

# 车用耐刮擦聚丙烯材料的制备及其性能研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2020.02.004

彭思梅<sup>1</sup> 冯建湘<sup>1</sup>

刘跃军<sup>1</sup> 雷鑫<sup>1</sup>

罗林园<sup>1</sup> 毛龙<sup>2</sup>

1. 湖南工业大学

先进包装材料与技术

湖南省重点实验室

湖南 株洲 412007

2. 厦门理工学院

材料科学与工程学院

福建 厦门 361024

**摘要:** 车用聚丙烯(PP)在使用中易受到刮伤从而影响产品美观及使用性能。研究PP耐刮擦性能的影响因素,改善PP耐刮擦性能是满足车用耐刮擦PP市场需求的重要前提。以PP为基材,探究了4种不同作用机理的耐刮擦剂(芥酸酰胺、硅酮母粒、滑石粉和聚硅氧烷)对PP力学性能、热性能、结晶性能和耐刮擦性能的影响,并利用偏光显微镜和超景深三维显微镜观察PP材料刮擦表面的形貌。结果表明:4种耐刮擦剂使部分PP材料的冲击强度或弯曲强度显著提高,但拉伸强度均小幅度降低;芥酸酰胺、硅酮母粒和聚硅氧烷不改变PP的结晶形貌和结晶行为,滑石粉则破坏PP的结晶性能;4种耐刮擦剂均降低PP的摩擦系数和色差值( $\Delta L$ ),改善其耐刮擦性能,其中聚硅氧烷不仅能改善PP的耐刮擦性能,其 $\Delta L$ 下降约89%,并能有效抑制PP的析出发黏和发白现象。

**关键词:** 聚丙烯(PP); 聚硅氧烷; 耐刮擦性能; 摩擦系数

**中图分类号:** TQ325.1<sup>+</sup>4 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2020)02-0022-08

**引文格式:** 彭思梅,冯建湘,刘跃军,等. 车用耐刮擦聚丙烯材料的制备及其性能研究[J]. 包装学报, 2020, 12(2): 22-29.

## 1 研究背景

随着经济的发展和人们生活水平的不断提高,汽车的普及率越来越高,人们对汽车的美观度、舒适度、安全性等提出更高的要求<sup>[1-2]</sup>。聚丙烯(polypropylene, PP)作为五大通用塑料之一,因其密度小、性价比高,具有优异的耐热性、耐腐蚀、易加工成型和可回收等特性<sup>[3-5]</sup>,成为车用塑料的首选材料。但PP制品在使用过程中容易受到硬物或尖物刮伤,使其表面

产生裂痕或脆性破坏,从而降低制品的美观度<sup>[6-7]</sup>;同时,制品表面形成的划痕也易形成应力集中,降低材料的使用性能<sup>[8]</sup>;添加剂的使用也会使PP制品在长时间高温、紫外等条件下产生析出、发黏现象,从而影响制品的美观和舒适度,以上因素都限制了PP在汽车行业的应用。

国内外学者对PP的耐刮擦性能和抗析出发黏特点开展了大量研究,大致包括以下3个方面。1)通过调节PP的结晶度和结晶质量来提高PP材料的耐

收稿日期: 2019-11-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11872179, 51805524), 福建省科技计划基金资助项目(2018H6024), 湖南省自然科学基金资助项目(2018JJ4072), 石化新材料与资源精细利用国家地方联合工程实验室开放基金资助项目(KF201806)

作者简介: 彭思梅(1996-), 女, 湖南娄底人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为高分子改性加工,

E-mail: sm\_peng2610@163.com

通信作者: 刘跃军(1970-), 男, 湖南攸县人, 湖南工业大学教授, 主要从事包装新材料与技术方面的研究,

E-mail: liuyuejun@hut.edu.cn

刮擦性能。但结晶度的提高会使 PP 韧性下降, 无法满足车用 PP 的基本使用要求。2) 在聚合物基材表面喷涂油漆。此方法成本高、不环保, 且油漆喷涂散发的有害物质会危害人体健康。因此以上两种方法应用较少。3) 通过加入耐刮擦剂或助剂来降低 PP 的表面摩擦系数或提高 PP 的结晶度, 进而改善 PP 的耐刮擦性能。此方法不仅能改善 PP 的耐刮擦性能, 且添加剂来源广、成本低。如 Xiang C. 等<sup>[9]</sup>通过在 PP 共聚物/填料中添加聚硅氧烷, 使得材料表面的摩擦系数变小, 抗刮擦性能提高; 孟成铭等<sup>[10]</sup>研究发现, 添加质量分数为 5% 的反应型聚硅氧烷可使产品表面刮擦后的色差 ( $\Delta L$ ) 由 3.23 降至 0.81, 约降至原来的 1/4, 可制备出耐刮擦性能优异的 PP 汽车零部件; 庞承焕<sup>[11]</sup>研究了道康宁有限公司生产的 PP 材料, 并分析不同含量聚二甲基硅氧烷对 PP 耐刮擦性能的影响, 结果表明随着聚二甲基硅氧烷添加量的增加, 材料划伤前后的  $\Delta L$  逐渐减小, 耐刮擦性能也随之增强, 当聚二甲基硅氧烷质量分数为 6% 时, PP 材料的  $\Delta L$  降低到 0.46, 肉眼看不到划痕发白的现象。

