

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.03.007

BF/黑宝石粉体增强 EP 基摩擦材料的摩擦磨损性能

刘建华¹, 贾涛芳¹, 刘华武^{2,3}

(1. 山东格瑞德集团有限公司, 山东德州 253000; 2. 天津工业大学纺织学部, 天津 300387; 3. 天津市鼎上新材料科技有限公司, 天津 300387)

摘要:以环氧树脂 (EP) 为基体, 玄武岩纤维 (BF) 为增强材料, 玄武岩水晶玻璃 (黑宝石) 粉体为摩擦性能调节剂制备 BF/黑宝石粉体增强 EP 基摩擦材料, 研究了黑宝石粉体对摩擦材料摩擦磨损性能和力学性能的影响, 然后在添加质量分数为 5% 的黑宝石粉体的基础上, 采用相同手段研究了 BF 含量对摩擦材料性能的影响。结果表明, 黑宝石粉体可以极大地提高摩擦材料的摩擦系数, 并进一步降低磨损率以及提高摩擦材料的力学性能。BF 的加入在一定程度上降低了摩擦材料的摩擦系数, 且当 BF 含量较低或较高时, 摩擦材料的磨损率均会有所提升。当 BF 质量分数为 6% 时, 摩擦材料的综合性能最优, 其摩擦系数为 0.534, 与未加 BF 的摩擦材料相比仅降低了 7.61%, 磨损率为 0.75%, 较未加 BF 的摩擦材料降低了 31.82%, 拉伸强度和弯曲强度分别为 55.568 MPa 和 92.750 MPa, 与未加 BF 的摩擦材料相比, 分别提高了 148% 和 66.42%。

关键词:玄武岩纤维; 黑宝石粉体; 环氧树脂; 摩擦材料

中图分类号: TQ323.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)03-0035-05

Friction and Wear Properties of Basalt Fiber/Basalt Crystal Glass Powder Reinforced Epoxy Resin Matrix Friction Materials

Liu Jianhua¹, Jia Taofang¹, Liu Huawu^{2,3}

(Shandong GRAD Group Co. Ltd., Dezhou 253000, China; 2. The School of Textiles, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 3. Tianjin Dingshang New Material Technology Co. Ltd., Tianjin 300387, China)

Abstract: The basalt fiber (BF) and basalt crystal glass powder reinforced epoxy resin (EP) matrix friction materials were prepared by using EP as matrix, BF as a reinforcing material and basalt crystal glass powder as friction performance moderators. The effect of basalt crystal glass powder on the friction and wear properties and mechanical properties of the friction materials were studied, and then on the basis of adding 5% basalt crystal glass powder, the effects of BF content on the properties of the friction materials were investigated by using same test methods. The results show that the basalt crystal glass powder can largely increase the friction coefficient, further reduce wear rate and improve mechanical properties of the friction materials. The addition of BF can reduce the friction coefficient to some extent, and when BF content is too low or too high, the wear rates all increase. When the mass fraction of BF is 6%, the friction material has the best overall properties, compared with the friction material without BF, the friction coefficient is 0.534 and only decreases by 7.61%, the wear rate is 0.75% and decreases by 31.82%, the tensile strength and bending strength is 55.568 MPa and 92.750 MPa respectively, which increases by 148% and 66.42% separately.

Keywords: basalt fiber; basalt crystal glass powder; epoxy resin; friction material

树脂基摩擦材料是一种高分子多元复合材料, 它由高分子基体、增强纤维和摩擦性能调节剂及其它配合剂构成, 由于其常处于高温、较大压力与剪切压力的工作环境下, 因而需要具有一定的耐热性和强度。由于主要通过摩擦来吸收和传递动力, 摩擦材料又需具备较高的摩擦系数和良好的耐磨性。树脂基摩擦材料的摩擦系数稳定、比强度和比模量大、密度小、易设计加工^[1]、可消声吸震, 被广泛应用于交通运输业、建筑行业和机械制造等领域^[2]。在某些特殊领域, 需要摩擦材料在极高温度与较高压力

下工作, 这对摩擦材料的综合性能提出了更高的要求, 而提高其耐磨性尤为重要^[3]。

玄武岩水晶玻璃 (即黑宝石) 粉体是一种新型的高性能粉体, 具有高硬 (莫氏硬度 8)、高强 (拉伸强度 > 4000 MPa)、耐高温 (工作温度 814 ~ 1120℃)、耐腐蚀^[4]等优点, 且生产和使用过程无污染, 这为其作为摩擦材料用耐磨填料提供了广泛的应用前景。添加适量黑宝石粉体, 可以改善摩擦材

