

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.02.029

基于工程塑料的3D打印技术应用研究进展

杨伟,陈正江,补辉,冯晓娟,施吉刚,王聪

(中国电子科技集团公司第三十研究所,成都 610041)

摘要:针对军用电子产品快速验证的需求,开展了3D打印技术的应用研究。通过分析现有3D打印技术、材料与应用领域,进一步对比分析基于工程塑料的熔融沉积成型(FDM)、立体光固化成型、选择性激光烧结、叠层实体制造四种3D打印技术的优缺点,着重阐述了FDM技术在国内外的工程应用情况,指出国内外FDM技术存在的差距,最后展望了3D打印技术的下一步应用方向。

关键词:3D打印;工程塑料;熔融沉积成型;应用研究

中图分类号:TJ05 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2018)02-0143-05

Progress on Application Research of 3D Printing Technology based on Engineering Plastics

Yang Wei, Chen Zhengjiang, Bu Hui, Feng Xiaojuan, Shi Jigang, Wang Cong

(No.30 Institute of CETC, Chengdu 610041, China)

Abstract: Aiming at the requirement of rapid verification of military electronic products, the application of 3D printing technology was studied. By analyzing 3D printing technologies, materials and application areas, the advantages and disadvantages of 3D printing technologies such as fused deposition modeling, stereo lithography apparatus, selective laser sintering, laminated object manufacturing, which based on engineering plastics, were compared. The engineering applications of FDM at home and abroad were emphatically elaborated, and the existing gap between domestic and foreign technology was pointed out. Finally the next application of 3D printing technology were expected.

Keywords: 3D printing; engineering plastics; fused deposition modeling; application research

工程塑料因具有良好的强度、耐候性和热稳定性等特点,其制品在民用、航空航天、军用电子等行业获得广泛应用,特别是丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)、聚酰胺(PA)、聚碳酸酯(PC)等材料具有很好的防潮湿、防盐雾、防霉菌性能,在军用电子产品中经常作为结构件使用,ABS常用于设备外壳、绝缘垫柱、隔板等,PA常用于绝缘片、导轨等,PC常用于装饰件、透光件等。

目前,工程塑料零部件采用的成型工艺主要是机械加工、注塑等,采用机械加工工艺成本低、快捷,但难以实现复杂结构形式的加工;采用注塑工艺,单件或少量时成本较高,适用于批量产品,一方面如果零件结构复杂,对于模具设计与制造会有更高要求,另一方面不仅模具设计制造周期长,还对设计准确率要求更高。而在当今“军民融合”声势浩大

背景下,军工制造行业面对的竞争日益加剧,实现产品快速制造与功能性能快速验证将更能抢得市场先机。以3D打印为代表的快速成型技术正好契合了军工制造行业缩短研制周期的发展需求,首先,3D打印能够实现小批量制造,且成本低、速度快、可大幅降低武器装备研制风险和缩短研制时间;其次,复杂零件制造能力好,可提高武器装备性能和维修保障的实时性及精确性;最后,材料利用率高,可明显降低生产成本。

1 3D打印技术与打印材料比对分析

自1984年世界第一台3D打印机诞生,经过30多年的发展,其应用范围已经扩展至航空航天、武器装备、工业设计与制造、快速模具制造、时装首饰、汽车、建筑、医疗等多个行业和领域。目前,国内外3D打印领域中,可应用3D打印的

基金项目:“十三五”武器装备基金项目(6141B08120301)

通讯作者:杨伟,高级工程师,研究方向为军用电子产品先进制造技术 E-mail: 26690323@qq.com

收稿日期:2017-11-28

引用格式:杨伟,陈正江,补辉,等.基于工程塑料的3D打印技术应用研究进展[J].工程塑料应用,2018,46(2):143-147.

Yang Wei, Chen Zhengjiang, Bu Hui, et al. Progress on application research of 3D printing technology based on engineering plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(2):143-147.