目前关于 PP 材料的耐刮擦性能研究仅限于将单一耐刮擦剂或不同比例的耐刮擦剂添加到 PP 基材中, 未对不同种类的耐刮擦剂进行综合研究。而不同种类的耐刮擦剂有着不同的作用机理, 对 PP 耐刮擦性能的改善程度也不相同, 因此对不同种类耐刮擦剂的作用机理和效果进行研究具有重要意义。本研究主要选取 4 种不同作用机理的耐刮擦剂 (芥酸酰胺、硅酮母粒 (MB50-001)、滑石粉和聚硅氧烷 (Tegomer V-Si 4042)), 研究耐刮擦剂对 PP 材料耐刮擦性能、力学性能和热性能的影响, 并分析影响 PP 耐刮擦性能的因素和机理, 以期拓展耐刮擦 PP 材料的市场应用提供一定的理论参考。

## 2 实验部分

### 2.1 实验材料

PP, PPH-T03, 中国石油化工股份有限公司长岭分公司; 芥酸酰胺, 江西智联塑化科技有限公司; 硅酮母粒, MB50-001, 载体树脂为 PP, 道康宁有限公司; 滑石粉, 2500 目, 市售; 聚硅氧烷, Tegomer V-Si 4042, 赢创德固赛 (中国) 投资有限公司。

### 2.2 实验仪器及设备

挤出机, CTE 35 PLUS 型, 科倍隆 (南京) 机械有限公司; 注塑机, MA860/260G 型, 海天塑机集

团有限公司; 万能试验机, CMT4104 型, 深圳新三思材料检测有限公司; 冲击试验机, PIT550J-2 型, 深圳新三思材料检测有限公司; 摩擦/剥离实验测定仪, FPT-F1 型, 济南兰光机电技术有限公司; 十字刮擦仪, Model 430P 型, 德国 Erichsen 公司; 色差仪, C17800 型, 美国 X-rite 仪器有限公司; 扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM), Phenom G2 pro 型, 美国 FEI 公司; 偏光显微镜, DM2500P 型, Leica 显微系统有限公司; 差示扫描量热仪 (differential scanning calorimeter, DSC), Q20 型, 美国 TA 仪器公司; 摩擦系数/剥离试验仪, FPT-F1 型, 济南兰光机电技术有限公司; 超景深三维显微镜, VHX-6000 型, 基恩士有限公司。

## 2.3 实验方法

### 2.3.1 试样制备

以 PP 为基材, 将其分别与芥酸酰胺、硅酮母粒、滑石粉和聚硅氧烷按表 1 所示的配料比混合均匀 (表 1 中 1#~5# 分别代表 PP、PP/芥酸酰胺、PP/硅酮母粒、PP/滑石粉、PP/聚硅氧烷, 下同); 再将物料加入同向双螺杆挤出机中, 设置参数 (主机螺杆转速 200 r/min, 螺杆段温度范围 170~205 °C, 机头温度 205 °C), 挤出, 再经切粒机造粒; 然后将物料放入 80 °C 鼓风干燥箱中烘 10 h, 以去除水分; 最后, 利用注塑机得到 PP 样条, 并对 PP 粒料和样条进行一系列综合性能测定。

表 1 各组分的物料配比

Table 1 Material ratio of each component

试样编号	原料质量配比	
	PP	添加剂
1#	100	0
2#	100	3
3#	100	3
4#	100	20
5#	100	0.25

### 2.3.2 测定与表征方法

1) 力学性能。PP 样条的拉伸强度是利用万能试验机, 参照 GB/T 1040.1—2018《塑料 拉伸性能的测定 第 1 部分: 总则》中的方法进行测定, 每组样品平行测试 5 个样条, 取平均值; 弯曲强度是利用万能试验机, 参照 GB/T 9341—2008《塑料 弯曲性能的测定》中的方法进行测定, 每组样品平行测试 5 个样条, 取平均值; Izod 缺口冲击强度是利用悬臂梁冲击试验机, 参照 GB/T 1043.1—2008《硬质塑料简支梁冲击试验方法》中的方法进行测定, 每组样品平行测试

10 个样条, 取平均值。

2) 摩擦系数。利用摩擦系数/剥离试验仪, 参照 ISO 8295—1995《塑料 薄膜和薄板 摩擦系数的测试》中的方法测定 PP 材料的表面摩擦系数。

3) 耐刮擦性能。参照德国大众汽车的标准 PV3952《塑料内饰件 耐划伤测试》中的方法对 PP 试样的耐刮擦性能进行测定。选取 Erichsen 直径为 1.0 mm 的刮擦头, 刮擦负荷为 10 N, 刮擦速度为 1000 mm/min, 刮痕间距为 2 mm, 刮痕长度为 40 mm, 对试样纵横向各刮 20 道划痕, 用色差仪测定试样刮擦前后的色差值。

