

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.03.010

碳酸钙改性聚苯乙烯的初步选择性激光烧结实验^{*}

杨来侠, 龚林

(西安科技大学机械工程学院, 西安 710054)

摘要: 针对选择性激光烧结 (SLS) 成型的高分子粉末烧结件尺寸精度差、强度低的问题, 以聚苯乙烯 (PS) 为基体粉末, 探讨了不同扫描速度下铝酸酯偶联剂处理前后的碳酸钙对 PS 粉末烧结性能的影响。结果表明, 随扫描速度的增加, 烧结件的尺寸精度提高、弯曲强度降低; 未经处理的碳酸钙对 PS 烧结件的尺寸精度没有影响, 反而降低了弯曲强度; 经铝酸酯处理的碳酸钙在一定程度上提高了 PS 烧结件的尺寸精度和弯曲强度, 当扫描速度为 1 500 mm/s 时, 添加质量分数为 2% 的经铝酸酯处理的碳酸钙, PS 烧结件的 Z 向高度相对误差为 4.25%, 较纯 PS 烧结件减少了 48.5%, 弯曲强度达到 6.32 MPa, 比纯 PS 烧结件提高了 18.4%, 但当扫描速度提高到 1 800, 2 000 mm/s 时, 两者之间的弯曲强度差异变小。

关键词: 聚苯乙烯; 碳酸钙; 铝酸酯; 选择性激光烧结; 尺寸精度; 弯曲强度

中图分类号: TG439.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)03-0049-05

Preliminary Selective Laser Sintering Experiment of Polystyrene Modified by Calcium Carbonate

Yang Laixia, Gong Lin

(College of Mechanical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract : According to the problems that the size precision and mechanical strength of polymer powder sintering parts molded by SIS are too low, polystyrene (PS) were selected to act as SLS matrix materials, the effects of calcium carbonate treated by aluminum acid ester coupling agent and untreated calcium carbonate on the sintering performance of PS powder under different scanning speed were discussed. The results show that with the increase of scanning speed, the size precision of PS sintering part increases and the bending strength decreases. The untreated calcium carbonate has no effect on the size precision of PS sintering parts, but reduces the bending strength. Calcium carbonate treated with aluminum acid ester can improve the size precision and bending strength of PS sintering parts to some extent. When the scanning speed is 1 500 mm/s, the Z-direction height relative error of PS sintering part filled with 2% calcium carbonate treated by aluminum acid ester is 4.25% and decreases by 48.5% comparing with pure PS sintering part, the bending strength reaches 6.32 MPa and increases by 18.4% comparing with pure PS sintering part, but when the scanning speed is improved to 1 800 or 2 000 mm/s, the difference of bending strength of the two sintering parts is slight.

Keywords : polystyrene ; calcium carbonate ; aluminum acid ester ; selective laser sintering ; size precision ; bending strength

选择性激光烧结 (SLS) 技术是快速成型的重要分支之一。它利用激光器发射出的激光作为能量源, 烧结铺在成型机上的粉末, 当一个层加工完成之后, 工作台下降一个对应的层厚进行下一层的烧结过程, 如此反复, 最终形成三维产品^[1]。聚苯乙烯 (PS) 粉作为一种常用的高分子粉末材料被普遍应用于 SLS 成型技术。PS 粉吸湿率小, 无固定熔点, 当其加热到玻璃化转变温度 (T_g) 以上, 便转变为高弹态, 针对 SLS 快速成型工艺而言, 烧结过程中由于每一点的烧结时间不一致, 易产生内应力使得烧结件出现收缩变形, 所以由 SLS 快速成型工艺制造出的 PS 烧结件存在空隙率较大、精度低等问题^[2], 严重影响到烧结件的质量以及后续的铸造工艺。碳酸

