

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.08.018

塑料异型材口模构型要素对挤出形变的影响^{*}

张广冬,郝昕玉,袁铁军,宋树权

(盐城工学院机械工程学院,江苏盐城 224051)

摘要:塑料异型材的挤出胀大及其引起的不规则挤出形变,是异型材挤出制品尺寸控制的难点所在。针对此类问题,采用有限元方法研究了典型异型材口模构型要素如T型口模分支立臂位置、90°夹角L型口模过渡区域转角、L型口模两臂夹角等对挤出形变和模流平衡的影响。结果表明,随T型口模分支立臂由挤出中心位置向右偏移,挤出后的型材挤出中心位置发生偏移,立臂顶端向右上变形,从而使得挤出形变加剧,需要在模具设计时将立臂顶端向挤出中心方向进行补偿。在90°夹角L型口模内外转角处设置过渡圆角,有助于模具出口处的模流平衡。L型异型材两臂夹角在挤出后变大,且初始设计夹角为60°和90°时变化较大,需要根据相关实验找出其初始设计夹角与挤出后的实际夹角对应关系,以便在模具设计过程中进行参照。上述研究结果对逆向挤出问题的求解、异型材挤出模具的设计和口模构型的确定有着一定的参考意义。

关键词:挤出形变;口模构型;模流平衡;逆向挤出

中图分类号: TQ320.66+3, TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)08-0083-05

Influences of Die Structure Configuration Elements of Plastic Profile on Extrusion Deformation

Zhang Guangdong, Hao Xinyu, Yuan Tiejun, Song Shuquan

(School of Mechanical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

Abstract : According to the problems that the extrusion profile size is difficult to control because of the extrusion swell and its irregular extrusion deformation, finite element method was used to analyze the influences of the typical die structure configuration elements such as the branch vertical arm position of the T profile die, the transition fillet of the L profile die with 90° angle and the angle of the two arms of the L profile on the extrusion deformation and mold-flow equilibrium. The results show that offset to the right of the branch vertical arm from extrusion center can cause the offset of the extrusion center, leading to a upper right direction deformation of the vertical arm top, which intensifies the extrusion deformation and needs to compensate the vertical arm top towards the direction of extrusion center during the die design. The transition fillet is set in the internal and external angles of transition region of the L type die with 90° angle can be helpful to the mold-flow equilibrium at the die exit. The angle of the two arms of L type die becomes larger after extrusion, and the changes are bigger when the initial design angle is 60° and 90°, so the corresponding relationship between the initial design angle and the actual angle after extrusion needs to be found according to the relevant experiments, which can provide reference in the mould design process. This studying results have a certain reference value for the solution of the inverse extrusion problems, design of the profile extrusion die and determination of the die structure configuration.

Keywords : extrusion deformation ; die structure configuration ; mold-flow equilibrium ; inverse extrusion

塑料异型材挤出成型以其生产连续性、制品截面一致性、生产效率高而著称。塑料异型材的挤出胀大及其引起的不规则挤出形变,是其尺寸控制的难点所在。挤出形变是材料物性、工艺条件以及口模构型等因素综合影响的结果。材料物性以及工艺参数对挤出工艺的影响,突出表现在挤出模具对材料物性的敏感度以及工艺参数对于挤出模具使用稳定性的影响方面。一个设计良好的挤出模具可以减少材料物性以及工艺参数的影响,并且使残余应力最小,从而获得合格的制品外形、较好的尺寸精度及

其稳定性。

传统的塑料异型材挤出模具设计主要采用试错法,需要经历设计、修改、再设计的反复迭代、不断优化过程。其目标是挤出口模出口处各区域的料流平衡^[1-7],评价指标为模流平衡系数^[8],采用该方法可有效减小挤出形变,但并不能消除。实际上,在

^{*} 江苏省科技计划资助项目 (BY2015057-22)

联系人: 张广冬, 讲师, 主要从事 CAD/CAM 技术, 材料成型与控制研究

收稿日期: 2016-05-10

挤出模具设计过程中,挤出件轮廓一般是已知条件,而工程师最关注的是模口轮廓,这其实是一个挤出形变的逆问题,即逆向形变问题^[9],其示意图如图1所示。

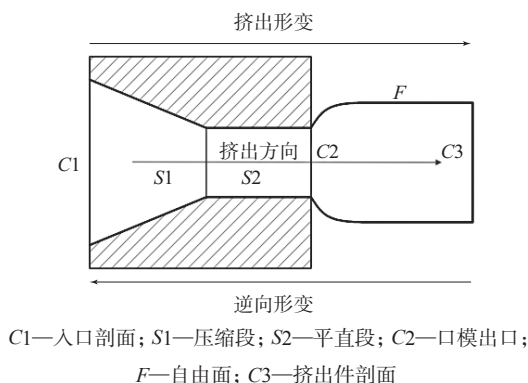


图1 聚合物的挤出形变和逆向形变

大多数截面几何形状较为复杂的薄壁塑料异型材都可以分解成L型与T型的组合。在实际生产中,为了避免修模时不同区域的料流相互干扰,通常在模具内采用分隔板对复杂截面进行分割,以降低料流控制和试模修模的难度,提高模口料流速度的均匀性。因此可以采用L型与T型截面来分析挤出模具的口模构型对挤出工艺的影响,探索复杂形面口模构型对挤出工艺的影响。

