

有机硅在塑料加工中的运用

许永昆 王 凯

鲁西化工集团股份有限公司 山东 聊城 252000

摘 要: 本文围绕有机硅材料在塑料加工领域的应用展开系统性研究,介绍了硅油、硅酮粉、硅烷偶联剂等常用有机硅材料的结构特性与功能优势。结合挤出、注塑、吹膜等主流塑料加工工艺,分析塑料制品加工缺陷与性能短板,阐释有机硅界面相容、流变调控、表面改性的核心机理。详述其作为加工助剂与改性填料的应用场景,探究工艺参数对改性效果的影响,总结生产常见问题及优化对策,为塑料改性提质增效提供可靠的技术参考。

关键词: 有机硅;塑料加工;运用

引言: 塑料材料凭借性价比高、成型性好的优势,广泛应用于民生、工业、电子、汽车等诸多领域。但传统塑料制品普遍存在熔体流动性差、成型易缺陷、耐磨耐候性弱等问题,难以满足高端工业严苛的使用要求。有机硅材料兼具无机结构稳定性与有机结构相容性,是优质的塑料改性材料。基于塑料加工的技术痛点,本文深入探究有机硅的改性原理、具体应用方式与工艺优化策略,推动改性塑料产业化高质量发展。

1 有机硅材料概述及塑料加工基础理论

1.1 常用有机硅材料种类及理化特性

(1) 硅油、硅酮粉、硅烷偶联剂核心结构以硅氧主链为骨架,兼具无机与有机结构特性。硅油为线性小分子结构,分子链柔顺、分子量分布均匀;硅酮粉是改性固态有机硅粉体,结构稳定、耐高温性强;硅烷偶联剂含亲水无机基团与疏水有机基团,可搭建无机填料与有机树脂的连接桥梁。(2) 有机硅橡胶具备优异的高低温耐受性、弹性与绝缘性,耐老化、耐候性能突出,可在严苛环境下保持稳定力学性能。有机硅树脂为三维网状交联结构,拥有良好的耐高温、阻燃、防潮及粘接性能,硬度高、稳定性强,适配高强度防护与成型场景^[1]。(3) 硅油多用于塑料润滑、脱模、熔体流动改性场景;硅酮粉适用于塑料耐磨、耐刮、增韧改性;硅烷偶联剂主要用于填料改性、界面优化;有机硅橡胶适配柔性塑料制品加工;有机硅树脂多用于塑料表面涂层、耐高温改性成型。

1.2 塑料加工核心工艺与性能短板

(1) 挤出工艺依靠螺杆剪切熔融物料,连续挤出定型;注塑工艺将熔融塑料高压注入模具,冷却固化成型;吹膜工艺通过压缩空气吹胀熔体,拉伸形成薄膜制品,三类工艺均依托熔体塑化、流动、冷却定型核心原理。(2) 通用塑料熔体流动性差、成型收缩率大,易出现翘曲、气泡等缺陷;工程塑料刚性强但熔融黏度高,加工

能耗大,低温成型易出现应力集中、充填不完整等加工问题。(3) 塑料成品普遍存在耐磨、耐温、抗老化性能不足的问题,同时表面附着力差、易划伤、绝缘性不稳定,部分制品韧性不足、低温易脆裂,难以适配高端工业使用场景,存在明确的性能改进需求。

1.3 有机硅改性塑料的基本原理

(1) 界面相容与键合作用机理:有机硅材料的双官能团结构可优化塑料与填料的界面相容性,通过化学键合与物理缠结消除界面空隙,提升体系结合紧密性,改善复合材料整体稳定性。(2) 熔体流变性能调控机理:柔顺的硅氧分子链可降低塑料熔体内部摩擦阻力,减小熔体黏度,优化熔体流动均匀性,改善加工流动性,有效解决塑料成型充填不均、加工能耗高的问题。(3) 表面改性 with 功能强化机理:有机硅组分可迁移至塑料制品表面,形成致密防护层,大幅提升制品耐磨、耐候、疏水、绝缘性能,同时补强材料力学特性,实现塑料制品多功能强化升级。

2 有机硅在塑料加工中的具体应用

2.1 有机硅作为加工助剂的应用

(1) 爽滑脱模剂:有机硅材料是塑料加工中优质的爽滑脱模助剂,其硅氧烷分子链可在塑料熔体与模具表面形成一层均匀、致密的超薄隔离膜。该隔离膜能够大幅降低熔体与模具金属面的摩擦系数,避免塑料熔体粘连模具。既可以有效防止制品脱模时出现撕裂、变形、粘模瑕疵,又能简化脱模工序,缩短单次成型周期,显著提升注塑、挤出等工艺的生产效率,同时可保证制品表面平整光洁,无脱模痕迹^[2]。(2) 消泡除气剂:塑料加工过程中,树脂熔体、填料水分及搅拌工序易混入空气,形成气泡、空洞、针孔等缺陷,严重影响制品外观与致密性。有机硅消泡除气剂具备低表面张力特性,可快速渗透至熔体气泡界面,破坏气泡膜的稳定性,促使