钙作为一种无机填充剂, 其粒子尺寸小, 表面积大, 表面原子处于高度活化状态, 对聚合物有较强的界面相互作用, 可对聚合物进行增韧增强, 因此常被应用于塑料的填充改性^[3]。鉴于此, 笔者以 PS 粉为基料, 采用铝酸酯偶联剂对碳酸钙进行表面处理, 然后采用 SLS 技术制备了碳酸钙改性的 PS 烧结件, 分析了不同扫描速度下铝酸酯处理前后的碳酸钙对烧结件尺寸精度和弯曲强度的影响, 以便为后续研究提供参考和依据。

^{*} 国家 863 计划项目 (2015AA042503)

联系人: 杨来侠, 教授, 博士, 主要从事塑料快速成型模具制造技术研究

收稿日期: 2015-12-23

1 实验部分

1.1 主要原材料

PS粉:西安交通大学快速成型中心;

碳酸钙:直径约为10 μm ,北京三明轩贸易有限公司;

铝酸酯:靖江市康高特塑料科技有限公司。

1.2 主要设备及仪器

激光快速成型机:XJRPSLS300型,陕西恒通智能机器有限公司;

生物力学疲劳试验机:PLD-5kN型,西安力创材料检测技术有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):S-4800型,日本Hitachi公司;

新型密封式粉碎机:广州市旭朗机械设备有限公司;

游标卡尺:FS-0601型,精度为0.02 mm,香港五羊工具有限公司;

分析天平:AL104型,瑞士Metler公司。

1.3 试样制备

将PS粉经过筛选,得到颗粒直径约为150 μm 的粉末,采用机械混合方法将质量分数为2%的碳酸钙粉末与PS粉末混合均匀,制得PS/碳酸钙复合粉末;将块状铝酸酯进行粉碎,采用机械混合方法将铝酸酯粉末(用量为碳酸钙质量的2%)与碳酸钙粉末混合均匀,制得碳酸钙/铝酸酯复合粉末,将质量分数为2%的碳酸钙/铝酸酯复合粉末与PS粉末混合均匀,制得PS/碳酸钙/铝酸酯复合粉末;利用快速成型机(激光类型为 CO_2 ,功率范围0~60 W,光斑直径0.3 mm,最大成型尺寸300 mm $\times$ 300 mm $\times$ 275 mm),在激光功率25 W、预热温度75 $^\circ\text{C}$ 、分层厚度0.25 mm、扫描间距0.32 mm的工艺参数下,调节激光的扫描速度(1 500,1 800,2 000 mm/s),将纯PS粉、PS/碳酸钙粉、PS/碳酸钙/铝酸酯粉烧结成型为80 mm $\times$ 10 mm $\times$ 4 mm的长方型烧结件,总计9组,每组5个,为了保证5个烧结件性能一致,在烧结时将5个烧结件的模型并行排列,同时成型。

1.4 性能测试

尺寸精度测试:用游标卡尺测量所制备烧结件的Z向高度(厚度),并分别计算其与设计值(4 mm)间的相对误差。

弯曲强度测试:采用生物力学疲劳试验机对所制备的烧结件进行3点弯曲试验,跨距 L 为64 mm,

支撑棍半径为5 mm,施力棍半径为5 mm,加载速率为2 mm/min,对每个烧结件不同位置多次测其宽度 b 和高度 h ,取其平均值,最大弯曲力 F 由疲劳试验机获得,根据弯曲强度 $=3FL/2bh^2$ 的计算公式,求出每个烧结件的弯曲强度,取各组5个烧结件弯曲强度的平均值作为该组的弯曲强度。

SEM分析:将烧结件机械折断后对其断面喷金处理,采用SEM观察断裂面内部组织形态并拍照。

2 结果与讨论

2.1 PS烧结件尺寸精度和强度的影响因素分析

(1) PS烧结件尺寸偏离的原因分析。

经过大量的实验,结合SLS的特点,笔者认为PS烧结件的尺寸偏离是由于加工过程中的不均匀加热和高分子材料的状态变化。

烧结过程中的不均匀加热来源于高斯分布的激光能量和逐层烧结原理。对于SLS工艺而言激光能量随粉末间的空隙向下传递,在传递过程中能量越来越低,使得烧结件每一层获得的能量不同,越接近顶部所获得的能量越多,熔融效果越好,粉末状态变化越大,收缩越大,越靠近底部所获得的能量越少,熔融效果越差,粉末状态变化越小,收缩越小,从而使得烧结件的上下部分之间产生内应力^[4]。PS作为一种非晶态聚合物材料,烧结中由粘流态冷却到玻璃化状态时,烧结件的体积发生了较大的变化,产生了一定的收缩应力,导致尺寸偏离^[5]。针对此种情况,实验中采用添加碳酸钙等无机刚性粒子的方法限制PS分子链的运动,以求通过降低PS粉末在烧结过程中的状态变化提高烧结件的尺寸精度。

