

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.12.002

聚乳酸/液态聚异丁烯共混物的研究

朱健,戚嵘嵘,洪玉琢,冯正明,李海波

(上海交通大学化学化工学院,上海 200240)

摘要: 为了改善聚乳酸 (PLA) 材料的脆性,且不影响其可降解性,选择了低分子量液态聚异丁烯 (LPIB) 和 PLA 进行共混改性,研究了 LPIB 用量对 PLA/LPIB 共混物性能的影响。结果表明, LPIB 可提高 PLA 的韧性,但降低了其拉伸强度,当 LPIB 质量分数为 12% 时,共混物的缺口冲击强度达到最高,为 5.3 kJ/m^2 ,比纯 PLA 提高了近一倍; LPIB 在 PLA 中起到异相成核的作用,可提高其结晶度。采用扫描电子显微镜观察了共混物的微观形态,发现 PLA 与 LPIB 两相是分离的。为提高两者的相容性,采用缩水甘油酯 (GMA) 接枝 LPIB (LPIB-g-GMA) 作为增容剂,并研究了其用量对 PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物性能的影响。结果表明, LPIB-g-GMA 对 PLA/LPIB 共混物有一定的增容作用,可使其相界面变得模糊,相容性有明显提高;当 PLA, LPIB 与 LPIB-g-GMA 的质量比为 88/2/10 时, PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物的缺口冲击强度和拉伸强度达到最大,与未加 LPIB-g-GMA 的共混物相比,分别提高了 20.7% 和 13.8%;少量 LPIB-g-GMA 的加入会提高 PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物的结晶度,但其用量过高时,会降低共混物的结晶度。

关键词: 聚乳酸;液态聚异丁烯;增韧;相容性

中图分类号: TQ325.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)12-0006-05

Study of Polylactic Acid/Liquid Polyisobutene Blends

Zhu Jian, Qi Rongrong, Hong Yuzhuo, Feng Zhengming, Li Haibo

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to improve the brittleness of PLA and don't affect its biodegradability, liquid polyisobutene (LPIB) was used as a toughness agent for being blended with PLA. The effects of LPIB content on the properties of PLA/LPIB blends were investigated. The results show that LPIB can improve the brittleness of PLA, the notched impact strength of the blend with 12% LPIB is the best, reaching to 5.3 kJ/m^2 , nearly twice as much as pure PLA. LPIB acts as a heterogeneous nucleating agent and can improve the crystallization of PLA. Scanning electron microscopy indicates that two phases (PLA and LPIB) are separated. To improve the compatibility between PLA and LPIB, the glycidyl methacrylate grafted LPIB (LPIB-g-GMA) was used as compatilizer, and the effects of LPIB-g-GMA content on the performance of the PLA/LPIB/LPIB-g-GMA blends were investigated. The results show that LPIB-g-GMA can improve the compatibility between PLA and LPIB, make the interface between PLA and LPIB become vague, which indicates that the compatibility is improved. When the mass ratio of the PLA/LPIB/LPIB-g-GMA is 88/2/10, the notched impact strength and tensile strength of PLA/LPIB/LPIB-g-GMA blends can reach maximum, which increases by 20.7% and 13.8% respectively comparing with the PLA/LPIB blend. A little of LPIB-g-GMA can improve the crystallinity of the PLA/LPIB/LPIB-g-GMA blend, but too much LPIB-g-GMA has an adverse result.