材料有钛合金、铝合金、不锈钢、镁合金、高温合金等金属材料,光敏树脂、工程塑料、橡胶类材料、陶瓷材料、石膏材料、人造骨粉、细胞生物原料以及砂糖等非金属和高分子材料^[1,3-5]。可利用的工艺技术已有近20种,其中常用的有熔融沉积成型(FDM)、立体光固化成型(SLA)、选择性激光烧结(SLS)、叠层实体制造(LOM)、电子束熔融(EBM)、选择性激光熔化(SLM)、金属激光熔融沉积(LDMD)、电子束熔丝沉积成型(EBF)、三维打印(3DP)等工艺,这几种3D打印工艺由于所用打印材料不尽相同,所以具体应用领域与行业也有所不同。3D打印技术与打印材料对照见表1。

通过表1对比分析,适用于非金属材料的3D打印技术大致有五种,即FDM,SLA,SLS,LOM,3DP,适用于金属材料的3D打印技术大致有七种,即SLS,LOM,EBM,SLM,LDMD,EBF,3DP。

针对不同的材料,可以采用多种不同的3D打印技术,具体采用哪一种技术,需要根据产品的具体要求(如产品的

用途、应用环境、结构强度、后处理等)进行充分考虑;此外由于3D打印技术的成熟度不够高,大部分打印设备成本很高,不同技术的打印质量也差距很大,因此还应考虑成本与质量因素。

2 基于工程塑料的3D打印技术

由于工程塑料在军工产品中大量使用,因此笔者着重开展基于工程塑料的3D打印技术研究。通过上述分析发现,可用于工程塑料的3D打印技术大致有四种,即FDM,SLA,SLS,LOM^[8]。表2为这四种3D打印技术的进一步对比。由表2可看出,这四种3D打印技术各有优缺点,制造精度相近,而FDM技术的优点更为突出,更符合产品设计与使用需求,因此笔者将对其开展进一步的应用验证研究。

3 FDM技术工程应用研究

FDM技术1988年由美国人发明,由于具有打印机结构简单、操作方便、成型速度较快、材料种类丰富且成本低等诸多优点,已经应用于汽车制造、航空、医疗、食品加工等领

表1 常用3D打印技术与打印材料对照表

打印技术	技术内涵	材料	应用领域
FDM ^[1,3,6-7]	以丝状热塑性材料为原料,通过加工头加热挤压,在计算机控制下逐层堆积,最终得到成型的立体零件	ABS、丙烯酸、PC、聚苯、PA等丝料	生物医学、医疗、教学、工艺品、建筑、航空航天
SLA ^[1-3,6]	利用紫外激光逐层扫描液态光敏聚合物,实现液态材料的固化,逐渐堆积成型的技术	丙烯酸感光树脂、环氧感光树脂、乙烯醚感光树脂	教学、工艺品、建筑
SLS ^[1,3,6,8]	采用单组分或双组分的微小粒子,使用高功率激光逐层选择性地融化表面的粉末材料,最后形成所需要的三维形状	PC、聚苯乙烯、PA、钨、铜、铝、低碳钢等粉末	铸件设计、结构件、航空航天、铸造、军工
LOM ^[3,6,8]	以薄片材料为原料,在材料表面涂覆热熔胶,再根据每层截面形状进行切割粘贴,实现零件的立体成型	铝、PVC、聚酯、ABS、亚硝酸钛、PC、陶瓷、金属等片料	航空、化工、医疗、汽车
EBM ^[1,3,11]	通过高真空电子束一层层地熔融金属粉末来制造零件	钛合金、钴铬合金、铝和铝合金、超耐热不锈钢、金属间化合物及高熔点合金等金属粉末	航空航天、兵器装备、军工电子、汽车
SLM ^[1,11]	与EBM成型技术相似,只是热源由电子束换成了激光束	超耐热合金、不锈钢、铝、钛、铜等粉末	航空航天、兵器装备、军工电子、汽车
LDMD ^[1,3,11]	采用高功率激光熔化同步送粉或丝状添加材料,直接进行层叠式添加沉积	不锈钢、镍合金、钨、铝、铜、钛、铝镍化合物等粉末或丝料	航空航天、兵器装备、军工电子、汽车
EBF ^[11]	将金属丝材送入真空环境下由聚焦的电子束流在基体材料上形成的熔池中,通过一层一层的累积,最终实现零件的近净成型	不锈钢、镍基高温合金、铝、铜、钛等丝料	航空航天、兵器装备、军工电子、汽车
3DP ^[1,10-11]	先将粉末平整地铺设成一层极薄的粉层,然后将适量的粘接剂按需喷射和沉积在粉末层表面,从而粘结得到三维实体某一个截面的轮廓;通过不断重复铺粉和液滴沉积,最后堆积成三维实体物件	淀粉、石膏、陶瓷、金属、复合材料等粉末	生物医学、医疗、教学、航空航天、模具、工艺品