(2) PS烧结件强度低的原因分析。

对于SLS技术烧结的大尺寸制件而言,要将其从成型区域中完整取出,需要保证弯曲强度能够达到一定的要求,否则在取件的过程中易损坏烧结件。

PS烧结件的弯曲强度取决于PS的自身性能和工艺参数的设置。PS是一种非晶态聚合物,非晶态聚合物在 T_g 时的黏度约为1 TPa $\cdot$ s,一般认为黏性流动是聚合物粉末材料的主要烧结机理,材料黏度越大制件的致密度越低,导致其强度越低^[6]。SLS的主要工艺参数包括激光功率、扫描速度、扫描间距、分层厚度等,这些参数对烧结件的强度具有较大的影响。其中扫描速度是SLS成型中重要的参数之一,扫描速度不仅影响烧结件的强度,对其尺寸精度也有较大的影响,因此,实验中重点研究了不同扫描速度对烧结件尺寸精度和强度的影响。

(3) 扫描速度的选择。

大量的实验表明,在其它工艺参数一定时,随着扫描速度的增大,烧结件的 Z 向尺寸精度提高,收缩率减小,这是由于扫描速度的增大,单位区域内粉末未受激光照射时间变短,粉末的熔融程度降低,粉末状态变化小,导致收缩率减少,烧结件的 Z 向尺寸精度提高^[7]。但是并非扫描速度越大越好,扫描速度越大,激光对粉末的加热时间越短,传输的热量越少,粉末的熔融状况越差,致密度越低,而提高强度的关键性问题就是使粉末能够充分的熔融,因此在改变扫描速度的情况下,要综合考虑到 Z 向尺寸精度和强度。根据相邻扫描线之间的热影响,当扫描速度增大到 2000 mm/s 后,烧结程度反而会增大,导致 Z 向尺寸精度降低,收缩率增大^[8]。为此,最终选择的扫描速度为 1500,1800,2000 mm/s。

2.2 烧结件的 Z 向高度与相对误差

图 1 为不同扫描速度下 3 种烧结件的 Z 向高度及其相对误差。

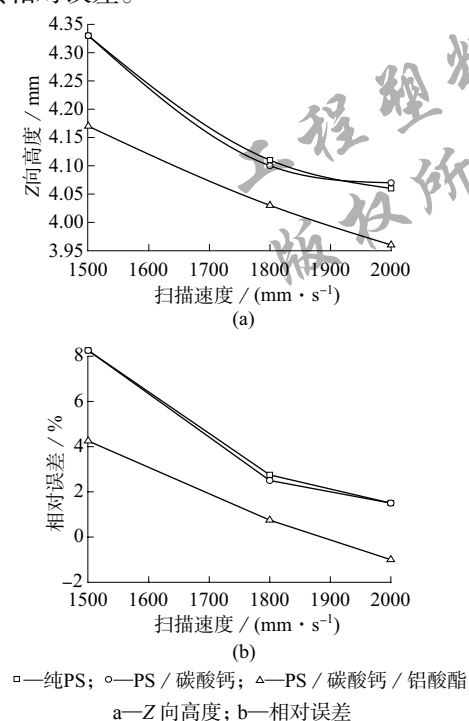


图 1 不同扫描速度下 3 种烧结件的 Z 向高度和相对误差

由图 1 可以看出,随着扫描速度的提高,3 种烧结件的 Z 向高度和相对误差均逐渐降低,说明提高扫描速度可以提高 PS 烧结件的尺寸精度。另外,纯 PS 烧结件与 PS / 碳酸钙烧结件的 Z 向高度及其相对误差相差不大,这是因为后者加入的碳酸钙粒径过小,比表面积大,表面自由能高,碳酸钙粒子与粒子之间的团聚强度较高,使得在烧结过程中大部

