

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.02.023

硅酮母粒对 GF 增强 PP 的抗浮纤效果及其快速检测

王晓群, 黄珂伟, 陈家锋, 肖敏, 潘利明

(杭州金州高分子科技有限公司, 杭州 310018)

摘要:以质量分数为 20% 的玻璃纤维 (GF) 增强均聚聚丙烯 (PP) (HPP/20%GF) 为研究对象,研究了硅酮母粒含量对 HPP/20%GF 物理力学性能和相应注塑制件外观与光泽度的影响。结果表明,硅酮母粒质量分数为 0.5%~1% 时,硅酮母粒对 HPP/20%GF 的物理力学性能影响很小,且明显提升了制件的光泽度,减小了浮纤现象。光泽度可用于表征硅酮母粒对 HPP/20%GF 的抗浮纤效果,其大于 70 时,制件的浮纤现象已基本得到消除。对上述硅酮改性 HPP/20%GF 进行了傅里叶变换红外光谱测试,从其谱图中选择了 $775\sim 827\text{ cm}^{-1}$ 与 $1427\sim 1481\text{ cm}^{-1}$ 处的峰高比作为特征参数,建立了其与光泽度的关系曲线和方程,在不同牌号的均聚 PP 与 GF 的组合以及不同相容剂含量下进行了验证,发现通过曲线和方程得到的光泽度计算值与实测值的误差均小于 5%,表明选择的峰高比较为合理,建立的曲线和方程有较高的准确性,为特定硅酮改性 GF 增强均聚 PP 材料抗浮纤效果的快速检测提供了一种参考方法。

关键词:玻璃纤维增强聚丙烯;硅酮母粒;浮纤;光泽度;红外光谱;快速检测;关系曲线

中图分类号: TQ327.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)02-0126-05

Anti-floating Effect of Silicone Masterbatch on Glass Fiber Reinforced PP and Its Rapid Detection

Wang Xiaoqun, Huang Kewei, Chen Jiafeng, Xiao Min, Pan Liming

(Hangzhou Jinzhou Macromolecule Technology Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

Abstract : Taking 20% glass fiber (GF) reinforced polypropylene homopolymer (HPP) (HPP/20%GF) as research object, the effects of silicone masterbatch contents on the physical and mechanical properties of HPP/20%GF, appearance and gloss of relevant injection parts were studied. The results indicate that the silicone masterbatch has little influences on the physical and mechanical properties, improves the gloss obviously and reduces the fiber floating when the mass fraction of silicone masterbatch is in the range of 0.5%–1%. The gloss can be used as a characterization for anti-floating effect of silicone masterbatch on HPP/20%GF, when it is greater than 70, the fiber floating of relevant injection parts is basically vanished. Fourier transform infrared spectroscopy test was done for the silicone modified HPP/20%GF and the peak height ratio of peak at $775\sim 827\text{ cm}^{-1}$ and peak at $1427\sim 1481\text{ cm}^{-1}$ in the spectrogram was selected as feature, the relationship curve and equation between the feature and the gloss were set up and they were verified under the combination of HPP and GF with different brand names and different compatibilizer contents. It is found that the errors of measured values and calculated values obtained from the relationship curve and equation for the gloss are all less than 5%, which indicates that the selected peak height ratio is more reasonable and the established relationship curve and equation have higher accuracy and provide a reference method for rapidly detecting the anti-floating effect of specific silicone modified GF reinforced HPP material.

Keywords : glass fiber reinforced polypropylene ; silicone masterbatch ; fiber floating ; gloss ; infrared spectrum ; rapid detection ; relationship curve

玻璃纤维 (GF) 增强聚丙烯 (PP) 具有强度高、尺寸稳定性好、耐热性好、价格低廉等优点,作为一种通用热塑性增强复合材料,广泛应用于家电、汽

车、电子电器、石油化工等领域。但是在 GF 与 PP 复合过程中,常常出现 GF 外露即浮纤问题,这一方面会降低材料的注塑加工窗口,同时也会影响塑料

通讯作者: 王晓群,博士,高级工程师,主要研究方向为工程塑料开发 E-mail : wangxiaoqun81@163.com

收稿日期: 2018-12-03

引用格式: 王晓群,黄珂伟,陈家锋,等. 硅酮母粒对 GF 增强 PP 的抗浮纤效果及其快速检测 [J]. 工程塑料应用,2019,47(2) : 126–130,142.