微小气泡聚集、合并并快速排出熔体。能够有效消除塑料熔体内部及表面气泡,提升制品密实度,优化产品外观平整度,降低因气泡导致的开裂、强度不足等质量问题。(3) 流变调节剂:多数塑料熔体在高温加工时黏度偏高,流动性差,易出现充填不均、出料不畅、能耗过高等问题。有机硅流变调节剂凭借柔顺的分子结构,可弱化塑料树脂分子间的缠绕作用力,有效降低熔体整体黏度。在不影响塑料制品基础力学性能的前提下,大幅改善熔体加工流动性与均匀性,适配复杂结构制品成型,减少加工缺陷,降低设备运行负荷与生产能耗。

2.2 有机硅作为改性填料的应用

(1) 增强填料相容性,改善无机填料分散性:塑料改性常添加碳酸钙、滑石粉、玻纤等无机填料,但无机填料与有机树脂极性差异大,易出现团聚、分层、界面剥离问题。有机硅改性填料具备双亲界面特性,可衔接无机填料与有机树脂界面,消除两相界面缺陷。同时可打散填料团聚颗粒,让无机填料均匀分散在树脂体系中,提升复合材料体系的稳定性与结合强度,改善制品整体均一性。(2) 提升塑料耐磨、耐刮擦物理性能:纯塑料制品表面硬度低、耐磨性差,使用过程中易出现划痕、磨损、掉粉等问题。添加有机硅改性填料后,其硬质稳定的分子结构可富集于制品表层,形成耐磨防护结构,有效提升制品表面硬度与抗摩擦能力。大幅降低塑料制品在摩擦、刮蹭工况下的损耗,延长制品使用寿命,适配家电外壳、塑胶配件等耐磨需求场景。(3) 优化塑料制品耐热、耐老化性能:普通塑料长期处于高温、光照、有氧环境中易发生分子裂解,出现发黄、变脆、性能衰减等老化现象。有机硅主链具备优异的热稳定性和抗氧化能力,改性后可在塑料内部构建稳定的耐热体系,抑制树脂分子热降解与光老化反应。有效提升塑料制品的耐高温性能与耐候性,让制品在户外、高温工况下可长期保持稳定性能^[3]。

2.3 有机硅复合改性塑料的成型应用

(1) 通用塑料(PE、PVC、PP)改性加工应用:PE、PP、PVC等通用塑料性价比高、应用广泛,但存在耐磨差、耐低温性不足、加工易粘连等短板。有机硅改性可改善其加工流动性,解决成型翘曲、粘模问题,同时提升材料耐低温、耐磨及疏水性能。改性后的通用塑料可广泛应用于日用塑胶制品、包装材料、管材等领域,大幅提升产品品质与适用范围^[4]。(2) 工程塑料(ABS、PC、聚氨酯)改性应用:ABS、PC、聚氨酯等工程塑料具备良好的力学性能,但存在耐候性差、表面易划伤、高温易变形等缺陷。通过有机硅复合改性,可在保留其高强度、

高韧性优势的基础上,提升材料耐磨、耐热、抗老化及绝缘性能,改善熔体加工缺陷,适配电子配件、汽车零部件、精密工业构件等高端应用场景。(3) 薄膜、管材、异形件专用改性工艺应用:针对塑料薄膜易粘连、透光性差、易破损问题,有机硅改性可提升薄膜爽滑性、透明度与抗撕裂性能;针对管材耐磨差、易老化、内壁阻力大的问题,可优化管材内壁流动性,提升防腐耐候性;针对结构复杂的异形件,可改善熔体充填性能,避免缺料、缩孔缺陷,保障异形件尺寸精度与成型质量。

2.4 有机硅包覆与叠加工工艺应用

(1) 有机硅包覆塑料基材的成型工艺:该工艺主要通过喷涂、浸涂、共挤包覆等方式,将有机硅材料均匀附着于塑料基材表面,经高温固化、冷却定型后形成一体化包覆层。工艺核心为控制包覆厚度与固化温度,保证有机硅层与基材紧密贴合,无空鼓、脱落现象,可实现对普通塑料基材的功能化升级,快速赋予基材耐磨、疏水、耐温、防腐特性。(2) 硅塑复合成型的工艺要点与优势:硅塑复合成型需精准把控熔体配比、挤出温度、复合压力及冷却速率,保障有机硅层与塑料基材界面充分键合,避免分层剥离。该工艺的核心优势是兼顾塑料基材的高强度、易成型、低成本特点与有机硅材料的耐候、耐磨、耐高温优势,复合制品综合性能优异,适配复杂严苛的使用环境,且工艺兼容性强、生产效率高,适配规模化工业生产。