Keywords: PLA; LPIB; toughness; compatibility

聚乳酸 (PLA) 是一种以生物资源为原料的化学合成生物降解高分子,摆脱了对石油资源的依赖。除生物降解性外,它还具有透明度高、抗油性和染色性能好、可燃性低、对人体无毒害等优点,能进行各种成型加工,如挤出、吹膜、注塑、纤维成型等。因此,PLA 有着广阔的应用前景,由其制备的各种薄膜、片材、纤维经过热成型、纺丝等二次加工后得到的产品可广泛应用于服装、包装、农业、医疗卫生用品等

领域^[1]。

但是 PLA 也存在很多缺点,如结晶速度慢,熔体强度低,导致成型加工过程困难;玻璃化转变温度 (T_g) 较低,耐热性差;在熔体加工过程中易降解,分子量及分子量分布难于控制;质脆,韧性差,缺乏柔性和弹性,缺口冲击强度低。这些缺点限制了

联系人:戚嵘嵘,博士,副教授,主要研究方向为高分子材料

收稿日期:2014-09-12

PLA 材料的应用^[2-3],因而需要对 PLA 进行改性。

对 PLA 的改性主要分为共聚改性和共混改性。共聚改性从聚合入手,性能好,但改性成本高,如将二氧环己酮和乳酸共聚改性,合成三元嵌段共聚物,使 PLA 结晶能力降低,韧性大幅度提高^[4]。相比于共聚改性,共混改性具有成本低,投入少,效益高的优点,是一种简单易行、成本低廉的增韧 PLA 的方法。共混改性根据共混组分的生物降解性分为完全生物可降解共混体系和部分生物可降解共混体系。完全可降解共混体系中用于与 PLA 共混的聚合物有聚羟基脂肪酸、聚己内酯、聚氧化乙烯、聚丁二酸丁二醇酯^[5]和淀粉^[6-7]等;部分可降解共混体系中用于与 PLA 共混的聚合物是非降解性的,主要有聚乙酸乙烯酯^[8]、乙烯-辛烯共聚物^[9]、木塑材料^[10]、聚丙撑碳酸亚内酯^[11]和聚氨酯^[12]等。在白色污染日益严重的今天,完全生物可降解共混物体系的研究变得越来越重要。

低分子量液态聚异丁烯 (LPIB) 常温下为液态,在环境中并不影响 PLA 的降解性,同时价格低廉,安全无毒,可作为 PLA 的增韧改性剂。笔者采用 LPIB 对 PLA 进行增韧改性,制备了不同比例的 PLA/LPIB 共混物,通过力学性能和微观结构分析,确定其最佳配比,得到了增韧改性的 PLA。同时,为了改善 PLA 和 LPIB 之间的相容性,选择了甲基丙烯酸缩水甘油酯 (GMA) 接枝 LPIB (LPIB-g-GMA) 作为增容剂,研究了 LPIB-g-GMA 对 PLA 和 LPIB 的增容效果。

1 实验部分

1.1 主要原料

PLA : 3052D, 美国 NatureWorks 公司;

LPIB : Glissopal 2300, 数均分子量 (M_n) 230 ~ 2300, BASF 公司;

过氧化二异丙苯 (DCP) : 国药集团化学试剂有限公司;

LPIB-g-GMA : 自制^[13]。

1.2 主要仪器及设备

开炼机: SHR-10A 型, 张家港市沙通塑料机械有限公司;

平板硫化机: XLB-D 型, 湖州顺利橡胶机械有限公司;

万能电子拉力机: AI-7000M 型, 高特威尔有限公司;

冲击仪: POE2000 型, BAY-RAN 公司;

差示扫描量热 (DSC) 仪: Q2000 型, 美国 TA 公司;

扫描电子显微镜 (SEM) : S-2150 型, 日本 Hitachi 公司。

1.3 试样制备

将 PLA, LPIB 按照一定的比例在开炼机上 (温度 150℃, 时间 15 min) 共混后, 在平板硫化机上 (热压温度 180℃, 时间 10 min) 压制成型, 然后裁切成标准试样。PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物试样的制备方法同上。

1.4 性能测试

拉伸性能按 ASTM D790 测试。

冲击性能按 ASTM D256 测试。

DSC 测试: 取试样 5 ~ 10 mg, 密封于铝坩埚中, 在氮气的保护下, 对试样进行热处理。先以 100℃/min 的速度从 40℃ 升温至 200℃, 停留 1 min, 以消除试样热历史; 再以 20℃/min 的降温速率从 200℃ 降温至 40℃, 保持 2 min; 最后以 10℃/min 的升温速率从 40℃ 升温至 200℃。