4) 热性能。利用差示扫描量热仪测定 PP 试样的热性能, 具体操作方法如下: 在  $N_2$  气氛下, 以  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  的升温速率从  $-55\text{ }^\circ\text{C}$  升到  $250\text{ }^\circ\text{C}$ , 恒温 5 min 以消除热历史, 然后以  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  的速率降温至  $-55\text{ }^\circ\text{C}$ , 恒温 15 min, 再以  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  的速率升温至  $250\text{ }^\circ\text{C}$ , 得到试样的升温 and 降温曲线。

5) 结晶性能。采用 DM2500P 型偏光显微镜观察 PP 的球晶形貌, 具体方法如下: 将试样置于热台上, 并以  $40\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  升温速率从室温升至  $200\text{ }^\circ\text{C}$ , 恒温 5 min, 采用热压制膜法制备试样压片; 再以  $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  的速率降温到  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , 恒温 4 min, 选取合适的试样利用显微镜观察材料的结晶状态。

6) 表观形貌。利用扫描电子显微镜观察 5 种 PP 试样的冲击断面; 利用偏光显微镜和超景深三维显微镜观察试样刮痕的表面形貌, 并测试刮痕波谷深度。

## 3 结果与讨论

### 3.1 力学性能

不同种类的耐刮擦剂有着不同的作用机理, 本研

究选取 4 种不同的耐刮擦剂, 分析其对 PP 力学性能的影响, 结果如表 2 所示。

表 2 PP 试样的力学性能

Table 2 Mechanical properties of PP samples

试样编号	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %	冲击强度 / MPa	弯曲强度 / MPa
1#	$40.2 \pm 0.9$	$242.5 \pm 17.1$	$48.0 \pm 0.8$	$48.3 \pm 1.0$
2#	$36.5 \pm 0.5$	$254.8 \pm 13.9$	$65.4 \pm 0.5$	$44.6 \pm 0.4$
3#	$37.6 \pm 0.8$	$177.3 \pm 4.9$	$69.9 \pm 0.9$	$49.6 \pm 0.3$
4#	$38.3 \pm 1.3$	$127.8 \pm 8.6$	$48.8 \pm 0.4$	$57.4 \pm 1.0$
5#	$38.4 \pm 0.6$	$250.2 \pm 24.8$	$56.1 \pm 0.4$	$49.1 \pm 0.6$

从表 2 中可以看出, 相比于纯 PP, 添加耐刮擦剂的试样 (2#~5#) 的拉伸强度均略有下降, 冲击强度有所提升, 弯曲强度则整体提升不明显还出现下降趋势 (除 4# 外)。其中 2# 拉伸强度和弯曲强度损失在 10% 左右, 但冲击强度显著提高, 这是因为芥酸酰胺是有机小分子添加剂, 在基材中充当增容剂的作用, 使材料的拉伸强度降低, 但韧性显著提升; 3# 冲击强度提高约 45%, 但拉伸和弯曲强度变化不大, 这是因为硅酮母粒 (载体树脂为 PP) 的添加使基材中所含 PP 的质量分数上升, 同时添加的硅酮母粒使 PP 之间的相容性更好, 增强 PP 分子链间的堆砌, 从而使制品的硬度得到提高; 4# 弯曲强度改善最为显著, 提高近 19%, 这是因为滑石粉的加入破坏 PP 分子链的规整度, 使聚合物基材的柔韧性更好, 且滑石粉的片层结构及高模量, 促使 PP 的弯曲强度显著增强; 5# 冲击强度和断裂伸长率均提高, 这是因为聚硅氧烷作为润滑剂, 增加了 PP 分子链的柔顺性。