分的碳酸钙粒子未粘接在 PS 颗粒表面,其在烧结过程中单独进行了烧结,实质上用碳酸钙粉末取代了一部分的 PS 粉,导致尺寸精度没有变化^[9]。

加入铝酸酯处理的碳酸钙后,PS / 碳酸钙 / 铝酸酯烧结件的 Z 向高度和相对误差较纯 PS 烧结件与 PS / 碳酸钙烧结件的低,即其尺寸精度有了一定的提高,当扫描速度为 1500 mm/s 时, Z 向高度相对误差为 4.25%,较纯 PS 烧结件减少了 48.5%。分析其原因可能是铝酸酯作为一种具有两性结构的偶联剂,其分子中一部分基团可以和碳酸钙结合,另一部分基团可与 PS 结合,从而将 PS 和碳酸钙有效结合起来,使得碳酸钙在 PS 粉中实现了有效填充,激光在向下传递时能量削弱程度降低,产生的应力减小, Z 向尺寸更接近设计尺寸^[10]。

2.3 烧结件的弯曲强度

图 2 为不同扫描速度下 3 种烧结件的弯曲强度。

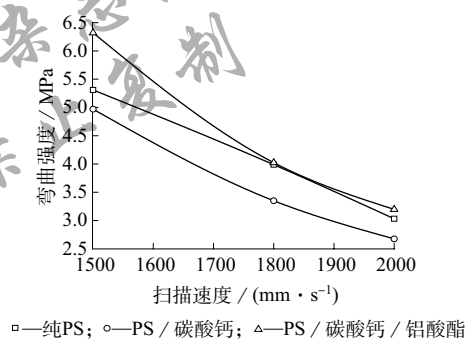


图 2 不同扫描速度下 3 种烧结件的弯曲强度

由图 2 可以看出,随着扫描速度的提高,3 种烧结件的弯曲强度逐渐降低。对比纯 PS 烧结件与 PS / 碳酸钙烧结件的实验数据,发现加入碳酸钙后,烧结件的弯曲强度反而降低,这是因为未改性的碳酸钙粒子与粒子之间的团聚强度较高,使得在烧结过程中大部分的碳酸钙粒子未粘接在 PS 颗粒表面,而 PS 是一种非晶态聚合物,在 T_g 时其黏度较大,再加入团聚现象严重的碳酸钙粒子,会导致材料在整个烧结过程中的黏度增大,烧结件致密度变低,强度变低。

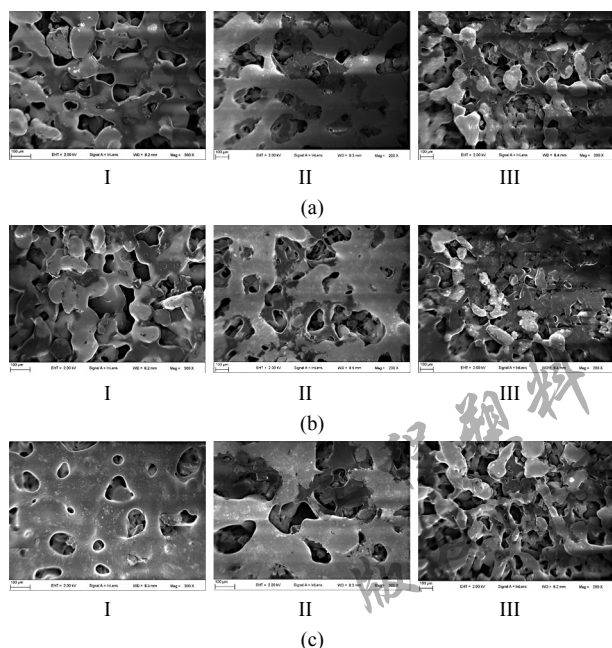
加入铝酸酯处理的碳酸钙后,PS / 碳酸钙 / 铝酸酯烧结件的弯曲强度有所提高,这是因为在烧结过程中铝酸酯加强了碳酸钙与 PS 之间的结合力,使得碳酸钙粒子之间的团聚现象减弱,大部分碳酸钙粒子粘接在 PS 粒子上,整个粉末体系的黏度降低,致密度提高,使得强度得到提高。但从图 2 也可以看出,当扫描速度增至 1800,2000 mm/s 时,PS / 碳酸钙 / 铝酸酯烧结件与纯 PS 烧结件的弯曲强