SEM 分析: 将试样在液氮中冷却后脆断, 将其断面用真空喷金后用 SEM 观察并拍照。

2 结果与讨论

2.1 PLA/LPIB 共混物性能的研究

(1) 力学性能。

表 1 为纯 PLA 及 PLA/LPIB 共混物的力学性能。由表 1 可知, PLA 的断裂伸长率比较低, 仅为 3.7%, 其在拉伸过程中未出现屈服点就发生脆性断裂, 这是脆性硬质塑料的特点, 说明纯 PLA 为脆性塑料; 当加入质量分数为 3% 的 LPIB 后, PLA/LPIB 共混物的断裂伸长率提高到了 5.8%; 当 LPIB 质量分数超过 6% 后, 共混物在拉伸过程中出现屈服, 这表明加入适量的 LPIB 后, PLA 由脆性的硬质塑料向韧性的硬质塑料转变。随着 LPIB 含量的继续增加, PLA/LPIB 共混物的断裂伸长率逐渐增大。当 LPIB 质量分数为 15% 时, 共混物的断裂伸长率达到了 34.3%, 韧性得到明显提高。

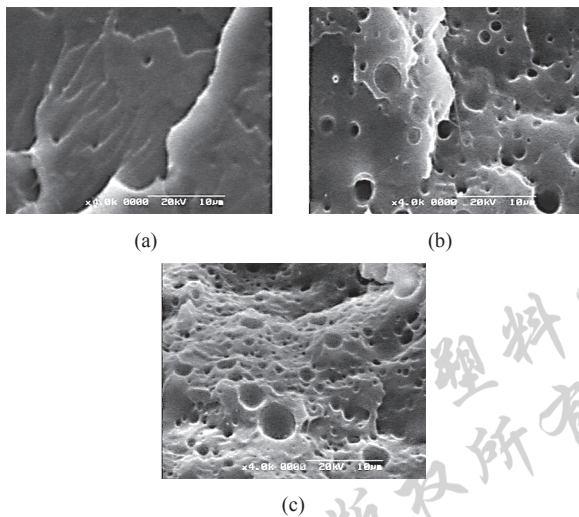
另外, 由表 1 可以看出, 纯 PLA 的缺口冲击强度很低, 只有 2.7 kJ/m²; 随着 LPIB 含量的增加, PLA/LPIB 共混物的缺口冲击强度总体上先增大后减小, 当 LPIB 的质量分数为 12% 时, 缺口冲击强度达到最高值为 5.3 kJ/m², 相比于纯 PLA, 缺口冲击强度提高了近一倍。但也可以看出, LPIB 的加入降低了 PLA 的拉伸强度, 且随 LPIB 含量的增加, 共

表1 纯 PLA 及 PLA/LPIB 共混物的力学性能

LPIB 质量分数 / %	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %	缺口冲击强度 / (kJ·m ⁻²)
0	63.7	3.7	2.7
3	51.1	5.8	4.1
6	36.4	9.3	4.6
9	31.2	14.6	4.5
12	33.3	21.2	5.3
15	31.2	34.3	4.0