Wang Xiaoqun, Huang Kewei, Chen Jiafeng, et al. Anti-floating effect of silicone masterbatch on glass fiber reinforced PP and its rapid detection[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(2) : 126–130, 142.

制件的外观,极大地影响了GF增强PP材料的应用范围,使其无法应用于对外观要求较高的制件如汽车外观件上。通常可加入一定量的流动改性剂来改善浮纤问题,在这些流动改性剂中,硅酮母粒具有相对较为优异的抗浮纤效果,同时其还能改善注塑成型时的脱模问题,降低制件的成型周期,延长模具的使用寿命,提升制件的爽滑度及耐刮擦性等^[1-3]。

但是在实际的GF增强PP材料生产环节中,会产生以下问题:①由于购买的硅酮母粒批次不同,硅酮实际含量会有所不同;②称量过程中可能会发生硅酮的漏加、少加等现象;③混料过程中,静电吸附导致硅酮母粒与原料分离,进而出现硅酮在GF增强PP中分散不均匀等问题。上述问题均会导致即使添加了规定含量的硅酮母粒,材料在注塑过程中也会出现浮纤的现象,这会导致客户在注塑过程中出现脱模困难等各种问题,或者客户更改工艺参数后,出现产品尺寸超出公差范围等一系列造成注塑不良及生产效率降低的问题,因此对于塑料改性厂家来说,需要具有一种能够快速预测材料浮纤效果从而及时调整工艺进行补救的检测方法。但在改性材料的实际生产过程中,一般情况下,检验一批材料是否会出现浮纤现象,需要对粒子进行烘烤,并按特定的注塑工艺进行注塑,配备使用模温机,操作繁琐,不适合在连续生产过程中进行快速检测。

红外光谱法可以用于定量分析复合材料或共混物的组分含量,具有快速、便捷、准确度较高的优点^[4-6],根据红外光谱定量分析的原理,通过谱图选择相应的特征参数,建立特征参数与材料某种性能的关系曲线,然后将其用于该种性能的快速检测,是一种能够快速检测某批次材料是否合格的方法。由于质量分数为20%的GF增强均聚PP(HPP/20%GF)的力学性能较纯PP有3~4倍以上的提高,同时不会大幅提高材料的密度,其表观质量相对来说也更好控制,因此在实际使用过程中,该材料具有更大的市场应用范围,故笔者以HPP/20%GF为研究对象,首先研究了硅酮母粒含量对该材料体系物理力学性能及相应注塑制件外观和光泽度的影响,在此基础上通过红外光谱法建立了一种能够快速检测HPP/20%GF材料体系硅酮抗浮纤效果的曲线和方程,为抗浮纤GF增强PP材料的实际生产应用提供参考。

1 实验部分

1.1 主要原材料

均聚PP:HE125MO,博禄化工有限公司;

均聚PP:V30G,中国石化镇海炼化分公司;

均聚PP:1080,台塑聚丙烯(宁波)有限公司;

GF:ECS305-3-K,重庆国际复合材料股份有限公司;

GF:508H和508C,中国巨石股份有限公司;

GF:T438H,泰山玻璃纤维有限公司;

聚丙烯接枝马来酸酐(PP-g-MAH):GPM200A,接枝率0.6%以上,宁波能之光新材料科技股份有限公司;

硅酮母粒:LYMB2418,硅酮质量分数大于65%,瓦克化学(中国)有限公司;

抗氧剂:B215,巴斯夫(中国)有限公司;

分散剂:EB-FF,花王株式会社。

1.2 主要仪器及设备

平行双向螺杆挤出机:CTE35型,科倍隆(南京)机械有限公司;