联系人: 贾涛芳, 硕士研究生, 主要研究复合材料及高性能粉体
收稿日期: 2015-12-28

料的表面硬度及磨损机理,抑制犁切现象,提高材料的耐腐蚀、耐疲劳和抗剪切、冲击性能等^[5-6]。目前,黑宝石粉体在树脂基摩擦材料中的应用尚未有相关文献报道,而根据笔者前期研究,黑宝石粉体质量分数为5%时,复合材料的耐磨性最优^[7]。

玄武岩纤维(BF)作为一种新型的高性能复合材料用增强纤维,其物理性能优异,热稳定性好且耐高温、耐化学腐蚀^[8-10]。同时其价格介于碳纤维与玻璃纤维之间,性价比高,因而得到广泛应用。BF增强树脂基复合材料是符合环境生态化要求的绿色环保型材料,其在高性能纤维改性复合材料领域中具有较高的竞争力,开发高性能BF增强树脂基复合材料也是行业内的热点^[11-12]。

笔者将黑宝石粉体作为摩擦性能调节剂、短切BF作为增强剂,制备了环氧树脂(EP)基摩擦材料,研究了添加黑宝石粉体前后摩擦材料性能的变化情况,同时研究了短切BF的含量对摩擦材料摩擦磨损性能和力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原料

EP:E51,天津津宁三和化学有限公司;

固化剂:T-31,天津市赢达稀贵化学试剂厂;

低分子量聚酰胺:203,天津燕海化学有限公司;

短切BF:单丝直径9 μm ,长度10 mm,细度264 tex,拉伸强度10~13 MPa,浙江石金玄武岩纤维有限公司;

黑宝石粉体:粒径<5 μm ,天津鼎上新材料科技有限公司;

单环氧基丁基缩水甘油醚(BGE)、甲基硅油、硅烷偶联剂(KH-550)等:市售。

1.2 主要仪器及设备

平板硫化机:XLB-D(Q)型,湖州顺力橡胶机械有限公司;

摩擦磨损试验机:M-2000型,济南恒旭试验机技术有限公司;

天平:TG328型,上海济成分析仪器有限公司;

万能电子强力仪:3369型,美国Instron公司;

扫描电子显微镜(SEM):TM-1000型,日本日立公司。

1.3 试样制备

(1) 黑宝石粉体的改性。

定量配置一定浓度的硅烷偶联剂KH-550溶

液,将一定量的黑宝石粉体添加到溶液中,浸泡0.5 h后分离出黑宝石粉体。将分离出的黑宝石粉体放入120℃的烘箱中进行干燥,使粉体与硅烷偶联剂充分反应,1 h后取出,装入真空袋中防吸湿,备用。

(2) BF的表面处理。

将BF放置于250℃马弗炉中热处理30 min,然后用500 mL浓度为2 mol/L的盐酸溶液浸渍2 h,取出后用蒸馏水冲洗3次,置于120℃烘箱中干燥60 min。然后将纤维浸渍于浓度为1%的KH-550溶液中处理15 min,取出后置于120℃烘箱中干燥60 min,最后将纤维放于密封的实验袋中备用。

(3) BF/黑宝石粉体增强EP基摩擦材料的制备。

固定EP/T-31固化剂/低分子量聚酰胺/甲基硅油/BGE的质量比为100/25/10/0.3/5,将质量分数为5%的黑宝石粉体加入EP中,在真空条件下机械强力搅拌2 h,然后再添加T-31固化剂和其它助剂。待混合均匀后,将少量树脂胶液倒入涂有涂膜剂的模具内,再将定量的BF铺放在模具中,并施加一定的压力,使纤维分散均匀,最后将剩余的胶液浇注在铺有纤维的模具内。加压至15 MPa并逐步升温到60℃,保温30 min,然后在100℃下固化3 h;无压100℃保温30 min,脱模后再在190℃下保温3 h,制得BF/黑宝石粉体增强EP基摩擦材料。短切BF在摩擦材料中的质量分数为0%,2%,4%,6%,8%,10%。