### 3.2 断面形貌

利用 SEM 对 5 种 PP 试样的冲击断面进行表征, 得到的 SEM 图如图 1 所示。

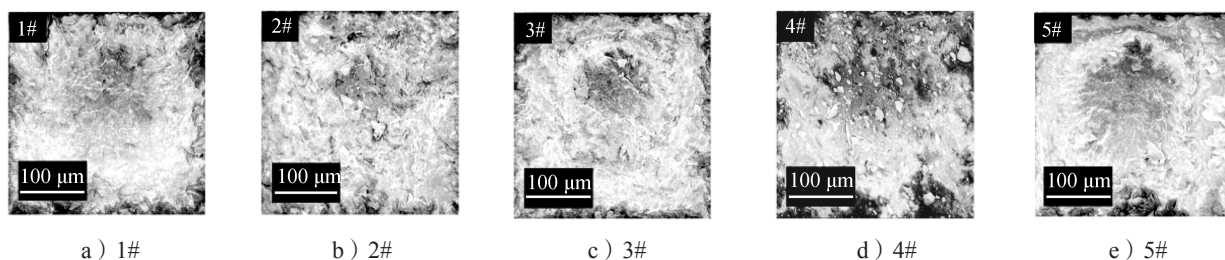


图 1 PP 试样的冲击断面 SEM 图

Fig. 1 SEM image of impact section of PP samples

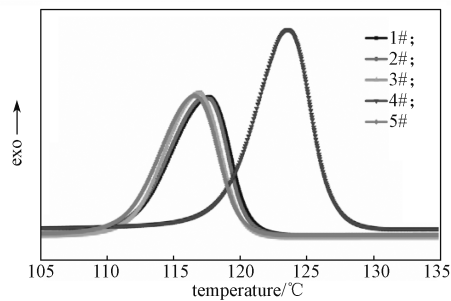
如图 1 所示, 2# 断面相较于 1# 的更粗糙, 裂纹更多, 这说明 2# 试样在受到冲击时, 应力集中较小,

使得 PP 韧性增加, 材料的抗冲击性能提高; 3# 添加硅酮母粒的 PP 两界面之间没有缝隙, 界面较为光滑,

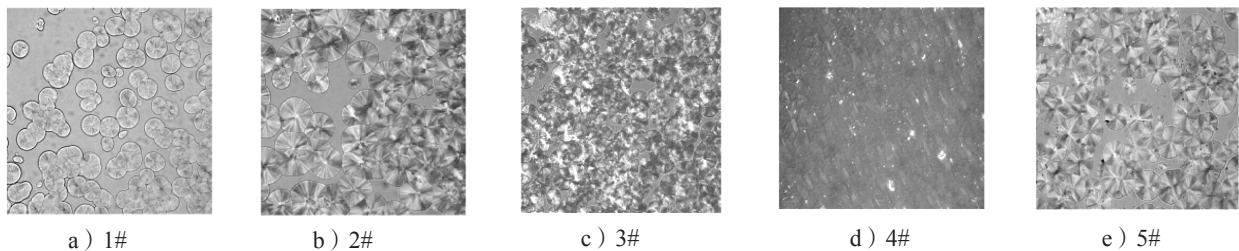
这是因为硅酮是一种大分子量的润滑剂, 能提高 PP 分子链的润滑性, 改善 PP 基材的相容性; 4# 能看到无机粒子滑石粉和 PP 基材界面之间有缝隙存在, 相容性较差; 5# 断面较 1# 粗糙, 裂纹较多, 表明聚硅氧烷与 PP 基材相容性好, 从微观结构也侧面佐证聚硅氧烷能够有效改善 PP 的抗冲击性能。

### 3.3 热性能与结晶性能

利用 DSC 对 5 种 PP 试样的热性能及结晶性能进行测定, 再利用偏光显微镜观察 5 种 PP 试样的结晶行为, 得到 PP 试样的 DSC 曲线图及结晶行为的偏光显微镜图, 如图 2~3 所示。



a) 降温曲线



a) 1#

b) 2#

c) 3#

d) 4#

e) 5#

图 3 PP 试样结晶行为的偏光显微镜图

Fig. 3 Polarizing microscope diagram of crystallization behavior of PP samples

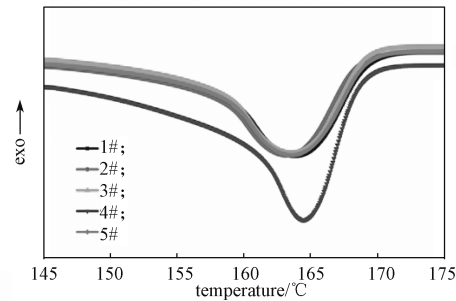
由图 3 可以看出, 相比于纯 PP, 4# 基本看不到结晶现象, 而 2#、3# 和 5# 的晶体尺寸变化不大, 晶体形态较完整, 但黑十字消光现象减弱, 这是由 PP 结晶度的小幅度降低引起的。5# 的结晶行为影响最小, 这是因为聚硅氧烷添加量较少, 且表面张力小, 分子链易迁移到 PP 基材表面, 因此其对 PP 的结晶行为基本无影响。偏光显微镜所观察到的现象进一步验证了 DSC 所得到的结论。

### 3.4 摩擦系数

利用摩擦系数 / 剥离试验仪对 5 种 PP 试样的表面进行摩擦实验, 所得的摩擦系数如表 3 所示。

表 3 PP 试样的表面摩擦系数

试样编号	1#	2#	3#	4#	5#
摩擦系数	0.107	0.078	0.091	0.084	0.091



b) 第二次升温曲线

图 2 PP 试样的 DSC 曲线图

Fig. 2 DSC curve of PP sample

从图 2 可以看出, 试样 2#、3# 和 5# 的结晶峰和熔融峰与纯 PP 的几乎重合, 而 4# 因加入了无机粒子滑石粉, 其结晶峰、熔融峰均向高温方向偏移, 且结晶峰、熔融峰的峰面积相比于纯 PP 均有所增大, 由此说明滑石粉的加入使 PP 材料发生相转变所需要的能量更多; 除 4# 外, 2#、3# 和 5# 的结晶温度基本不变, 熔点也相近, 结晶度略有降低, 由此说明其它 3 种添加剂对 PP 的热性能及结晶性能影响不大。