注塑机:HDX-50型,海达(宁波)塑料机械有限公司;

万能试验机:AGS-X型,岛津企业管理(中国)有限公司;

摆锤式冲击试验机:ZBC1400-A型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

热重分析仪:DTG-60H型,岛津企业管理(中国)有限公司;

密度计:ED-1000型,上海图新电子科技有限公司;

光泽度计:GM-268plus型,柯尼卡美能达办公系统(中国)有限公司;

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪:IRAffinity-1型,岛津企业管理(中国)有限公司。

1.3 试样制备

将PP, PP-g-MAH, 硅酮母粒及其它助剂等按一定配比通过搅拌机混合均匀,再由双螺杆挤出机挤出造粒,GF通过侧喂料进入挤出机。挤出工艺设置参考如下^[7]:螺杆挤出温度为1区170℃,2区170℃,3区180℃,4区190℃,5区190℃,6区200℃,7区200℃,8区200℃,9区200℃,10区210℃,机头温度220℃;挤出机主机转速为300 r/min。

通过注塑机将挤出制得的粒料注塑为标准试样。注塑工艺设置参考如下^[8-9]:注塑温度为1区220℃,2区220℃,3区200℃;注塑压力为1段60 MPa,2段65 MPa,3段65 MPa,4段60 MPa;

注射速度(注塑机最大注射速度的百分数)为1段55%,2段60%,3段55%,4段45%。

1.4 测试与表征

拉伸性能按 GB/T 1040.2-2006 测试,拉伸速率为 10 mm/min;

弯曲性能按 GB/T 9341-2008 测试,测试速率为 2 mm/min;

冲击性能按 GB/T 1843-2008 测试,冲击摆锤能量为 2.75 J;

灰分含量按 ISO 11358-1-2014 测试,以流速为 50 mL/min 的高纯氮气进行吹扫,初始温度 40℃,以 15℃/min 的升温速率升至 650℃;

密度按 GB/T 1033.1-2008 测试,采用 A 法;

光泽度按 ASTM D2457-2013 测试,以 60° 角为测试参考;

FTIR 测试:参照 GB/T 6040-2002 进行测试,采用衰减全反射法,分辨率 4.0 cm⁻¹,波数范围 650~4000 cm⁻¹,扫描次数为 20 次,采样增益为 1.0,动镜速率为 2.8,检测器为 DTGS。

2 结果与讨论

2.1 硅酮母粒含量对 HPP/20%GF 物理力学性能的影响

表 1 列出质量分数为 0%~3% 的硅酮母粒对 HPP/20%GF 拉伸强度、弯曲强度及弯曲弹性模量、冲击强度、灰分含量和密度的影响,其中均聚 PP 牌号为 HE125MO, GF 牌号为 ECS305-3-K, PP-g-MAH 质量分数为 2%。

表 1 不同硅酮母粒含量的 HPP/20%GF 的物理力学性能

项 目	硅酮母粒质量分数/%						
	0	0.3	0.5	0.8	1	2	3
拉伸强度/MPa	66.81	64.64	65.26	64.88	64.33	63.19	60.92
弯曲强度/MPa	88.9	87.3	86.8	88.12	87.2	84.3	82.5
弯曲弹性模量/MPa	3530	3424	3308	3502	3408	3285	3321
缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	9.13	9.36	9.93	10.21	9.96	10.45	10.15
灰分含量/%	20.3	19.8	20.2	20.8	20.3	20.2	19.9
密度/(g·cm ⁻³)	1.033	1.032	1.032	1.034	1.032	1.032	1.032

从表 1 可知,当硅酮质量分数不高于 1% 时,随着硅酮母粒含量的增加,材料的拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量有所下降,但幅度很小,缺口冲击强度略有提高,灰分含量和密度基本没有变化。但当硅酮母粒的质量分数达到 2% 和 3% 时,材料的拉伸强度和弯曲性能有比较明显的降低。所以,可以认为当硅酮母粒质量分数为 0.3%~1% 时,硅酮母粒对 HPP/20%GF 材料的物理力学性能没有较大的影响。