表2 基于工程塑料的3D打印技术对比表

打印技术	优点	缺点	制件精度	用途
FDM ^[7,12,14]	成型材料种类较多,样件强度高、尺寸精度较高、表面质量较好、易于装配,材料利用率高;技术成熟度高,成本较低,可以进行彩色打印	成型时间较长,制作小件和精细件时精度不如SLA,打印材料限制性较大	$\pm 0.1 \text{ mm}$ (制件长度 $L \leq 100 \text{ mm}$) 或 $\pm 0.15\% (L > 100 \text{ mm})$	工业塑料零件、工艺品
SLA ^[2]	成型速度极快,成型精度高,原材料利用率很高,接近完全利用,加工出的实体表面光滑,表面质量高	成型的材料种类少,光敏树脂固化后较脆、易断裂,可加工性不好,成型件在长期光照下极易分解、吸湿膨胀,抗腐蚀能力差	$\pm 0.1 \text{ mm} (L \leq 100 \text{ mm})$ 或 $\pm 0.1\% (L > 100 \text{ mm})$	小件精细件和工艺品
SLS ^[6,8-9]	打印原材料种类繁多,材料利用率高,造型速度较快	成型件强度和表面质量较差,精度低,后处理工艺复杂,难以保证制件尺寸精度,一般无法装配,成本较高	$\pm 0.2 \text{ mm} (L \leq 200 \text{ mm})$ 或 $\pm 0.1\% (L > 100 \text{ mm})$	耐冲击性能高的零件
LOM ^[13]	制造成本低,无需填充材料,产品成型较快,成型率高	成型件表面质量较差,材料利用率很低	$\pm 0.1 \text{ mm}$	大型厚实塑件或纸质构件

域,是目前应用领域最广、成熟度最高、应用价值最大和前景最广阔的3D打印技术之一。大部分核心技术掌握在美国公司或高校手上,如3D Systems公司、Stratasys公司、联合技术公司、通用电气公司、麻省理工学院、波音公司及3M公司等^[15,17-19],近来国内3D打印技术发展迅速,也出现了很多3D打印设备在工业中得到应用^[16]。

3.1 FDM 在国外应用情况

在航空领域^[20],西班牙航空航天与工程公司Indaero使用FDM技术3D打印机为多个型号的飞机制造专用工具,如在制造用于将滑动框固定到直升机内部的工具时,见图1,将原材料由铝换成了塑料,不仅轻了9 kg,而且成本降低不少。美国超音速飞机制造商Boom Supersonic利用FDM 3D打印技术制造所需的先进模具和生产级飞机零件,研制的超音速客机XB-1比市场上的其它客机要快至少2.6倍。

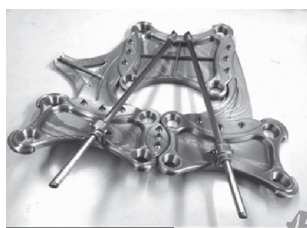


图1 FDM 在国外直升机内部用工具上的应用

在汽车制造行业^[21-22],欧宝、沃尔沃、宝马等汽车巨头利用FDM技术制作各类零部件如风口、车门饰板、车灯、空调系统等,如图2所示,以及各类模具^[23],实现快速研制和降低车身质量。