1.4 测试与表征

摩擦磨损性能按GB/T 13826-2008测试,摩擦副为HT200钢环和摩擦复合材料试样,试样为6 mm×7 mm×30 mm的长方体,试验前试样经水磨砂纸打磨至表面粗糙度为0.1 μm ;试验条件为干摩擦,载荷为200 N,速度为400 r/min,时间为30 min;由测得的摩擦力矩计算得到摩擦系数,磨损率按式(1)计算。

$$\text{磨损率} = (m_1 / m_2) \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 ——天平称量的试样磨损质量损失;

m_2 ——天平称量的试样磨损前的质量。

拉伸性能按GB/T 1447-2005测试,拉伸速率为2 mm/min。

弯曲性能按GB/T 1449-2005测试,测试速率为2 mm/min。

采用SEM观察试样磨损表面形貌并拍照。

2 结果与讨论

2.1 黑宝石粉体对摩擦材料性能的影响

纯EP, EP/BF复合材料和黑宝石粉体改性EP/BF复合材料的性能对比如表1所示。

表1 纯EP, EP/BF和黑宝石粉体改性EP/BF复合材料的性能

试样类型	摩擦系数	磨损率/%	拉伸强度/MPa	弯曲强度/MPa
1 [#]	0.265	2.00	22.227	50.359
2 [#]	0.216	0.85	51.068	83.820
3 [#]	0.534	0.75	55.568	92.750

注:1[#]为纯EP;2[#]为BF增强EP基摩擦材料,BF质量分数为6%;3[#]为BF/黑宝石粉体增强EP基摩擦材料,BF质量分数为6%,黑宝石粉体质量分数为5%。

由表1可以看出,未加入黑宝石粉体时,BF增强的摩擦材料摩擦系数较纯EP有所下降,而加入黑宝石粉体后,摩擦材料的摩擦系数明显提高,且磨损率进一步降低,拉伸及弯曲性能进一步提升。与未添加黑宝石粉体的摩擦材料相比,黑宝石粉体/BF增强EP基摩擦材料的摩擦系数提高了147%,而磨损率降低了11.76%;在力学性能方面,拉伸强度提高了8.81%,弯曲强度提高了10.65%。

将黑宝石粉体作为摩擦材料的性能调节剂可以填充纤维与树脂基体间的界面孔隙,提高摩擦材料的致密性,增强各组分间的粘附强度,同时黑宝石粉体的形状不规则,可扎钉住裂纹的拓展。因而加入黑宝石粉体后可以在很大程度上改善摩擦材料的摩擦磨损性能与力学性能。

2.2 BF含量对摩擦材料性能的影响

(1) 摩擦磨损性能。

图1为BF含量对摩擦材料摩擦磨损性能的影响。从图1可以看出,随着BF含量的增加,摩擦材料的摩擦系数先逐步降低后稍有提升,当BF质量分数为8%时,摩擦材料的摩擦系数达到最小值,为0.518,较未添加BF的摩擦材料降低了10.38%;摩擦材料的磨损率先稍有提高后逐渐下降,最后又有所提升,当BF质量分数为6%时,摩擦材料的磨损率达到最小值,为0.75%,较未添加BF的摩擦材料降低了31.82%。

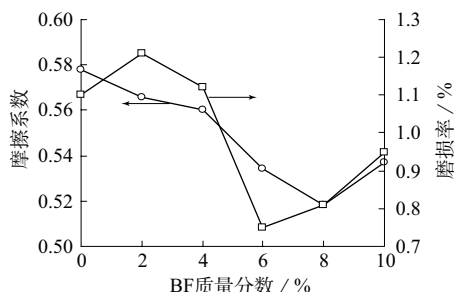


图1 BF含量对摩擦材料摩擦磨损性能的影响

由上述数据可以看出,BF的加入在一定程度上降低了摩擦材料的摩擦系数,但降低幅度并不大,在BF含量较高时反而有所提高。而含量过少或过多的BF均会导致摩擦材料的磨损率升高,这是因为当BF含量较少时,其所起到的增强作用不明显,摩擦材料承载压力时会出现局部受力,摩擦材料试样与对偶件接触面易出现微裂纹。随着BF含量的提高,树脂基体层变薄,受到外界载荷时,树脂基体层脱落速度提高,BF成为承受载荷的主体,同时BF也能束缚EP大分子的滑移,因而摩擦材料抵抗外加载荷的能力随之增强,耐磨性能得到提高。但BF含量过高时,分散不均会发生团聚现象,材料内部缺陷增加,反而会影响摩擦材料的整体强度和耐磨性能。

对于应用于制动器衬片等领域的摩擦材料来说,要求其具有较高的摩擦系数及较小的磨损率,故从图1看,BF的最佳质量分数应为6%,此时磨损率最低,而摩擦系数为0.534,相比未加BF时仅降低了7.61%。

