21] UZAWA T, GOTO K, UOZUMI T, et al. Direct synthesis of high-melt strength polypropylene using the fourth generation heterogeneous Ziegler - Natta catalyst and commercial production process [J]. ACS Applied Polymer Materials, 2020, 2(5):1 827-1 838.
- [22] DAS V, PANDEY A K, TRIPATHI D N, et al. Melt elasticity and flow properties of polypropylene impact copolymer/polyolefin elastomer blends subjected to varied capillary extrusion conditions [J]. Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, 2021, 37(4):354-377.