混物的拉伸强度逐渐下降,当 LPIB 质量分数超过 9% 后,拉伸强度趋于稳定。

为了解释加入 LPIB 后 PLA 的韧性得到提高的原因,对共混物进行了 SEM 分析,结果如图 1 所示。



LPIB 质量分数: a—0%; b—3%; c—12%

图1 不同 LPIB 含量的 PLA/LPIB 共混物断面的 SEM 照片

从图 1a 可以看出,纯 PLA 的断面比较光滑平整;由图 1b 和图 1c 可以看出,当加入 LPIB 后,PLA 基体中出现了孔洞。这是由于 PLA 和 LPIB 是两相分离的,故小分子量的液态 LPIB 在 SEM 的真空环境中易挥发流失,从而留下了孔洞;随着 LPIB 含量的增加,孔洞也越来越密集且分散地较为均匀,这些孔洞均表明了 LPIB 的存在。PLA/LPIB 共混物是一个典型的橡胶增韧塑料体系,其中 PLA 为连续相,保持着增韧塑料前的强度和刚性;LPIB 为分散相^[14],均匀地分散在 PLA 基体中。当有外力作用时,分散相 LPIB 能够帮助分散和吸收冲击能量,在一定范围内,LPIB 越多且分散越均匀,吸收的冲击能量越大,因而随着 LPIB 含量的升高,共混物的缺口冲击强度增大。但是 LPIB 过多,则其本身的性质和强度不能忽略,并且 PLA 连续相可能遭到破坏,因而继续增大 LPIB 的含量,缺口冲击强度出现下降。

(2) 热性能及结晶性能。

由 DSC 测试得到的曲线可以得出 PLA/LPIB 共混物的相关 DSC 数据,如表 2 所示。由表 2 可以看出,加入不同含量的 LPIB 后,共混物的 T_g 变化不大。这是因为 LPIB 在常温下作为液态的橡胶,其 T_g 较低,并且 LPIB 作为低分子占据的自由体积比较小,几乎不影响 PLA 链段所占据的自由体积和链段运动,所以共混物的 T_g 变化不大。相对于纯 PLA 来说,PLA/LPIB 的 T_c 有所降低,即在不高的温度下就能使链段重排而发生结晶,表明 LPIB 可以促进结晶,起到异相成核剂的作用。同时也可知,PLA/LPIB 共混物的结晶度比纯 PLA 有所提高,这同样是由于 LPIB 在其中起到异相成核剂的作用而导致的,这对材料的强度有一定提高作用,但是 LPIB 本身为液态,对强度存在较大的不利影响,这种影响可能超过了结晶度提高所带来的影响,因此表现为共混物的拉伸强度降低。

表2 PLA/LPIB 共混物的 DSC 数据

LPIB 质量分数 / %	$T_g / ^\circ\text{C}$	$T_c / ^\circ\text{C}$	$\Delta H_m / (\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$	$T_m / ^\circ\text{C}$	$X_c / \%$
0	60.8	130.3	6.88	153.2	7
3	61.3	113.2	29.60	148.8	33
6	61.1	120.9	29.17	150.9	33
9	61.2	123.7	20.53	151.8	24
12	61.1	123.8	23.15	151.6	28
15	61.3	129.4	11.81	152.8	15

注:表中 T_c 为冷结晶温度, ΔH_m 为熔融焓, T_m 为熔融温度, X_c 为结晶度,下表同。

尽管 LPIB 的加入使 PLA 韧性提高,但是,从 SEM 照片的孔洞中可以看出其与 PLA 有明显的相界面,这表明 PLA 和 LPIB 的相容性较差。这是因为 LPIB 是非极性的分子,而 PLA 分子链中含有酯基、羟基和羧基等极性较强基团,因此它们的相容性差。为了能进一步提高 PLA/LPIB 共混物的性能,需要添加一定的增容剂来改善 PLA 与 LPIB 的相容性。

2.2 LPIB-g-GMA 对 PLA/LPIB 共混物性能的影响

选择了自制的 LPIB-g-GMA 作为 PLA/LPIB 共混物的增容剂,LPIB-g-GMA 中的一端 GMA 基团中含有可能发生酯交换或者环氧开环反应的酯基以及环氧基团等,同时这些极性基团与 PLA 相似,根据相似相容原理,也与 PLA 具有一定的相容性,所以 LPIB-g-GMA 在理论上对 PLA/LPIB 共混物有一定的增容效果。