(2) 力学性能。

图2为BF含量对摩擦材料拉伸与弯曲强度的影响。

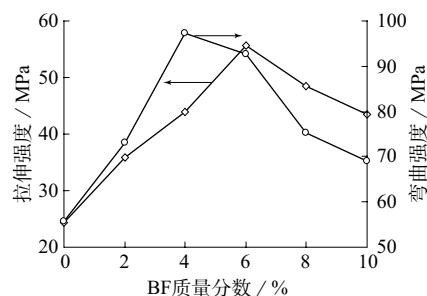


图2 BF含量对摩擦材料拉伸与弯曲性能的影响

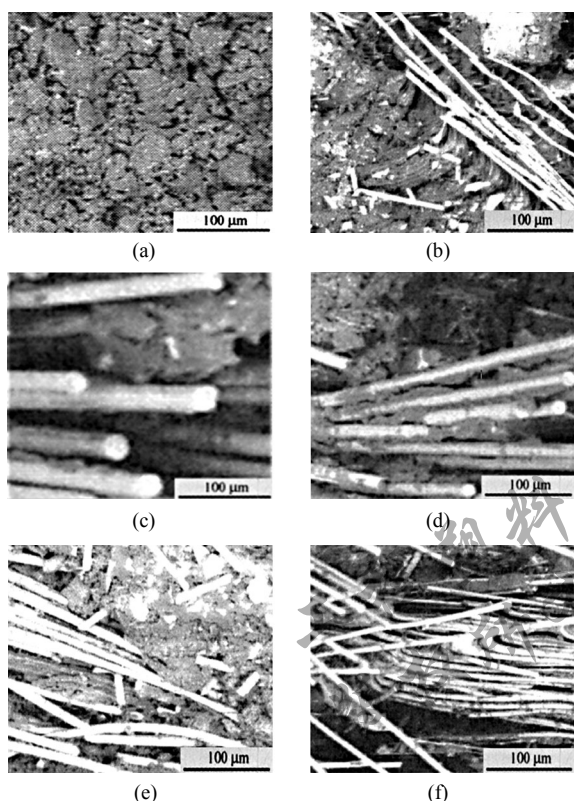
从图2可以看出,随着BF含量的增加,摩擦材料的拉伸和弯曲强度都呈现先上升后下降的趋势。当BF质量分数为6%时,摩擦材料的拉伸强度最高,为55.568 MPa,比未加BF的摩擦材料提高了148%;当BF质量分数为4%时,摩擦材料的弯曲强度最高,为97.234 MPa,比未加BF的摩擦材料提高了74.47%,而当BF质量分数为6%时,虽然此时弯曲强度有所下降,但仍达到92.750 MPa,远高于未加BF的摩擦材料,提高幅度达66.42%。

当BF含量较少时,纤维能够均匀地分散在树脂基体中,在树脂和黑宝石粉体间起桥梁连接作用。摩擦材料试样受到外界载荷时,黑宝石粉体与纤维平均承担应力,增强纤维也能够有效地抑制裂纹的

产生和拓展。因而随着 BF 含量的增加,摩擦材料的力学性能也不断提高。然而当 BF 含量过高时,其在树脂中发生团聚,影响了摩擦材料的整体均匀性,摩擦材料的缺陷增多,力学性能反而开始下降。

(3) 磨损表面形貌。

图 3 为不同 BF 含量的摩擦材料磨损表面的 SEM 形貌。



BF 质量分数: a—0%; b—2%; c—4%; d—6%; e—8%; f—10%

图 3 不同 BF 含量的摩擦材料磨损表面的 SEM 形貌

由图 3a 可以看出,没有添加 BF 的摩擦材料表面相对粗糙,出现大量的片状磨屑,此时的磨损机理属于粘着与疲劳磨损。由图 3b 可以看出,当 BF 含量较少时,对偶件表面主要与摩擦材料表面的 EP 相互接触,此阶段主要是粘着磨损,随着树脂的磨损剥落,摩擦材料表面出现凹凸不平,同时一部分 BF 暴露,承担了一定的载荷。这一阶段界面空洞与缝隙部位的裂纹也逐渐产生并拓展。

从图 3c~图 3e 可以看出,随着 BF 含量的增加,摩擦材料表面的 EP 磨损脱落,开始由 BF 与对偶件进行接触,BF 承担载荷,因而基体的粘着磨损降低。虽然摩擦材料经磨损后表面有犁沟、纤维拔出后留下的空洞、裂纹以及小块剥落等现象,但此阶段摩擦材料磨损表面相对光滑。