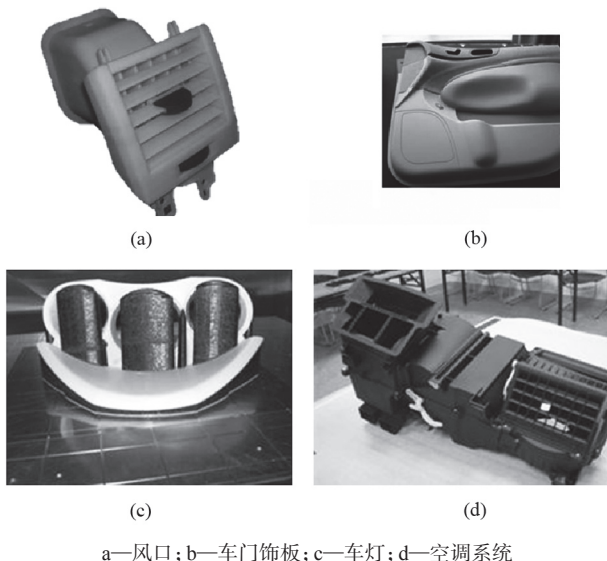


图2 FDM 在国外汽车行业的应用

在FDM 3D打印新材料应用方面^[24],国外也有大量的研究与应用,如以PA6材料打印制作的支架样件,见图3a;以PA12/CF复合材料)打印制作的高强度脚踏,见图3b。

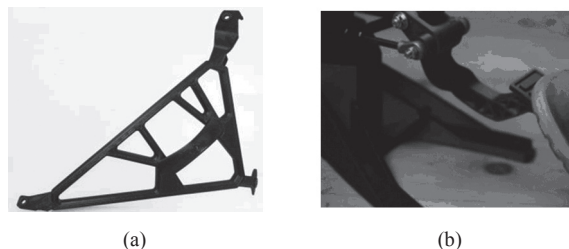


图3 基于FDM技术的新材料应用

3.2 FDM 在国内应用情况

近年来,国内的各类制造业都有大量应用FDM 3D打印技术实现快速制造的案例。

以航空航天领域为例^[25-26],东方航空将FDM 3D打印的客舱内饰件应用到民航客机上,该公司还将3D打印技术大量运用于飞机的维修与改装,解决了过去易损零件订货周期长、成本高的问题,弥补了航材供应链的短板,以前通过原厂采购新零件,一般需要60 d甚至90 d以上,有时根本无货,现在最多3 d完成设计与生产。已经开展的维修应用有B777驾驶舱“电子飞行数据包”支架,B777公务舱书报架,见图4。

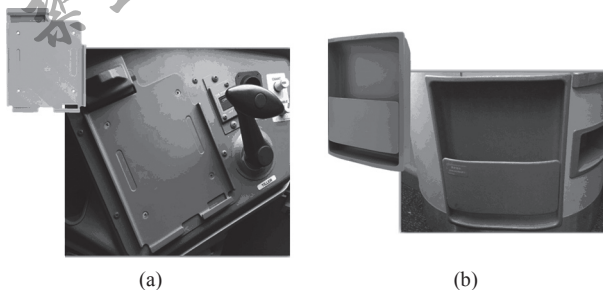


图4 FDM 在航空维修领域的应用

FDM技术在国内汽车制造行业也有大量应用^[22],如天有为公司在汽车仪表研发中,结构工程师基于数字模型设计,采用FDM技术快速制作汽车组合仪表上的结构件原型,如屏圈、导光罩、底壳等,见图5,原来15 d左右的时间才能完成的屏圈原型,现在仅需16 h左右。