2.2 硅酮母粒含量对 HPP/20%GF 注塑制件外观和光泽度的影响

将硅酮母粒质量分数为 0%~3% 的上述 HPP/20%GF 材料注塑成色板,观察色板的外观质量并对其进行光泽度测试,结果如图 1 和表 2 所示。

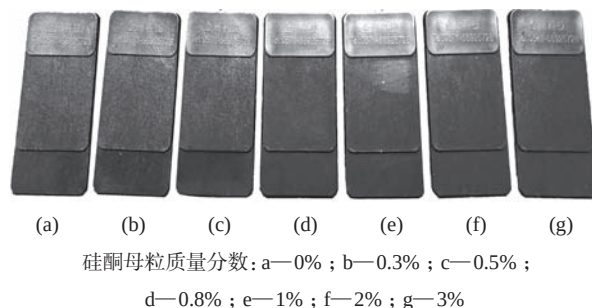


图 1 不同硅酮母粒含量的 HPP/20%GF 色板的外观

表 2 不同硅酮母粒含量的 HPP/20%GF 色板的光泽度

项 目	硅酮母粒质量分数/%						
	0	0.3	0.5	0.8	1	2	3
光泽度	45.2	48.6	60.1	70.6	75.8	77.8	79.4

从图 1 和表 2 可以看出,随着硅酮母粒含量的增加,色板表面的浮纤现象逐渐减少,光泽度逐渐提升,当硅酮质量分数大于 0.5% 的时候,光泽度值有明显的提高,达到 60 以上,此时色板表面的浮纤现象已经比较轻微,当硅酮质量分数达到 0.8% 后,光泽度已大于 70,色板的浮纤现象基本被消除。所以,当硅酮母粒的质量分数为 0.5%~1% 时,在不影响力学性能的同时,可以明显地提高 HPP/20%GF 制件的光泽度,改善制件的外观。可以看出,抗浮纤效果与光泽度有较为紧密的关系,光泽度越高,抗浮纤效果越好,因此实际生产中可以通过光泽度这个指标来判断材料的抗浮纤效果。

2.3 硅酮抗浮纤效果快速检测曲线与方程的建立

通过注塑色板,并观察色板表面的浮纤状态以及测量光泽度,操作比较繁琐且会造成材料浪费,因此需要建立一种低成本的快速检测方法。FTIR 谱图可反映材料的某些结构特征,因此采用 FTIR 定量分析的方法,从谱图中找出硅酮改性 HPP/20%GF 材料的某种特征参数,建立该参数与光泽度的关系曲线与方程,从而可以在不考虑试样形态的条件下快速判断材料注塑成制件后的外观效果是否在要求的范围内,进而对硅酮改性 HPP/20%GF 生产线的不良率进行管控。

(1) FTIR 特征参数的选择。

在 (23±2)℃ 的温度下,对采用 3 种牌号 (1080, HE125MO, V30G) 均聚 PP 的 HPP/20%GF (GF 牌

号为ECS305-3-K, PP-g-MAH质量分数为2%,硅酮母粒质量分数为0.3%)进行FTIR测试,如图2所示。图2中在1350~1500 cm⁻¹处的峰主要是PP的C—H弯曲振动模式的吸收峰,包括甲基不对称C—H弯曲振动模式、甲基对称C—H弯曲振动模式和亚甲基C—H弯曲振动模式^[10],而硅酮的硅氧键特征峰位于775~827 cm⁻¹处,选取这两处的峰通过FTIR的IRsolution中的定量功能计算峰高比,结果发现不同均聚PP牌号下775~827 cm⁻¹处与1427~1481 cm⁻¹处的峰高比基本相同,结果见表3。