由图 3f 可以看出,BF 含量过高时,易导致纤维

与基体间的粘结性变差,疲劳裂纹在摩擦材料中迅速拓展,裂纹将穿透界面引起纤维与基体间脱粘进而造成纤维从基体中抽拔出来。纤维的增强作用失去后,EP 成片状剥落,此时摩擦材料主要呈现疲劳磨损。

3 结论

(1) 黑宝石粉体可以大幅提高 BF 增强 EP 基摩擦材料的摩擦系数,并进一步降低磨损率以及提高摩擦材料的力学性能。

(2) BF 的加入在一定程度上降低了摩擦材料的摩擦系数,但当 BF 含量较高时,摩擦系数又有所提高。少量 BF 的加入增加了摩擦材料的磨损率,随着 BF 含量的增加,磨损率开始下降,当 BF 质量分数为 6% 时,摩擦材料的磨损率达到最小值,随着 BF 含量的继续增加,磨损率有所上升。摩擦材料的拉伸和弯曲性能随着 BF 含量的增加均呈现先上升后下降的趋势。

(3) 当 BF 质量分数为 6% 时,摩擦材料具有最佳的综合性能。其摩擦系数为 0.534,较未添加 BF 的摩擦材料仅降低了 7.61%;磨损率为 0.75%,较未添加 BF 的摩擦材料降低了 31.82%;拉伸强度和弯曲强度分别为 55.568 MPa 和 92.750 MPa,分别较未添加 BF 的摩擦材料提高了 148% 和 66.42%。

参考文献

- [1] 李兵,杨圣崇,曲波. 汽车摩擦材料现状与发展趋势[J]. 材料导报,2012,26(s1):348-350.
Li Bing, Yang Shengdong, Qu Bo, et al. Research and development of automobile friction material[J]. Materials Review, 2012, 26(s1):348-350.
- [2] 陈祥宝,张宝艳,邢丽英. 先进树脂基复合材料技术发展及应用现状[J]. 中国材料进展,2009,28(6):2-13.
Chen Xiangbao, Zhang Baoyan, Xing Liying. Application and development of advanced polymer matrix composites[J]. Materials China, 2009, 28(6):2-13.
- [3] Song Haojie, Zhang Zhaozhu, Men Xuehu, et al. A study of the tribological behavior of nano-ZnO-filled polyurethane composite coatings[J]. Wear, 2010, 26(1-2):79-85.
- [4] Pang Aiyun, Liu Huawu, Yang Zongbin. The performance of igneous glass powder reinforced concrete[J]. Advanced Materials Research, 2011, 332-334:2 032-2 035.
- [5] 蔡立芳,黄承压,黄兴. 聚合物基复合材料摩擦磨损性能的研究进展[J]. 润滑与密封,2005(6):183-190.
Cai Lifang, Huang Chengya, Huang Xing. Actuality and prospect in research on friction and wear properties of polymers and polymer-based composites[J]. Lubrication Engineering, 2005(6):183-190.

- [6] Etemadi H, Shojaei A, Jahanmard P, et al. Effect of alumina nanoparticle on the tribological performance of automotive brake friction materials[J]. Reinforced Plastics and Composites, 2014, 33(2):166-178.
- [7] 贾涛芳, 刘华武. 黑宝石粉体增强无溶剂涂料的研制[J]. 涂料工业, 2015, 45(7):32-34.
- Jia Taofang, Liu Huawu. Basalt glass powder reinforced solvent-free coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2015, 45(7):32-34.
- [8] 王正刚, 张卫强, 张义军, 等. 玄武岩纤维性能及其鉴别方法[J]. 玻璃纤维, 2015(3):40-47.
- Wang Zhenggang, Zhang Weiqiang, Zhang Yijun, et al. Properties and identification of basalt fibers[J]. Fiber Glass, 2015(3):40-47.
- [9] 递春. 高性能玄武岩纤维的性能及应用[J]. 上海纺织科技, 2014(1):12-14.
- Di Chun. The property and its application of high performance basalt fiber[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2014(1):12-14.
- [10] 郭昌盛, 杨建忠, 赵永旗. 连续玄武岩纤维性能及应用[J]. 高科技纤维与应用, 2014, 39(6):25-29.
- Guo Changsheng, Yang Jianzhong, Zhao Yongqi. The properties and applications of basalt fiber[J]. Hi-Tech Fiber & Application, 2014, 39(6):25-29.
- [11] 赵明良, 唐佃花. 玄武岩连续纤维的性能及其在复合材料中应用[J]. 现代纺织技术, 2009(2):54-55.
- Zhao Mingliang, Tang Dianhua. Properties of basalt continuous fiber and its application in composite materials[J]. Advanced Textile Technology, 2009(2):54-55.
- [12] Colombo C, Vergani L, Burrmn M. Static and fatigue characterization of new basalt fiber reinforced composites[J]. Composite Structures, 2011, 94(3):1165-1174.