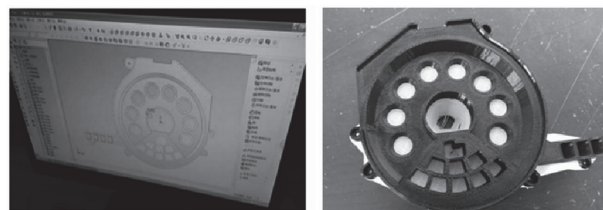
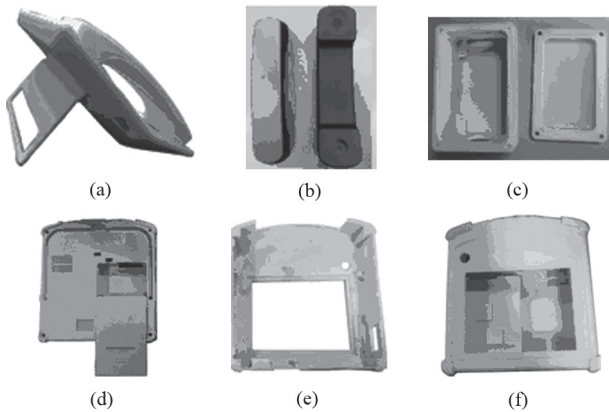


图5 FDM 技术制作的组合仪表

3.3 FDM 技术在本单位应用情况

目前,FDM技术打印机已在军用电子产品得到广泛应用^[27],在本单位也有产品应用了该技术,实现了快速制造,

如电话机手板、转接盒、型号产品等,如图6所示。



a—电话机手板; b—手柄喷漆后手板; c—转接盒; d—底座与电池盖;
e—上盖; f—产品外壳组装

图6 其他FDM打印产品

3.4 国内外FDM打印机对比

以国外Stratasys公司的某型打印机和国内两家知名企业的打印机进行对比,结果见表3。

表3 国内外FDM打印设备的典型参数对比

项目	Stratasys	国内A公司	国内B公司
最小喷嘴直径/mm	0.127	0.25	0.3
最小层厚/mm	0.127	0.15	0.2
成型精度	± 0.127	± 0.15	± 0.2
可打印材料	ABS, PC, PC/ABS, PA	ABS, PLA	PLA, ABS

由表3可看出,Stratasys公司的设备在打印精度与打印材料的种类等方面优于国内对比公司的设备。为进一步验证打印的实际效果,分别采用三台设备打印电话机底座、上盖零部件,电话机产品模型见图7,设备材料为ABS。设备参数设置均为该打印机的最佳效果设置及最小喷嘴直径和最小层厚,样件打印效果如图8所示。通过打印的样件对比,很明显看出Stratasys打印的样件效果最好,并且是一次性成功,成型精度为 ± 0.15 ,见图8a;国内A公司设备经过多次样件打印后,才得到较理想的效果,但与前者件相比仍存在差距,见图8b;国内B公司采用ABS材料的打印时薄壁(壁厚0.7 mm)处出现了坍塌,换成采用PA材料打印,但表面仍较为粗糙,精度误差较大,上盖与底座不能盖合,见图8c。打印实物在细节效果方面,Stratasys打印的效果明显优于国内设备打印的质量,如图9所示。对于壁厚为0.8 mm和

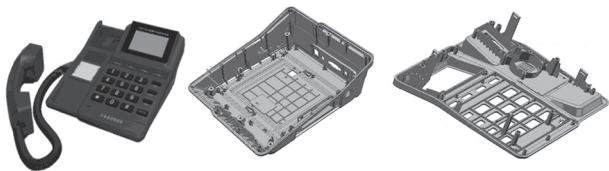
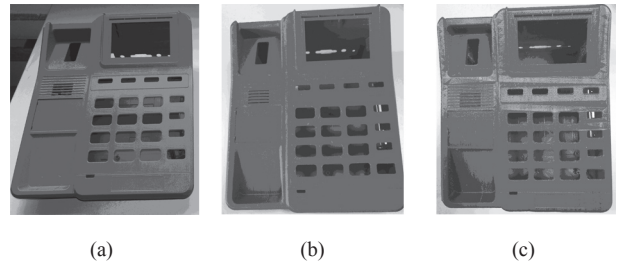
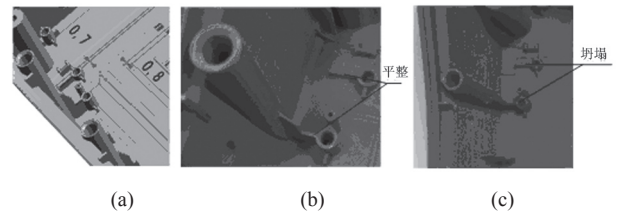