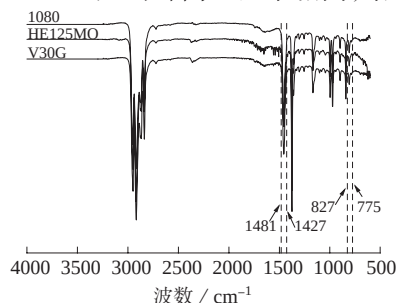


图2 不同均聚PP牌号的硅酮改性HPP/20%GF FTIR谱图

表3 不同均聚PP牌号的硅酮改性HPP/20%GF

均聚PP 牌号	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	平均值
1080	0.136	0.138	0.136	0.136	0.133	0.136
HE125MO	0.135	0.135	0.134	0.138	0.134	0.135
V30G	0.132	0.134	0.137	0.137	0.132	0.134

注:表中1[#]~5[#]表示相同牌号下制备了5组试样。

从表3可计算得到,3种不同均聚PP牌号下的峰1和峰2的峰高比误差基本在2%以内,因此可选择775~827 cm⁻¹与1427~1481 cm⁻¹处的峰高比作为特征参数。

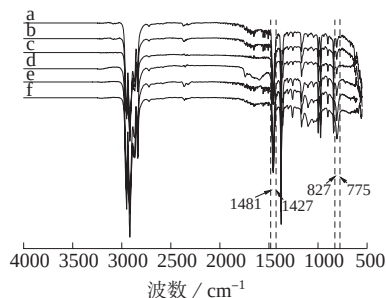
(2) 快速检测曲线与方程的建立。

以均聚PP牌号为HE125MO的HPP/20%GF体系(GF牌号为ECS305-3-K, PP-g-MAH质量分数为2%)为研究对象,测试了不同硅酮母粒含量的FTIR谱图,如图3所示,由此计算得到不同硅酮母粒含量的峰高比,结果见表4。由表4可知,随着硅酮母粒含量的增加,峰高比逐渐增加,说明选择的峰高比能够作为硅酮改性HPP/20%GF的某项特征参数。

根据得到的峰高比和表2的光泽度,忽略0点,建立光泽度和峰高比之间的关系曲线,如图4所示,计算得到决定系数R²为0.995。由图4得到的拟合方程如式(1)所示。

$$y = -5900 \exp[-x/0.0257] + 78.9 \quad (1)$$

式(1)中y为光泽度,x为峰高比。



硅酮质量分数: a—0.3%; b—0.5%; c—0.8%;

d—1%; e—2%; f—3%

图3 不同硅酮母粒含量的HPP/20%GF FTIR谱图

表4 不同硅酮母粒含量的HPP/20%GF FTIR谱图中的峰高比

硅酮母粒质 量分数/%	峰高比					平均值	标准 偏差
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]		
0.3	0.136	0.135	0.135	0.134	0.133	0.135	0.0011
0.5	0.148	0.146	0.148	0.149	0.147	0.148	0.0011
0.8	0.169	0.172	0.171	0.166	0.167	0.169	0.0025
1	0.188	0.189	0.186	0.186	0.188	0.187	0.0013
2	0.263	0.266	0.267	0.263	0.262	0.264	0.0022
3	0.357	0.355	0.357	0.363	0.364	0.359	0.0040

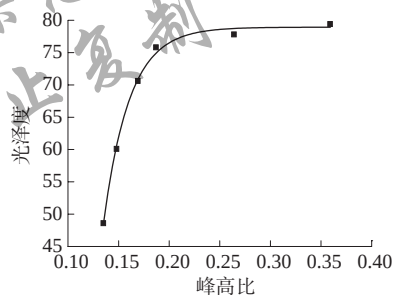


图4 光泽度与峰高比的关系曲线

2.4 硅酮抗浮纤效果快速检测曲线与方程的验证

在硅酮改性HPP/20%GF中,除均聚PP外,主要组分还包括GF和相容剂PP-g-MAH,因此不同均聚PP和GF牌号及不同PP-g-MAH含量下,分别选取硅酮质量分数为0.9%和0.6%的HPP/20%GF进行验证。