(1) 力学性能。

参照表 1 的性能数据,将 LPIB 和 LPIB-g-GMA

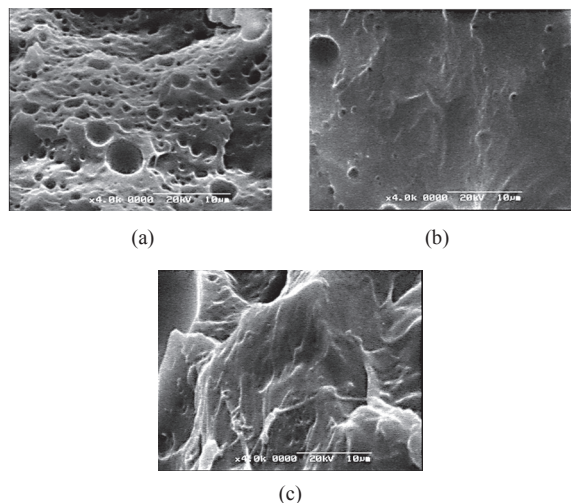
的总质量分数定为 12%,研究了 LPIB-g-GMA 含量对 PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物力学性能的影响,结果如表 3 所示。

表 3 PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物的力学性能

LPIB-g-GMA 质量分数 / %	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %	缺口冲击强度 / (kJ·m ⁻²)
0	33.3	21.2	5.3
2	32.1	20.1	5.4
4	35.0	19.2	5.4
6	35.5	19.9	5.6
8	36.8	18.7	6.0
10	37.9	18.8	6.4
12	35.6	18.5	5.3

由表 3 可以看出,随着 LPIB-g-GMA 含量的增加,PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物的缺口冲击强度有所提高,在加入了质量分数为 10% 的 LPIB-g-GMA 后,共混物的缺口冲击强度达到最大,为 6.4 kJ/m²,比未添加 LPIB-g-GMA 的共混物提高了 20.7%,且比纯 PLA 提高了 137%;同时,加入 LPIB-g-GMA 后,共混物的拉伸强度也有所提高,当加入质量分数为 10% 的 LPIB-g-GMA 后,共混物的拉伸强度提高到 37.9 MPa,虽仍低于 PLA,但相比未加 LPIB-g-GMA 时提高了 13.8%。这说明 LPIB-g-GMA 对 PLA/LPIB 共混物确有一定的增容作用。共混物的断裂伸长率则随着 LPIB-g-GMA 含量增加而有所下降,但下降幅度并不大。另外,可以看出,加入质量分数为 12% 的 LPIB-g-GMA 后,共混物的缺口冲击强度和拉伸度均有所下降。

图 2 为 LPIB-g-GMA 质量分数为 0%、6% 和 12% 时 PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物断面的 SEM 照片。



LPIB-g-GMA 质量分数: a—0%; b—6%; c—12%

图 2 不同 LPIB-g-GMA 含量的 PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物断面的 SEM 照片

从图 2 可见,与没有添加 LPIB-g-GMA 的共混物相比,添加了质量分数为 6% 的 LPIB-g-GMA 后,共混物断面虽仍有部分清晰的孔洞,但两相界面变得模糊,孔洞数量也变少,且分散相尺寸也减小,这表明 LPIB, LPIB-g-GMA 和 PLA 的相互作用力变强,界面结合力变强,使 LPIB 在 SEM 的真空环境下不易挥发流失;当添加了质量分数为 12% 的 LPIB-g-GMA 后,断面中几乎观察不到两相界面和孔洞,表明共混物中只有 LPIB-g-GMA 时,其与 PLA 的相容性非常高。但结合表 3 可以看出,相容性提高,共混物的缺口冲击强度和拉伸强度却没有预期的明显增加,尤其在共混物中只有 LPIB-g-GMA 时反而有所下降。这是因为,在制备 LPIB-g-GMA 的过程中,一方面 LPIB 与 GMA 在引发剂作用下发生接枝反应,另一方面 LPIB 可能会发生降解,降解成分子量更小的聚异丁烯,这些低分子量小分子会对共混物性能产生不利影响。虽然 LPIB-g-GMA 对共混物的增容作用有利于性能的提高,但这些降解的小分子所产生的不利影响可能会部分抵消增容作用对性能所产生的有利影响,故共混物冲击性能和拉伸强度的提高幅度不如预期的明显,断裂伸长率也略有降低。当 LPIB-g-GMA 质量分数为 12% 时,即共混物中只有 LPIB-g-GMA 时,其所包含的降解的小分子较多,小分子的不利影响开始成为主要因素,故使共混物的性能下降。