图 3 为 PP 试样结晶行为的偏光显微镜图片。

从表 3 可以看出, 相比纯 PP, 加入耐刮擦剂 PP 的摩擦系数均有下降, 其中 2# 的摩擦系数最小, 这是因为芥酸酰胺表面张力小, 易迁移到 PP 制品表面形成蜡层, 从而减小 PP 的摩擦系数<sup>[12]</sup>; 但添加芥酸酰胺的制品长期暴露在紫外条件下时, 芥酸酰胺会在制品表面高浓度积聚, 产生析出发黏现象, 影响材料美观和使用性能<sup>[13-14]</sup>, 因此市场上芥酸酰胺逐渐被其它耐刮擦剂所替代; 4# 摩擦系数改善不明显是因为 PP 的结晶被破坏, 制品硬度减小, 摩擦系数下降; 而 3# 和 5# 的摩擦系数得到改善是因为 PP 中的耐刮擦剂为硅酮和聚硅氧烷, 其表面张力小, 易迁移到材料表面形成一层润滑膜, 从而降低摩擦系数<sup>[15]</sup>。

### 3.5 耐刮擦性能

利用色差仪对 5 种 PP 试样刮擦前后的色差值进行测定, 并利用偏光显微镜及超景深三维显微镜观察

5种PP试样刮擦后的表现形貌,分析4种不同的耐刮擦剂对PP材料耐刮擦性能的影响。

### 3.5.1 色差值

表4为5种PP试样刮擦前后的色差值。通过对比PP试样的色差值,分析不同耐刮擦剂对PP材料耐刮擦性能的影响。

表4 PP试样的色差值

Table 4 Color difference of PP samples

试样编号	1#	2#	3#	4#	5#
$\Delta L$	4.44	0.16	0.54	2.51	0.49

从表4可以看出,相比纯PP,耐刮擦剂的加入使PP试样的 $\Delta L$ 值减少,耐刮擦性能提高,其中2#的 $\Delta L$ 值相比于纯PP的降低了约96.4%,耐刮擦性能得到明显改善,但当长期暴露在紫外条件下,2#

材料表面的发黏现象会影响制品的美观和使用性能而被淘汰;3#和5#的 $\Delta L$ 值相较于纯PP分别降低了约87.8%和89.0%,这是因为硅酮母粒和聚硅氧烷表面张力较小,分子链易迁移到材料的表面,形成一层润滑膜<sup>[16]</sup>,降低PP制品的摩擦系数,进而改善其耐刮擦性能。

### 3.5.2 偏光显微镜图

图4为5种PP试样刮擦后表面的偏光显微镜图。从图4可以看出,相比于1#,2#、3#和4#刮擦后的刮痕印迹明显,色差较大,刮痕的泛白现象并无改善;5#的刮擦区域刮痕印迹较浅,色差变化不大,没有明显的泛白痕迹,进一步证明聚硅氧烷能明显改善PP的耐刮擦性能和发白现象,聚硅氧烷的添加可以制备出具有优异耐刮擦性能的车用PP制品。

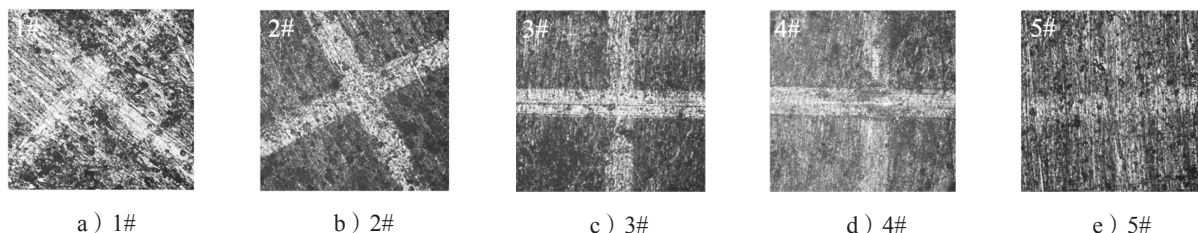


图4 PP试样刮擦后表面的偏光显微镜图

Fig. 4 Polarized microscope image of the surface of PP sample after scratching

### 3.5.3 超景深三维显微镜图

图5为5种PP试样经刮擦后,用超景深三维显微镜拍出来的二维、三维显微图。表5为PP试样刮擦后的波谷深度,即图5中第3列刮擦后的三维图刮脊-谷高度与第4列刮擦后的三维图刮脊高度之差。