(1) 不同均聚PP和GF牌号下的验证。

采用3种牌号的均聚PP和3种牌号的GF随机搭配,制备了3种硅酮改性HPP/20%GF材料,其中PP-g-MAH质量分数为2%,硅酮质量分数为0.9%。牌号为1080的均聚PP与牌号为508H的GF搭配,所得材料记为1[#];牌号为HE125MO的均聚PP与牌号为508C的GF搭配,所得材料记为2[#];牌号为V30G的均聚PP与牌号为T438H的GF搭配,所得材料记为3[#]。对1[#],2[#],3[#]材料进行FTIR测试,结果如图5所示。根据图5得到相应的峰高比,然后通过式(1)计算得到相应的光泽度值,并与实际注塑成色板后测试的光泽度进行比较,结果见表5。

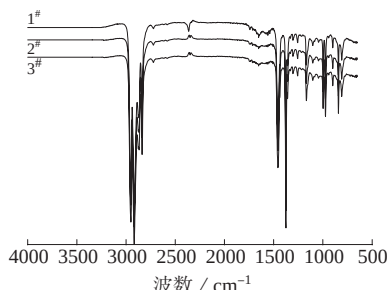


图5 材料的FTIR谱图

表5 1#, 2#, 3# 材料光泽度的计算值与实测值

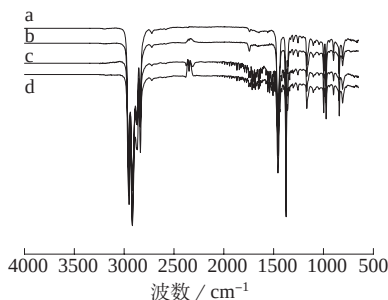
项 目	1 [#]	2 [#]	3 [#]
峰高比	0.170	0.177	0.179
光泽度计算值	71	73	73
光泽度实测值 ¹⁾	74	70	75
误差 / %	4.2	-4.1	2.7

注: 1) 为测试 5 组试样的平均值, 下同。

从表 5 可知, 不同牌号的均聚 PP 与不同牌号的 GF 组合下, 3 种材料的峰高比差异较小, 由式 (1) 计算得到的光泽度与实测光泽度之间的误差小于 5%, 可以认为获得的曲线与方程具有较高的准确性。

(2) 不同 PP-g-MAH 含量下的验证。

采用牌号为 HE125MO 的均聚 PP 和牌号为 ECS305-3-K 的 GF 制备了不同 PP-g-MAH 含量的硅酮改性 HPP / 20%GF 材料, 其中硅酮母粒质量分数为 0.6%。测试了不同 PP-g-MAH 含量下硅酮改性 HPP / 20%GF 材料的 FTIR 谱图, 结果如图 6 所示。根据图 6 得到相应的峰高比, 然后通过式 (1) 计算得到相应的光泽度值, 并与实际注塑成色板后测试的光泽度进行比较, 结果见表 6。



PP-g-MAH 质量分数: a—1.5%; b—2%; c—2.4%; d—3%

图6 不同 PP-g-MAH 含量下硅酮改性 HPP / 20%GF 的 FTIR 谱图

表6 不同 PP-g-MAH 含量下材料光泽度的计算值与实测值

PP-g-MAH 质量分数 / %	峰高比	光泽度计算值	光泽度实测值	误差 / %
1.5	0.155	65	67	3.1
2.0	0.156	65	62	-4.6
2.4	0.156	65	65	0.0
3.0	0.157	66	64	-3.0

从表 6 可知, 不同 PP-g-MAH 含量下, 峰高比的差异不大, 且由式 (1) 计算得到的光泽度与实

测光泽度之间的误差小于 5%, 这进一步表明, 获得的曲线与方程具有较高的准确性, 也表明选择 $775\sim 827\text{ cm}^{-1}$ 与 $1427\sim 1481\text{ cm}^{-1}$ 处的峰高比作为特征参数比较合理。