度差异变小,说明在高扫描速度下,铝酸酯处理的碳酸钙对 PS 烧结件的增强效果较低。

结合图 1 和图 2 可以看出,当尺寸精度相对误差在 5% 以内时,PS/ 碳酸钙/ 铝酸酯烧结件在 1 500 mm/s 扫描速度下的弯曲强度达到 6.32 MPa,比纯 PS 烧结件提高了 18.4%,可满足一般中小零件的强度要求。

2.4 烧结件的微观组织形貌

图 3 为 3 种烧结件在不同扫描速度下的断面 SEM 照片。



扫描速度: I—1 500 mm/s; II—1 800 mm/s; III—2 000 mm/s

a—纯 PS; b—PS/ 碳酸钙; c—PS/ 碳酸钙/ 铝酸酯

图 3 不同扫描速度下 3 种烧结件的断面 SEM 照片

从图 3 可以看出,随着扫描速度的增加,3 种烧结件的空隙率逐渐变大,致密度变低,粉末的熔融状态变差,状态变化较少,故其弯曲强度逐渐降低,而尺寸精度逐渐提高。由图 3a 可以看出,在扫描速度 2 000 mm/s 下,纯 PS 粉小部分被融化、空隙大、致密度很低。从图 3b 可以看出,PS/ 碳酸钙烧结件的断面形貌与纯 PS 的相差不大,在扫描速度 2 000 mm/s 下,由于碳酸钙团聚现象严重,被融化的粉末更少,空隙更大,导致致密度更低。由图 3c 可以看出,加入铝酸酯处理的碳酸钙后,在扫描速度 1 500 mm/s 下,粉末的熔融状态明显改善,此时烧结件断面上的孔较少,空隙率减小,致密度有很大的提高,因此弯曲强度较高,同时也可以看出铝酸酯处理的碳酸钙在 PS 基体中的分散较为均匀,说明其与 PS 之间的作用力较大,虽然有较多的粉末被熔

融,发生了状态变化,但由于铝酸酯处理的碳酸钙与 PS 之间的粘接力增强,碳酸钙实现了有效的填充作用,激光向下传递时能量削弱程度降低,产生的应力减小,尺寸精度提高;当扫描速度增加到 1 800, 2 000 mm/s 时,可以看出,PS/ 碳酸钙/ 铝酸酯烧结件中粉末的熔融状态与纯 PS 的相差不大,这可能是提高扫描速度后,两者的弯曲强度相差较小的原因。

3 结论

(1) 随着扫描速度的增加,纯 PS, PS/ 碳酸钙和 PS/ 碳酸钙/ 铝酸酯烧结件的尺寸精度逐渐提高,而弯曲强度逐渐降低。

(2) 加入碳酸钙后,烧结件的尺寸精度基本没有变化,而弯曲强度降低。

(3) 加入铝酸酯处理的碳酸钙后,烧结件的尺寸精度提高,当扫描速度为 1 500 mm/s 时,PS/ 碳酸钙/ 铝酸酯烧结件的 Z 向高度误差为 4.25%,较纯 PS 烧结件减少了 48.5%,弯曲强度达到 6.32 MPa,比纯 PS 烧结件提高了 18.4%。当扫描速度提高到 1 800, 2 000 mm/s 时,PS/ 碳酸钙/ 铝酸酯烧结件的弯曲强度与纯 PS 烧结件之间的差异变小。