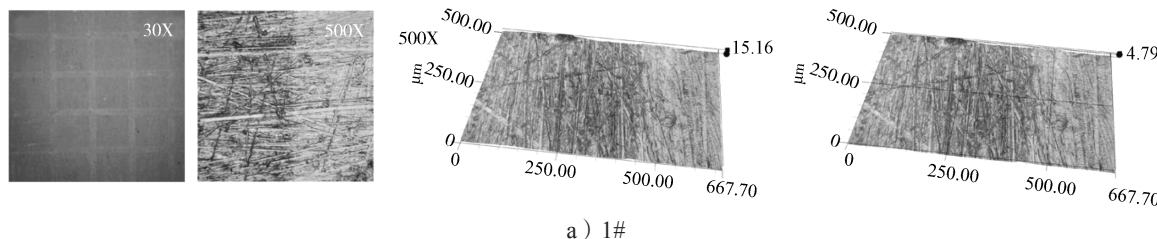
表5 PP试样刮擦后的波谷深度

Table 5 Trough depth of PP sample after scratching

试样编号	1#	2#	3#	4#	5#
波谷深度/ $\mu\text{m}$	10.37	7.89	9.04	7.09	3.39

结合图5与表5可知,1#刮擦区和未刮擦区色差明显,刮擦后波谷深,有明显泛白现象,这是因

为PP材料的表面摩擦系数较大,在外界负荷作用下,PP表面与刮擦头之间摩擦力大,负载受到的阻力大;2#、3#、4#刮痕浅,波谷深度较低,相比于1#分别下降了约23.9%、12.8%和31.6%,由此说明芥酸酰胺、硅酮母粒和滑石粉的加入使PP材料受到负载时的阻力减少,改善材料的耐刮擦性能,但滑石粉的加入使PP材料在外界负荷的作用下出现明显的发白现象,严重影响制品的美观度;5#刮痕色差浅,波谷深度相比1#下降67.3%,表明聚硅氧烷能显著降低PP表面与负荷间的阻力,进一步证明聚硅氧烷改善了PP材料的耐刮擦性能。



a) 1#

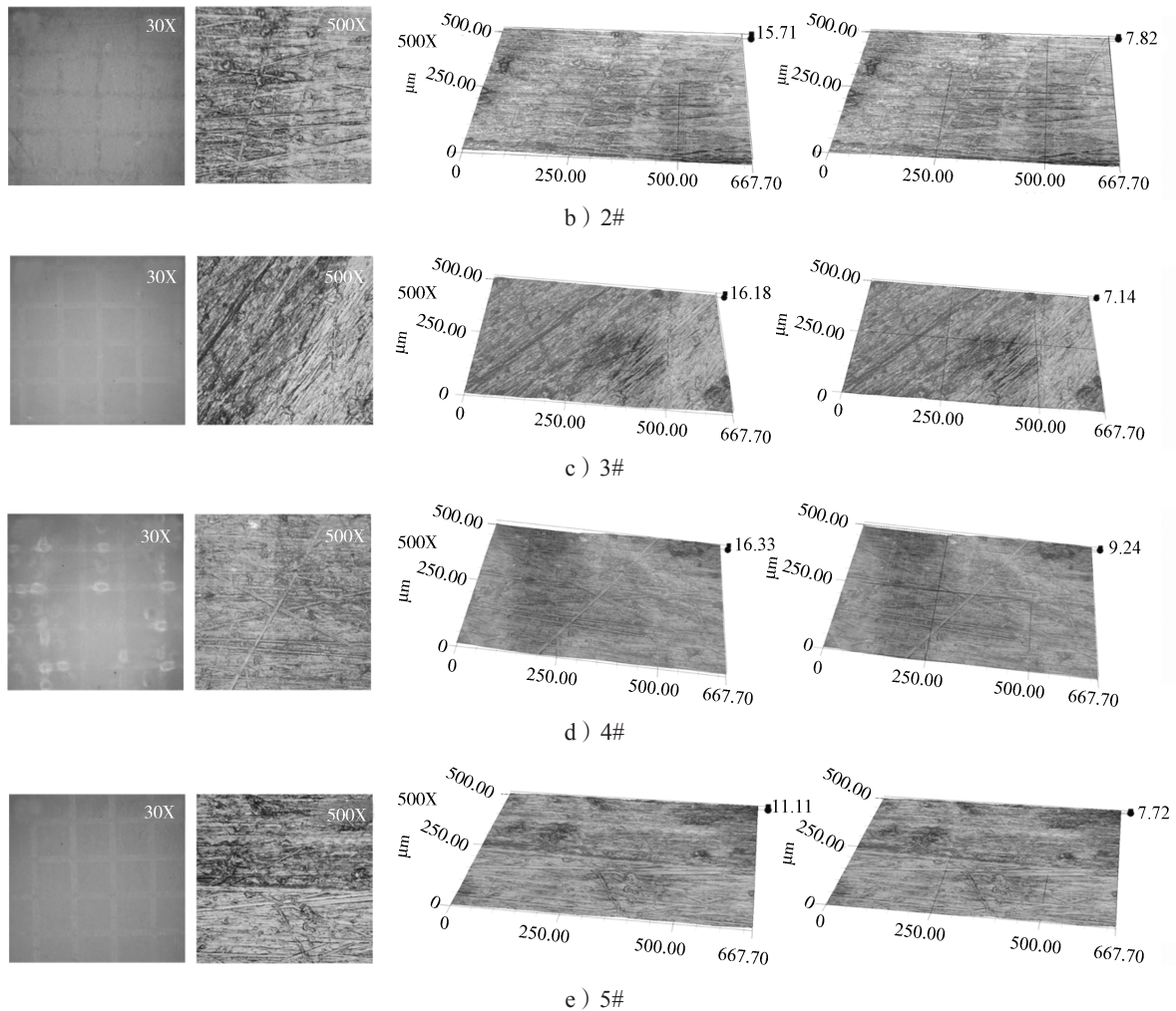


图5 PP试样刮擦后刮痕的超景深二维、三维显微图

Fig. 5 Super depth-of-field 2D and 3D microscopic photographs of scratches on PP sample