总之, 通过上述验证可以认为, 针对特定硅酮改性 GF 增强 PP 材料, 通过建立 FTIR 谱图相关特征峰高比与光泽度的关系曲线和方程来快速检测该材料抗浮纤效果, 具有较高的可靠性和有效性。对于塑料改性厂家来说, 针对某条硅酮改性 GF 增强 PP 挤出生产线, 可参考该方法通过制备标准样品建立相应的快速检测曲线与方程, 从而在后续生产中快速检测相应挤出生产线制备的硅酮改性材料的光泽度值, 以此来快速预测材料注塑后制件的外观状态, 判断挤出生产过程中硅酮母粒的添加量是否准确、分散是否均匀等, 进而判断挤出生产过程是否存在异常, 从而避免客户在使用该材料时出现浮纤现象, 降低材料在应用过程中的不良率, 节约相关成本。

3 结论

(1) 当硅酮母粒质量分数为 0.5%~1% 时, 其对 HPP / 20%GF 材料的力学性能影响很小, 且能明显提升相应注塑制件的光泽度, 减少浮纤现象。

(2) 光泽度越高, 硅酮母粒对 HPP / 20%GF 材料的抗浮纤效果越好, 当光泽度大于 60 时, 制件表面的浮纤现象已经比较轻微, 当光泽度大于 70 时, 制件的浮纤现象已基本得到消除, 因此可用光泽度来表征硅酮的抗浮纤效果。

(3) 在硅酮改性 HPP / 20%GF 的 FTIR 谱图中, 选择了 $775\sim 827\text{ cm}^{-1}$ 与 $1427\sim 1481\text{ cm}^{-1}$ 处的峰高比作为特征参数, 建立了其与光泽度的关系曲线和方程, 在不同牌号的均聚 PP 与 GF 的组合以及不同 PP-g-MAH 含量下, 分别选用硅酮质量分数为 0.9% 和 0.6% 进行了相关验证, 发现通过曲线和方程得到的光泽度计算值与实测值的误差均小于 5%, 表明选择的峰高比较为合理, 建立的快速检测曲线和方程有较高的准确性, 提供了一种快速检测特定硅酮改性 GF 增强 PP 材料抗浮纤效果的参考方法。

参考文献

- [1] 张皎, 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, 9.
Zhang Jiao, Chen Guihong, Li Jianhui, et al. Research progress in scratch-resistant property of automotive modified polypropylene material[J]. Chemistry & Bioengineering, 2017, 34(12):1-3, 9.

(下转第 142 页)

- [21] Yang Chuncheng, et al. Rapid Prototyping Journal, 2017, 23(1):209-215.
- [22] Miguel A C, et al. Additive Manufacturing, 2018, 22:157-164.
- [23] Melenka G W, et al. Composite Structures, 2016, 153:866-875.
- [24] Frketic J, et al. Additive Manufacturing, 2017, 14:69-86.
- [25] Dong Guoying, et al. Procedia Manufacturing, 2018, 26:774-781.
- [26] Guo Hongqi, et al. Composite Structures, 2019, 208:180-188.
- [27] Parandoush P, et al. Materials & Design, 2017, 131:186-195.
- [28] 田小永,等.航空制造技术,2017(10):34-39.
Tian Xiaoyong, et al. Aeronautical Manufacturing Technology, 2017(10):34-39.
- [29] 李涤尘,等.电加工与模具,2012(1):20-22.
Li Dichen, et al. Electromachining & Mould, 2012(1):20-22.
- [30] Liu Shuting, et al. Materials and Design, 2018, 137:235-244.
- [31] Hou Zhanghao, et al. Composite Structures, 2018, 184:1 005-1 010.
- [32] Eichenhofer M, et al. Composites Science and Technology, 2018, 164:248-259.
- [33] Ibrahim Y, et al. Manufacturing Letters, 2018, 16:49-51.
- [34] Sugiyama K, et al. Composites Part A, 2018, 113:114-121.
- [35] Luan Congcong, et al. Carbon, 2018, 140:100-111.
- [36] Yao Xinhua, et al. Materials and Design, 2017, 114:424-432.
- [37] 栾丛丛,等.浙江大学学报:工学版,2017,51(9):1 808-1 814.
Luan Congcong, et al. Journal of Zhejiang University:Engineering Science, 2017, 51(9):1 808-1 814.
- [38] Zhang Haoqi, et al. Composites Part B, 2018, 151:256-264.
- [39] Tian Xiaoyong, et al. Journal of Cleaner Production, 2017, 142:1609-1618.
- [40] 田小永,等.载人航天,2016,22(4):471-476.
Tian Xiaoyong, et al. Manned Spaceflight, 2016, 22(4):471-476.
- [41] Damodaran V, et al. Materials and Design, 2018, 157:60-73.
- [42] Caminero M A, et al. Polymer Testing, 2018, 68:415-423.
- [43] Li Nanya, et al. Journal of Materials Processing Technology, 2016, 238:218-225.
- [44] Liu Tengfei, et al. Composites Part A, 2018, 114:368-376.
- [45] 阿米特·班德亚伯德耶,等.3D打印技术与应用[M].北京:机械工业出版社,2017:36.
Bandyopadhyay A, et al. Additive manufacturing[D]. Beijing:China Machine Press, 2017:36.