图7 电话机产品模型图



打印机厂家: a—Stratasys; b—国内A公司; c—国内B公司

图8 打印效果实物图



a—设计模型; b—Stratasys设备打印; c—国内公司设备打印

图9 打印细节图

0.7 mm的棱边,Stratasys设备打印出来的质量很好,结构面平整,完全符合设计要求;国内设备打印出来的质量较差、坍塌明显,不能够完全满足设计要求。

3.5 国内外FDM技术存在的差距

综上所述,国外FDM技术比国内更成熟,成型件精度高,成型壁厚最薄可达0.4 mm,更能满足工业需要,应用领域更为广泛,但设备成本较高,几乎是国内设备的4倍,打印材料价格均为针对设备定制研发,材料的价格是国内材料价格的10多倍。国内工业级3D打印设备除了成本较低外,在材料质量、打印精度等很多方面都需要进一步提升。

4 结语与展望

通过应用3D打印技术,使塑料类产品的验证周期大幅缩短。鉴于军用电子产品的主要零部件是金属材料,因此下一步将开展铝合金、不锈钢等金属零部件的3D打印的应用研究^[28],同时关注3D打印技术的发展趋势,着重跟踪多材料、异质异构的3D打印技术动态^[29-30],开展电子电路的打印研究,从而全面提升3D打印技术在军用电子产品中的应用范围。

参考文献

- [1] 王修春,等. 信息技术与信息化,2014(4):84-86.
Wang Xiuchun, et al. Information Technology and Informatization, 2014(4):84-86.
- [2] 邵中魁,等. 机电工程,2015,32(2):180-184.
Shao Zhongkui, et al. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(2):180-184.
- [3] 郭朝邦,等. 战术导弹技术,2013(6):1-4.
Guo Chaobang, et al. Tactical Missile Technology, 2013(6):1-4.
- [4] 张学军,等. 材料工程,2016,44(2):122-128.