## 4 结论

本研究选取4种不同作用机理的耐刮擦剂(芥酸酰胺、硅酮母粒、滑石粉和聚硅氧烷),并研究耐刮擦剂对PP材料耐刮擦性能、力学性能和热性能的影响,分析PP耐刮擦性能的影响因素和机理,得到以下结论。

1)相较于纯PP,添加耐刮擦剂后PP的拉伸强度略有损失,部分PP的冲击强度或弯曲强度显著增加,如添加硅酮母粒PP的冲击强度提高约45%,添加滑石粉PP的弯曲强度提高约19%。

2)滑石粉的加入会阻碍PP的结晶过程,降低其结晶度,而其它3种耐刮擦剂对PP结晶行为及结晶形貌的影响不大。

3)4种添加剂均能改善PP的耐刮擦性能,其中

聚硅氧烷既能抑制PP的析出发黏和发白现象,又能改善PP的耐刮擦性能,其摩擦系数和 $\Delta L$ 也显著下降;同时,从微观结构进一步证明聚硅氧烷能有效提高PP的耐刮擦性能。

### 参考文献:

- [1] 武万斌, 年雪山. 汽车轻量化技术发展趋势 [J]. 汽车工程师, 2017(1): 15-17.  
WU Wanbin, NIAN Xueshan. Development of Vehicle Lightweight Technology[J]. Auto Engineer, 2017(1): 15-17.
- [2] 田正昕. 汽车用高流动抗冲共聚聚丙烯的研制开发 [D]. 天津: 天津大学, 2006.  
TIAN Zhengxin. Research and Development of Copolymer

- of Propylene with High Fluidity and High Impact Strength for Auto[D]. Tianjin: Tianjin University, 2006.
- [3] 李应平, 郑化安, 王小宪, 等. 车用聚丙烯改性材料气味控制技术进展 [J]. 工程塑料应用, 2016, 44(6): 124-127.
- LI Yingping, ZHENG Hua'an, WANG Xiaoxian, et al. Progresses in Control Technology for Volatile Organic Compounds in Modified Polypropylene for Vehicle[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(6): 124-127.
- [4] BOONCHOO T, THARAJAK J. Effect of Welding on Hardness and Deformation Behavior of Polypropylene by Scratch Test[J]. Applied Mechanics and Materials, 2016, 848: 27-30.
- [5] 何颖, 宋洁, 郭建兵, 等. PP复合材料耐刮擦性能的研究 [J]. 广东化工, 2014, 41(14): 22-24.
- HE Ying, SONG Jie, GUO Jianbing, et al. Study on Scratch Resistance of the PP Composites[J]. Guangdong Chemical Industry, 2014, 41(14): 22-24.
- [6] 杨波, 李永华, 庞承焕, 等. 车用聚丙烯内饰材料耐划伤性能研究 [J]. 工程塑料应用, 2011, 39(9): 55-58.
- YANG Bo, LI Yonghua, PANG Chenghuan, et al. Study of Scratch Resistance Property of Polypropylene Interior Material for Automobile[J]. Engineering Plastics Application, 2011, 39(9): 55-58.
- [7] 傅轶, 唐昌伟, 彭志宏, 等. 耐刮擦、软触感聚丙烯的制备与表征 [J]. 合成材料老化与应用, 2015, 44(4): 22-25.
- FU Yi, TANG Changwei, PENG Zhihong, et al. Preparation and Characterization of Scratch Resistant, Soft Tactile Polypropylene[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2015, 44(4): 22-25.
- [8] 黄晓明, 孟成铭, 范潇潇, 等. 耐刮擦聚丙烯共混物的制备和性能研究 [J]. 塑料工业, 2011, 39(11): 101-103.
- HUANG Xiaoming, MENG Chengming, FAN Xiaoxiao, et al. Preparation and Performance Research on Scratch Resistant PP Blend[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(11): 101-103.
- [9] XIANG C, SUE H J, CHU J, et al. Roles of Additives in Scratch Resistance of High Crystallinity Polypropylene Copolymers[J]. Polymer Engineering & Science, 2001, 41(1): 23-31.
- [10] 孟成铭, 杨燕, 蔡爽, 等. 汽车用耐刮擦聚丙烯的研制 [J]. 工程塑料应用, 2009, 37(11): 13-15.
- MENG Chengming, YANG Yan, CAI Shuang, et al. Development of Scratch-Resistant PP Applied in Automobile[J]. Engineering Plastics Application, 2009, 37(11): 13-15.
- [11] 庞承焕. 抗析出耐划伤车用聚丙烯材料的制备与表征 [D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- PANG Chenghuan. Preparation and Characterization of Polypropylene of Anti-Tackiness and Scratch-resistance for Auto[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [12] 范潇潇, 项军, 孟成铭, 等. 汽车内饰件用低气味耐刮擦聚丙烯的研制 [J]. 塑料工业, 2010, 38(1): 80-82.
- FAN Xiaoxiao, XIANG Jun, MENG Chengming, et al. Study of Low Odor Scratch-Resistant Polypropylene Applied In Automobile Interior Parts[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(1): 80-82.
- [13] 王茜. 汽车内饰用改性聚丙烯复合材料耐刮擦性和散发特性研究 [D]. 上海: 复旦大学, 2011.
- WANG Qian. Study on Scratch Resistance and Emission Properties of Modified Polypropylene Composites for Automobile Interior Parts[D]. Shanghai: Fudan University, 2011.
- [14] 黎敏. 汽车内饰件聚丙烯材料的制备、性能及应用研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2016.
- LI Min. Study on Preparation, Properties and Application of Polypropylene Materials for Automobile Interior Parts[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2016.
- [15] 张姣, 陈桂宏, 李建辉, 等. 车用改性聚丙烯材料耐刮擦性能研究进展 [J]. 化学与生物工程, 2017, 34(12): 1-3.
- ZHANG Jiao, CHEN Guihong, LI Jianhui, et al. Research Progress In Scratch-Resistant Property of Automotive Modified Polypropylene Materials[J]. Chemistry & Bioengineering, 2017, 34(12): 1-3.
- [16] 袁海兵. 硅酮耐刮擦剂对车用PP复合材料性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(9): 120-124.
- YUAN Haibing. Effect of Silicone Anti-Scratch Agent on Properties of Polypropylene Composites of Automobile[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(9): 120-124.