(上接第130页)

- [2] 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):120-122.
Yuan Haibing. Effect of silicone anti-scratch agent on properties of polypropylene composites of automobile[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(9):120-122.
- [3] 朱春州,袁海兵,郝源增.高分子树脂对聚丙烯复合材料耐刮擦性能的影响[J].合成材料老化与应用,2017,46(6):17-22.
Zhu Chunzhou, Yuan Haibing, Hao Yuanzeng. Effect of polymer resin on the scratch resistance of polypropylene composites[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2017, 46(6):17-22.
- [4] 程鑫桥,王云发,黎海洋,等.红外光谱法定量分析羊毛/腈纶混合物纤维含量[J].毛纺科技,2016,44(3):19-23.
Cheng Xinqiao, Wang Yunfa, Li Haiyang, et al. Quantitative analysis of blended fibers of wool and acrylic by infrared spectroscopy[J]. Wool Textile Journal, 2016, 44(3):19-23.
- [5] 李茂华,庞承焕,宋翠翠.红外光谱法对PC/ABS材料共混比例进行半定量[J].广州化学,2018,43(2):41-45.
Li Maohua, Pang Chenghuan, Song Cuicui. Quantitative test of PC/ABS ratio using infrared ray[J]. Guangzhou Chemistry, 2018, 43(2):41-45.
- [6] 王秀芬,李静,马芳,等.基于红外光谱技术对不同产区枸杞子的分析[J].医药导报,2018,37(6):721-726.
Wang Xiufen, Li Jing, Ma Fang, et al. Analysis of Fructus Lycii from different planting areas based on infrared spectroscopy[J]. Herald of Medicine, 2018, 37(6):721-726.
- [7] 王琦玲,赵勃,杜赏,等.工艺条件对超高黏度增强聚丙烯材料性能的影响[J].上海塑料,2017(4):37-41.
Wang Qiling, Zhao Bo, Du Shang, et al. Influences of process conditions on properties of ultra high viscosity polypropylene material[J]. Shanghai Plastics, 2017(4):37-41.
- [8] 姚挺,田璐.注塑工艺对连续玻纤增强PA66材料外观质量的影响[J].化工设计通讯,2016,42(5):89.
Yao Ting, Tian Lu. Effect of injection molding process on the appearance quality of continuous glass fiber reinforced PA66 material[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2016, 42(5):89.
- [9] 周海,李飞,李荣群,等.注塑工艺对长玻纤增强聚丙烯材料性能及外观的影响研究[J].塑料工业,2018,46(5):85-88.
Zhou Hai, Li Fei, Li Rongqun, et al. Research on effect of injection molding process on the properties and appearance of long glass fiber reinforced polypropylene[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(5):85-88.
- [10] 韩卫荣,王欣,王志刚,等.聚丙烯C—H弯曲振动二维红外光谱研究[J].包装工程,2015(21):7-10,27.
Han Weirong, Wang Xin, Wang Zhigang, et al. Two-dimensional infrared spectroscopy study of polypropylene C—H bending vibration[J]. Packaging Engineering, 2015(21):7-10, 27.