参考文献

- [1] 王广春, 赵国群. 快速成型与快速模具制造技术及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 1-2.
Wang Guangchun, Zhao Guoqun. Rapid prototyping and rapid tooling technology and its application [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2004: 1-2.
- [2] 李景新. 激光选区烧结聚苯乙烯的试验研究 [J]. 电加工与模具, 2003(3): 32-34.
Li Jingxin. The test study on polystyrene based on SLS [J]. Electromachining and Mould, 2003(3): 32-34.
- [3] 谭能超, 杨坡, 梁琦, 等. 碳酸钙填充改性聚苯乙烯 [J]. 辽宁化工, 2005, 34(1): 9-13.
Tan Nengchao, Yang Po, Liang Qi, et al. Modification of polystyrene by filling calcium carbonate [J]. Liaoning Chemical Industry, 2005, 34(1): 9-13.
- [4] 杨来侠, 刘旭, 张文明. 聚苯乙烯粉选择性激光烧结工艺参数优化 [J]. 工程塑料应用, 2015, 43(6): 44-49.
Yang Laixia, Liu Xu, Zhang Wenming. Process parameters' optimization of polystyrene powder based on selective laser sintering [J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6): 44-49.
- [5] 谢小林, 王云英, 孟江燕, 等. 聚苯乙烯粉末选择性激光烧结成型机理的研究 [J]. 航天材料学报, 2006, 26(1): 32-35.
Xie Xiaolin, Wang Yunying, Meng Jiangyan, et al. Study on the mechanism of polystyrene powder in selective laser sintering [J]. Journal of Aerospace Materials, 2006, 26(1): 32-35.

- [6] 闫春泽, 史玉升, 杨劲松, 等. 晶态与非晶态聚合物在激光烧结中的差异 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(3): 20–23.
Yan Chunze, Shi Yusheng, Yang Jinsong, et al. The differences of the selective laser sintering between crystalline and amorphous polymer[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2008, 36(3): 20–23.
- [7] 姜乐涛, 白培康, 赵娜, 等. PS 粉末 SLS 快速成型收缩率实验研究 [J]. 工程塑料应用, 2015, 43(4): 41–45.
Jiang Letao, Bai Peikang, Zhao Na, et al. Study on shrinkage rate of ps powders with selective laser sintering rapid prototyping experiment[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4): 41–45.
- [8] 许鹏, 文世峰, 魏青松, 等. 基于 PSO-SVR 的选择性激光烧结制件收缩研究 [J]. 新技术新工艺, 2013(5): 27–30.
Xu Peng, Wen Shifeng, Wei Qingsong, et al. Research on the part shrinkage during selective laser sintering based on PSO-SVR[J]. New Technology and New Process, 2013(5): 27–30.
- [9] 王旭, 唐伟, 孙坚, 等. 影响纳米碳酸钙在聚苯乙烯中分散因素的研究 [J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(2): 613–616.
Wang Xu, Tang Wei, Sun Jian, et al. Study on key factors of influencing dispersion of nano calcium carbonate in polystyrene[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2008, 37(2): 613–616.
- [10] 刘立华, 刘会媛, 刘东莲. 铝酸酯偶联剂改性纳米碳酸钙效果研究 [J]. 化工矿物与加工, 2005(3): 4–6.
Liu Lihua, Liu Huiyuan, Liu Donglian. Research on surface modification of nano-sized CaCO_3 by aluminate coupling agent[J]. Industrial Minerals and Processing, 2005(3): 4–6.