“互联网+”绿色生态行动方案利好废塑料行业

发改委印发的《“互联网+”绿色生态三年行动实施方案》将全面利好环保产业尤其是固废资源回收利用行业的转型升级。方案中要点任务共计24条,其中10条涉及再生资源回收。

方案对于完善废旧资源回收利用和在线交易体系制定了明细规则。要求印发《2016-2020“互联网+”资源循环行动方案》,并下发关于《推动再生资源回收行动转型升级意见》,推动回收行业利用信息技术从松散粗放型向集约型、规模型、效益型方向转变。另外支持回收行业利用物联网、大数据开展信息采集、数据分析,推广“互联网+”回收新模式。

1 国家层面对废塑料行业的不断支持

2015年7月1日,财政部印发《资源综合利用产品和劳务增值税优惠目录》;

2015年中央将生态文明建设写入十三五规划,9月21日国务院印发《生态文明体制改革总体方案》,明确惠及循环再生经济发展;

2016年1月1日工信部《废塑料综合利用行业规范条件》开始实施;

2016年1月21日发改委在本方案中提及《“互联网+”资源循环行动方案(2016-2020)》和《关于推动再生资源回收行业转型升级的意见》。

从2015年到现在国家在不断出台行业新规,表明国家在支持和引导废塑料行业向正规化、规模化、集约化发展。

2 “互联网+”助推行业线上线下转型发展

2015年两会期间所提出的“互联网+”行动计划,之后国务院出台了《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》,而此次具体方案的出台更彰显了国家在推动“互联网+”绿色生态的决心。互联网时代的大数据采集将打造“互联网+”回收新模式;而鼓励互联网企业参与城市与园区废弃物回收平台也是创新资源回收的新举措;此外利用二维码技术对电子废物的跟踪也将推动WEEE产品处理的标准指标的审核。

3 在线交易系统将革命整个废塑料行业

推动现有骨干再生资源交易市场向线上线下结合转型升级,逐步形成行业性、区域性、全国性的产业废弃物和再生资源在线交易系统,完善线上信用评价和供应链融资体系,开展在线竞价,发布价格交易指数,提高稳定供给能力,增强主要再生资源品种的定价权。

在线交易系统平台的打造将会带来废塑料行业的一场巨大变革,“互联网+”模式将打造新型回收交易平台,整合线上线下资源,解决再生资源行业渠道层级多、渠道加价等行业痛点。“互联网+”将推动再生资源行业加快发展与整合,行业龙头公司将进一步提升行业占有率和定价话语权。

废塑料行业经历了最惨淡的2015,也将迎来最艰难的2016,或许这是全球经济(油价、汇率)的影响,或许是我国新常态社会经济结构转型带来的阵痛。目前很多企业家都在思考转型,有人离开,有人坚守。

政府不断地出台新政规范行业发展,这既是严格管理,也是对行业的一次正确引导,未来废塑料加工利用企业的方向就在规模化、集约化、绿色化和互联网化。我们正躬逢着一个伟大的时代变革,“变”是这个时代里唯一不变的东西。我们相信阵痛结束会迎来新的生命,那是行业的未来和希望,坚持就是胜利。(慧聪网)

工信部表示将加大可降解替代塑料产品支持

随着社会对降解材料的认识深化、需求加大以及市场的接受度不断提高和国家限塑政策的完善和实施,降解材料的发展前景将越来越好。为此,中国工信部已选择新疆、云南等省区和一些城市建设应用示范区进行试点,对塑料回收、利用将给予更大的关注和支持。

此外,目前国家正在实施的“双百工程”(建立100个新材料基地,选择100家企业)将会更好地起到带头和示范作用,将加快回收利用的研究和实施步伐,降解材料行业加强行业标准的制定工作,加强企业的交流和沟通,不断推出新产品。(包装网)