(2) 热性能及结晶性能。

由 DSC 曲线可以得出 PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物的相关 DSC 数据,如表 4 所示。

表 4 PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物的 DSC 数据

LPIB-g-GMA 质量分数 / %	T_g / °C	T_c / °C	ΔH_m / (J·g ⁻¹)	T_m / °C	X_c / %
0	61.1	123.8	23.15	151.6	28
2	60.9	113.9	24.56	149.3	30
4	62.4	114.5	24.16	149.4	29
6	61.1	123.8	22.29	151.6	27
8	61.2	123.8	17.52	151.2	21
10	61.1	120.9	18.03	150.7	22
12	60.6	122.1	16.45	150.4	19

由表 4 可以看出, LPIB-g-GMA 对共混物的 T_g 和 T_m 影响不大。少量加入 LPIB-g-GMA 后,共混物的结晶度略有升高,但大量加入时又有下降。 T_c 也随着 LPIB-g-GMA 含量的增加呈现先降低后升高的趋势。这表明加入少量 LPIB-g-GMA 可起到异相成核剂的作用,但是大量加入后其可能与 PLA 原位生成 PLA-LPIB-g-GMA 共聚物,这在起到相容作用的同时,也限制了 PLA 的结晶。结晶度的降

低在一定程度上对改善材料的脆性是有利的,因此这也是加入 LPIB-g-GMA 后共混物冲击性能得到提高的原因之一。

3 结论

(1) LPIB 对 PLA 有较好的增韧效果,但降低了其拉伸强度。当 LPIB 质量分数为 12% 时, PLA/LPIB 共混物的缺口冲击强度达到最大,比纯 PLA 提高了近 1 倍。

(2) LPIB 在 PLA 中可起到异相成核作用,提高了 PLA 的结晶度。

(3) LPIB-g-GMA 对 PLA/LPIB 共混物具有一定的增容作用,当 PLA, LPIB 与 LPIB-g-GMA 的质量比为 88/2/10 时, PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物的缺口冲击强度和拉伸强度最高,与未加 LPIB-g-GMA 的共混物相比,分别比提高了 20.7% 和 13.8%。

(4) 少量 LPIB-g-GMA 的加入可提高 PLA/LPIB/LPIB-g-GMA 共混物的结晶度,但当 LPIB-g-GMA 用量过高时,会降低共混物的结晶度。

参考文献

- [1] 杨斌. 绿色塑料聚乳酸 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 11-18.
Yang Bin. A green plastic: Poly(lactic acid) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 11-18.
- [2] Rasal R M, Janorkar A V, Hirt D E. Poly(lactic acid) modifications[J]. Progress in polymer science. 2010, 35(3): 338-356.
- [3] 王如寅. 聚乳酸增韧改性及其机理研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
Wang Ruyin. Study on toughening modification of poly(lactic acid) [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2010.
- [4] 李斌. 聚对氧环己酮与聚乳酸嵌段共聚物的合成 [D]. 成都: 四川大学, 2007.
Li Bin. Preparation and characterization of block copolymers based on poly(p-dioxanone) and poly(lactic acid) [D]. Chengdu: Sichuan University, 2010.
- [5] 叶丹丹, 陆佳琦, 钱天悦, 等. 聚乳酸/聚丁二酸丁二醇酯共混物的研究 [J]. 中国塑料, 2012, 26(3): 23-27.
Ye Dandan, Lu Jiaqi, Qian Tianyue, et al. Research on poly(lactic acid) / poly(butylene succinate) blends [J]. China Plastics, 2012, 26(3): 23-27.
- [6] 潘丽军, 桂蕾, 李延红, 等. 改性淀粉/聚乳酸复合材料的制备与

性能表征 [J]. 塑料科技, 2009, 37(2): 28-31.