青岛赢创被德国炭黑巨头收至麾下

全球知名的炭黑供应商欧励隆工程炭公司日前宣布, 已完成对青岛赢创化学有限公司 (QECC) 剩余股份的收购。

据了解, 此次收购始于 2015 年 10 月, 欧励隆与赢创集团达成协议, 获得了赢创集团持有 QECC 的 52% 股份, 以及德国投资开发公司 (DEG) 所持有的 15% 股份。

对于另一合作伙伴胶州市财政投资中心所持有 33% 股份的收购事宜, 双方一直在进行深入谈判。

欧励隆首席执行官 Jack Clem 表示: “我们对 QECC 的定位和业绩非常满意, 欧励隆集团内部的整合也很融洽。我们在亚太地区的市场地位本就非常稳固, 而 QECC 的加入更让我们如虎添翼。”

据了解, QECC 成立于 1994 年, 总部设在山东青岛, 系德国赢创工业集团、DEG 与胶州市财政投资中心组建的合资公司。该公司青岛工厂年产能约 75 000 t, 目前拥有 3 条炭黑生产线, 生产重点为高端炭黑产品, 位置靠近我国主要港口和交通基础设施, 是参与未来市场竞争优越的物流基地。

欧励隆工程炭公司提供用于涂料、印刷油墨、聚合物、橡胶和高性能炭黑产品。其高品质槽法炭黑、炉法炭黑和特种炭黑, 可提高塑料、油漆和涂料、油墨和墨粉、粘结剂和密封剂、轮胎以及橡胶制品 (如汽车传动带和软管等) 的性能。该公司运营 14 个生产基地和 4 个应用技术中心, 在世界各地拥有员工 1 350 余人。 (慧聪网)

美国如何处理医疗废弃塑料

由于常常被曝光违法再生、危及公众安全, 医疗废弃塑料在国内名声狼藉。在这一方面, 医药大国美国对医疗废弃塑料的处理可供借鉴。

在美国, 绝大部分的医疗废弃物都在经历严格消毒后被填埋或焚烧。但第 3 种选择, 即回收再生也开始加速发展。

作为案例之一, 美国的 Triumvirate Environmental Inc. 公司成功地把医药废弃物转变成为塑料建材。该公司正计划将其经过验证的工艺推广到全美各地。

这家成立已有 30 年的公司年营业额约为 1.2 亿美元,

主要从事危险和医疗废弃物管理。

凭借在该行业经营多年的背景, 该公司在美国宾夕法尼亚州珍妮特建造了一家工厂, 用于回收塑料含量高的医药废弃物, 并将其加工成为塑料建材, 以 Best Plus 品牌在市场上进行销售。

公司 CEO John Mc Quillan 说: “我们注意到了制药公司和医院客户在处理废弃物方面的需求。整个制药行业都力争到 2020 年实现零填埋的目标。他们在寻找各种可行的再生方法。”

他说: “医疗用材往往需要用到大量的包装, 而这些包装大部分是由塑料构成的。而最重要的是, 它们含有可供再利用的高品质塑料。这种材料的问题在于, 塑料的质量等级往往不尽相同, 并且混杂着非塑料材料, 如纸张和纸板。所以这种材料很难通过普通的再生手段来进行再生。我们现在的处境是, 我们要把这些污染严重的材料进行再生。”

该公司先对废弃物消毒杀菌, 然后分拣出其所含的金属, 并把剩余的塑料和纸张加工成建材。

医药废弃物中的塑料含量很高, 绝大部分都是高密度聚乙烯, 但也有各种其它的塑料。各种塑料的混杂, 加上还含有纸张和纸板, 使得对材料的分拣成本高昂。据 Mc Quillan 估计, 废弃物中有 70%~80% 是高密度聚乙烯, 另有 15% 是混合塑料。

Mc Quillan 说: “大部分塑料再生企业不希望看到不同塑料混淆, 也不希望有太多其它的非塑料材料。我们的工艺包容性很强。我们不仅对塑料进行灭菌、粉碎、复合和挤出, 还包括伴随塑料的其它一切材料, 如纸张、木材或纸板。”

Best Plus 塑料建材可在生产工艺中上色, 或由客户自行上色。

Mc Quillan 表示, 该公司对采购的原料严格把关。 “对废弃物的需求总是难以得到满足。我必须牢记的是, 确保生产与需求匹配。”

在不到两年时间里, 珍妮特工厂从零增至如今每月大约 60 万美元销售额。随着该厂运作模式获得成功, Triumvirate 公司还计划在美国再建造 5 座同类的设施。 (ChinaReplas)