- Zhang Xuejun, et al. Journal of Materials Engineering, 2016, 44(2):122-128.
- [5] 王延庆,等. 航空材料学报, 2016, 36(4):89-98.
Wang Yanqing, et al. Journal of Aeronautical Materials, 2016, 36(4):89-98.
- [6] 郭华清,等. 工程塑料应用, 2016, 44(11):118-121.
Guo Huaqing, et al. Engineering Plastics Application, 2016, 44(11):118-121.
- [7] 刘洋子健,等. 工程塑料应用, 2017, 45(3):130-133.
Liu Yangzijian, et al. Engineering Plastics Application, 2017, 45(3):130-133.
- [8] 陈硕平,等. 材料导报, 2016, 30(4):54-59.
Chen Shuoping, et al. Materials Review, 2016, 30(4):54-59.
- [9] 史玉升,等. 中国科学: 信息科学, 2015, 45(2):204-211.
Shi Yusheng, et al. Scientia Sinica Informationis, 2015, 45(2):204-211.
- [10] 张迪渥,等. 制造技术与机床, 2017(3):38-43.
Zhang Disheng, et al. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2017(3):38-43.
- [11] 黎志勇,等. 新技术新工艺, 2017(4):25-28.
Li Zhiyong, et al. New Technology & New Process, 2017(4):25-28.
- [12] 龚运息,等. 制造技术与机床, 2015(11):111-115.
Gong Yunxi, et al. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2015(11):111-115.
- [13] 蔡忠国,等. 科技资讯, 2013(15):116.
Cai Zhongguo, et al. Science & Technology Information, 2013(15):116.
- [14] 高士友,等. 塑性工程学报, 2017, 24(2):200-206.
Gao Shiyou, et al. Journal of Plasticity Engineering, 2017, 24(2):200-206.
- [15] 卜婷. 3D打印技术专利布局研究[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2016.
Bu Ting. The Patent Portfolio Research of 3D Printing[D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2016.
- [16] 邓钢锋. 机械工程师, 2014(12):134-136.
Deng Gangfeng. Mechanical Engineer, 2014(12):134-136.
- [17] Spisak E, et al. Applied Mechanics and Materials, 2014, 474:273-278.
- [18] Mohanty S, et al. Materials Science and Engineerin, 2015, 55:569-578.
- [19] 赵翀,等. 河南科技, 2016(10):70-76.
Zhao Chong, et al. Journal of Henan Science and Technology, 2016(10):70-76.
- [20] 刘琦,等. 导弹与航天运载技术, 2016(6):103-106.
Liu Qi, et al. Missiles and Space Vehicles, 2016(6):103-106.
- [21] 沈卫东,等. 汽车工程师, 2016(3):17-21.
Shen Weidong, et al. Auto Engineer, 2016(3):17-21.
- [22] 王菊霞. 3D打印技术在汽车制造与维修领域应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
Wang Juxia. Research on application of 3D printing technology in automobile manufacturing and maintenance[D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [23] 王颖,等. 3D打印技术在模具制造中的应用[C] // 全国特种加工学术会议. 厦门: 中国机械工程学会, 2015:295-300.
Wang Ying, et al. Application of 3D printing technology in mould manufacturing[C] // National conference on special processing. Xiamen: Chinese Mechanical Engineering Society, 2015:295-300.
- [24] 方鲲,等. 新材料产业, 2017(1):31-37.
Fang kun, et al. Advanced Materials Industry, 2017(1):31-37.
- [25] 杨浩亮,等. 航天制造技术, 2016(5):1-4.
Yang Haoliang, et al. Aerospace Manufacturing Technology, 2016(5):1-4.
- [26] 张杨阳. 电脑编程技巧与维护, 2015(9):89-94.
Zhang Yangyang. Computer Programming Skills & Maintenance, 2015(9):89-94.
- [27] 张巧凤. 机械研究与应用, 2015(5):198-199.
Zhang Qiaofeng. Mechanical Research & Application, 2015(5):198-199.
- [28] 唐通鸣. 化工新型材料, 2015, 43(6):228-234.
Tang Tongming, et al. New Chemical Materials, 2015, 43(6):228-234.
- [29] 施建平,等. 机械设计与制造工程, 2017, 46(2):11-17.
Shi Jianping, et al. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2017, 46(2):11-17.
- [30] 程凯,等. 中国科学: 技术科学, 2017, 47(2):149-162.
Cheng Kai, et al. Scientia Sinica: Technological, 2017, 47(2):149-162.

黄粉虫可分解聚苯乙烯

中国科研人员进一步研究证实,昆虫能分解塑胶原料聚乙烯和聚苯乙烯,这有望解决全球塑料污染问题。

《新华社》报道,北京航空航天大学教授杨军领导的研究团队发现,取自美国的黄粉虫可以分解7种聚苯乙烯废弃物,其中低密度泡沫塑胶分解得最快。如果以麦皮和聚苯乙

烯喂食第二代幼虫,可进一步提高聚苯乙烯的分解率。

事实上,杨军早在2014年就发现,蜡虫会吃聚乙烯塑胶,而它肠道的微生物也可以分解聚乙烯。这次研究进一步巩固之前的结论。

英国科学家也曾发表报告,指出一种通常养来当鱼饵的蛾类幼虫,也会以聚乙烯为食物。

(中塑在线)