Pan Lijun, Gui Lei, Li Yanhong, et al. Preparation and characterization of the modified acrylic-starch / polylactic acid blends [J]. Plastic Science and Technology, 2009, 37(2): 28-31.

- [7] 刘建美, 戚嵘嵘, 罗宇, 等. 聚乙二醇对聚乳酸/糯米粉共混物性能的影响 [J]. 中国塑料, 2012, 25(12): 63-66.
Liu Jianmei, Qi Rongrong, Luo Yu, et al. Effects of PEG on properties of poly(lactic acid) / glutinous rice flour blends [J]. China Plastic, 2012, 25(12): 63-66.
- [8] 戚嵘嵘, 钱天悦, 李冠, 等. 可生物降解的牙刷柄原料及其制法: 中国, 201110315834.8 [P]. 2012-03-28.
Qi Rongrong, Qian Tianyue, Li Guan, et al. Preparation of biodegradable materials and toothbrush: CN, 201110315834.8 [P]. 2012-03-28.
- [9] 方玲, 李君, 戚嵘嵘. POE 增韧聚乳酸复合材料的研究 [J]. 工程塑料应用, 2009, 37(6): 5-8.
Fang Ling, Li Jun, Qi Rongrong. Study of POE toughening poly(lactic acid) blends [J]. Engineering Plastics Application, 2009, 37(6): 5-8.
- [10] 王艳玲, 戚嵘嵘, 刘林波, 等. 聚乳酸基木塑复合材料的相容性研究 [J]. 工程塑料应用, 2008, 36(1): 20-23.
Wang Yanling, Qi Rongrong, Liu Linbo, et al. Compatibility study of poly(lactic acid) / wood-plastic composites [J]. Engineering Plastics Application, 2008, 36(1): 20-23.
- [11] 陶剑, 胡丹, 刘莉, 等. PLA, PPC 和 PHBV 共混物的热性能, 力学性能和生物降解性能研究 [J]. 离子交换与吸附, 2010(1): 59-67.
Tao Jian, Hu Dan, Liu Li, et al. Thermal, mechanical and biodegradation properties of PLA, PPC and PHBV blends [J]. Ion Exchange and Adsorption, 2010(1): 59-67.
- [12] 冯飞, 叶林. 聚乳酸/聚氨酯弹性体共混复合材料结构与性能研究 [J]. 塑料工业, 2009, 37(5): 12-15.
Feng Fei, Ye Lin. Study on the structure and property of polylactic acid / polyurethane elastomer blend [J]. China Plastic Industry, 2009, 37(5): 12-15.
- [13] Wu Y, Xu X, Wu G, et al. Graft copolymer of PVAc-g-PIB by cationic polymerization [J]. Designed Monomers and Polymers, 2003, 6(1): 23-29.
- [14] 王荣伟. 橡胶增韧塑料机理研究进展 [J]. 合成树脂及塑料, 2012, 29(2): 69-74.
Wang Rongwei. Progress in mechanism of rubber toughening plastics [J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2012, 29(2): 69-74.

高端聚丙烯电工膜料试产成功

日前, 中原石化成功试生产了高端聚丙烯电工膜料新产品。

目前国内电工膜用户的原料基本依赖进口。中原石化通过与有关单位进行技术交流, 合作开发出添加剂配方, 并

冒着较大风险进行了新催化剂的试用。

在试生产过程中, 中原石化统筹安排, 克服新催化剂、添加剂带来的不确定因素的影响, 摸索调整相关工艺参数, 经过两个月的探索终于试生产出 88 t 高端聚丙烯电工膜料产品。
(慧聪塑料网)