3 有机硅改性塑料的性能影响及工艺优化

3.1 有机硅对塑料加工性能的影响

(1) 有机硅独特的柔性分子链能够削弱塑料树脂分子间的缠结作用,有效降低熔体整体黏度,显著改善熔体流动性能。在挤出、注塑加工过程中,熔体流动阻力减小,设备运行负荷随之降低,加工扭矩呈现平稳下降趋势。同时可改善熔体流动的均匀性,避免局部剪切应力过大的问题,让塑料塑化过程更加稳定。(2) 有机硅助剂可优化塑化效率,缩短熔体熔融、充填与冷却定型时间,有效压缩整体成型周期,提升生产节拍。同时其优异的润滑与相容作用,能够减少加工过程中熔体波动、出料不均、局部过热等异常情况,让连续化生产过程更加稳定,降低设备卡顿、停机调试的概率,适配工业化连续生产需求。(3) 未改性塑料加工易出现缺料、缩孔、气泡、翘曲、粘模等成型缺陷,制品合格率偏低。添加适量有机硅后,熔体充填性、脱模性大幅提升,可有效规避各类成型瑕疵,改善制品尺寸精度与表面平整度,显著提升塑料制品成型合格率,降低残次品产出,节约生产物料与时间成本。

3.2 有机硅对塑料制品使用性能的影响

(1) 在力学性能方面,有机硅改性可有效提升塑料韧性与抗冲击性能,缓解普通塑料低温脆裂、受力易断裂的缺陷。同时有机硅可在制品表面形成致密防护层,大幅提升材料耐摩擦、耐刮擦能力,减少长期使用过程中的磨损损耗,优化塑料制品整体力学稳定性与耐用性。(2) 在耐候性能方面,有机硅主链键能高、结构稳定,具备极强的耐高温、抗紫外老化能力。改性后可抑制塑料树脂在高温、紫外线照射环境下的分子裂解与氧化反应,减缓制品发黄、变脆、性能衰减速度,有效提升塑料制品的耐热性、耐候性与使用寿命,适配户外、高温等复杂工况。(3) 在功能性能方面,有机硅材料本身绝缘、疏水、爽滑特性优异,改性后可优化塑料制品表面状态。既能提升材料电气绝缘性能,满足电工塑胶制品使用需求,又能增强表面疏水性、抗粘附性,降低表面摩擦系数,让制品具备更好的爽滑防尘、防水防污功能^[5]。

3.3 关键工艺参数优化研究

(1) 有机硅添加比例是影响改性效果的核心因素。低添加量下改性效果有限,无法充分改善加工与使用性能;适宜添加量可实现熔体流动性、制品功能性的最优提升;过量添加则易出现分子析出、相容性下降等问题,因此需根据塑料品类与使用需求精准控制添加比例。(2) 加工温度与螺杆转速直接影响硅塑复合效果。温度过低会导致树脂塑化不完全,有机硅分散不均;温度过高易造成有机硅热分解、材料老化。转速过低混炼不充分,转速过高易产生剪切过热、物料降解,需匹配合理温区与转速,保障硅塑均匀复合。(3) 混炼时间决定填料分散效果与界面结合强度。混炼时间不足,无机填料易团聚,有机硅与树脂界面键合不充分;混炼时间过长易引发物料降解、能耗增加,合理的混炼时间可实现填料均匀分散,强化界面结合力,提升复合材料整体性能。

3.4 加工应用中的常见问题及解决对策

(1) 有机硅添加过量或分散不均时,易在制品表面

析出,造成发黏、雾化、纹路不均等瑕疵。可通过严控添加比例、优化混炼工艺提升分散均匀性,搭配相容剂辅助改性,同时调整成型温度,减少有机硅迁移析出,改善制品表面质量。(2) 有机硅与塑料树脂极性差异易引发相容性不足,出现材料分层、性能不均、局部强度偏差等问题。可通过添加专用相容助剂、对有机硅进行接枝改性的方式,强化两相界面结合,提升体系均匀性,解决性能波动、分层剥离问题。(3) 高有机硅添加量虽能提升功能性能,但会破坏塑料原有分子结构稳定性,导致拉伸、弯曲等力学性能衰减。可采用有机硅复合改性体系,搭配增韧补强填料,优化配比与工艺参数,在保留改性优势的同时,弥补力学性能短板,实现性能平衡。

结束语

综上所述,有机硅材料在塑料改性加工中发挥着至关重要的作用,既能优化熔体流变性能、降低加工能耗、提升生产合格率,又能全面强化塑料制品耐磨、耐热、抗老化、绝缘等综合性能。合理把控有机硅添加比例、加工温度与混炼时间,可有效解决析出、分层、力学性能衰减等问题。未来持续优化复合改性工艺,能够进一步拓展改性塑料的应用场景,助力塑胶行业向高端化、高性能化方向发展。

参考文献

- [1]廖杰,陈学思.有机硅改性聚碳酸酯研究进展[J].中国塑料,2024,38(7):81-86.
- [2]全一武,李想.甲基硅油和二甲苯基甲苯改性SEBS/PP共混物的憎水和绝缘性能[J].塑料工业,2025,53(2):147-153.
- [3]张莉,王健,刘敏.有机硅核壳粒子改性PVC的加工与力学性能[J].塑料,2023,52(4):89-93.
- [4]沈其虎,钟金城.硅橡胶泡沫材料硫化体系调控泡孔结构与力学性能的研究进展[J].复合材料学报,2025,42(2):589-605.
- [5]周成飞,曹巍.聚硅氧烷类加工助剂在聚烯烃中的应用进展[J].合成树脂及塑料,2022,39(5):78-83.