(责任编辑: 李玉华)



## Preparation and Properties of Scratch-Resistant Polypropylene Materials for Vehicles

PENG Simei<sup>1</sup>, FENG Jianxiang<sup>1</sup>, LIU Yuejun<sup>1</sup>, LEI Xin<sup>1</sup>, LUO Linyuan<sup>1</sup>, MAO Long<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Advanced Packaging Materials and Technology of Hunan Province,  
Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. School of Materials Science and Technology, Xiamen University of Technology, Xiamen Fujian 361024, China)

**Abstract:** Automotive polypropylene (PP) is susceptible to scratches, which cause appearance and performance loss during use. Studying the factors affecting PP scratch resistance and improving PP scratch resistance are important prerequisite for the market demand of scratch-resistant PP for vehicles. Using PP as substrate, the effects of four kinds of scratch-resistant agents with different action mechanisms (erucamide, silicone masterbatch, talc powder and polysiloxane) on mechanical properties, crystallization properties and scratch resistance of PP were investigated. The morphology of the scraped surface of the material was observed by polarizing microscope and ultra-depth-of-field three-dimensional microscope. The results showed that four kinds of scratch-resistant agents significantly improved the impact strength or bending strength of some PP materials, but the tensile strength decreased slightly. Erucamide, silicone masterbatch and polysiloxane did not change the crystallization morphology and crystallization behavior of PP, while talc destroyed the crystallization properties of PP. Four kinds of scratch-resistant agents all reduced the friction coefficient and color difference of PP ( $\Delta L$ ) and improved its scratch resistance, among which polysiloxane could not only improve the scratch resistance of PP, reduce its  $\Delta L$  by about 89%, but effectively inhibit the precipitation, stickiness and whitening of PP.

**Keywords:** polypropylene (PP); polysiloxane; scratch resistance; friction coefficient

.....

(上接第 21 页)

## Preparation and Catalytic Performance of Nitrogen-Doped Graphene Oxide for Oxygen Reduction Reaction

SHI Pu, CHEN Zhen, LI Wen

(College of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** Nitrogen doped graphene oxides (NGOs) were prepared by hydrothermal method with adenine as nitrogen source, trimesic acid as auxiliary carbon resource, and through calcinating precursors in an inert atmosphere. The dosage effects of adenine were deeply studied. The catalytic performance for oxygen reduction reaction (ORR) of as-prepared catalysts was analyzed by linear sweep voltammetry on the electrochemical workstation CHI760E (ChenHua, ShangHai), and the electron transfer numbers of oxygen reduction reactions were calculated by Koutecky-Levich equation. As results, the oxygen reduction catalytic performance of NGOs was greatly improved with different usages of adenine. When adenine was 6mmol, the catalytic performance was the best with catalyzed oxygen reduction through a  $4e^{-1}$  pathway.

**Keywords:** hydro-thermal method; nitrogen doping; graphene oxide; oxygen reduction reaction