笔者主要研究T型口模分支立臂位置、90°夹角L型口模过渡区域转角以及L型口模两臂夹角大小变化对挤出形变以及模流平衡系数的影响。从而为塑料异型材逆向形变问题的解决及其挤出模具设计提供理论依据。

采用的原材料^[10]为德国拜耳公司生产的牌号为3103的聚碳酸酯(PC),通过流变学实验测定在定温下的PC剪切流动曲线,并选择Bird-Carreau本构模型方程,如式(1)所示。

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})(1 + \lambda^2 \dot{\gamma}^2)^{(n-1)/2} \quad (1)$$

式中: η ——黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

η_{∞} ——无穷剪切速率黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

η_0 ——零剪切速率黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

λ ——时间常数, s ;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率, $1/\text{s}$;

n ——无量纲的幂指数。

使用软件ANSYS POLYFLOW中的POLYMAT模块对流变实验数据进行拟合可得到PC的Bird-Carreau本构模型参数值如下: $\eta_0 = 7.07 \times 10^2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$; $\eta_{\infty} = 0 \text{ Pa} \cdot \text{s}$; $\lambda = 2.43 \times 10^{-2} \text{ s}$; $n = 0.4264$ 。

1 T型口模分支立臂位置变化的影响分析

以厚度相同(均为2.5 mm)的T型口模截面组合为研究对象,如图2所示,研究其分支处的立臂位置变化对挤出形变的影响。假定平直段的入口料流充分发展,忽略压缩段的影响。T型口模的截面形状如图2所示,分支立臂由型材挤出中心位置向右偏移,直到最右端,共7个位置,其距挤出中心位置的距离称为偏距,分别为0, 5, 10, 15, 20, 25, 28.75 mm。挤出口模截面积均为 221.875 mm^2 ,口模成型段(平直段)长度设为10 mm,自由面长度为50 mm,其有限元模型如图3所示。

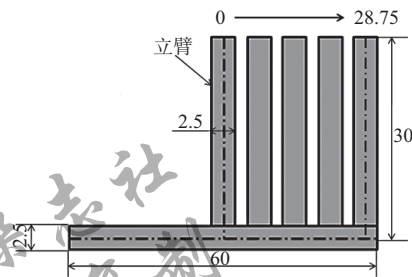


图2 T型口模立臂位置变化示意图

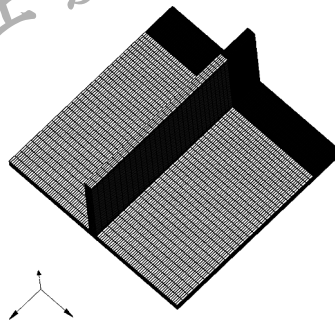
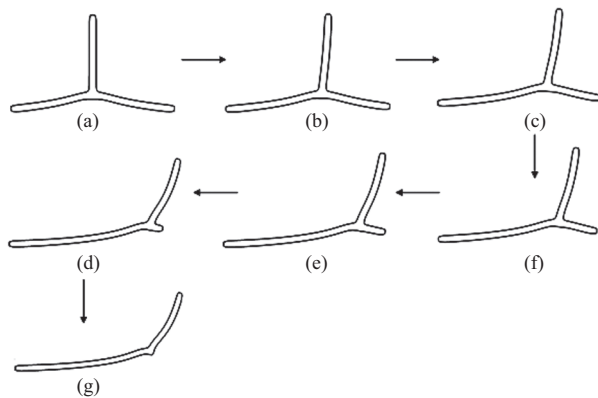


图3 T型口模有限元模型

根据实践经验,入口流量设为 $1506 \text{ mm}^3/\text{s}$, 其为充分发展流,牵引速度为 22 mm/s ,壁面无滑移。由数值模拟可得T型口模不同立臂位置对挤出件外形的影响。结果如图4所示。



偏距: a—0 mm; b—5 mm; c—10 mm; d—15 mm;
e—20 mm; f—25 mm; g—28.75 mm

图4 T型口模立臂位置变化对挤出物外形对比

由图4可以看出,随着偏距的增加,挤出物的畸变越来越严重。以偏距为0和15 mm的T型口模为例,分析T型口模立臂位置变化对挤出物各点形变的影响,如图5所示。对于这两种等厚截面的T型组合,由于其截面厚度一致,其模流平衡系数相差不大。可以发现,当偏距为0时,T型截面左右对称,挤出中心在对称面上,A、B两点的挤出形变对称。当立臂偏距为15 mm时,挤出中心O点发生偏移,A点沿OA向左下角发生形变,B点沿OB向右下角发生形变,立臂上端C点沿OC向右上角发生形变,A、B、C三点形变不一致导致挤出件外形发生畸变。因此,在T型材挤出模具设计过程中,应注意立臂位置变化产生的影响,进行适当的补偿,特别是对立臂上C点沿着CO方向进行补偿,以保证挤出型材的外形和尺寸精度,避免在定型模中发生强制冷却定型,进而避免产生应力集中问题和使用过程的变形问题。

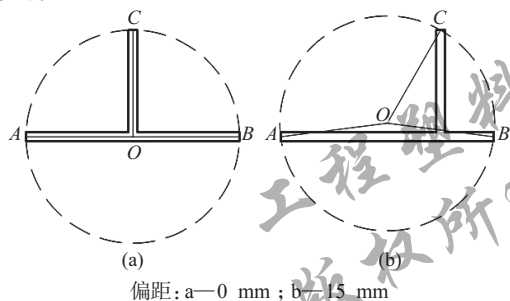


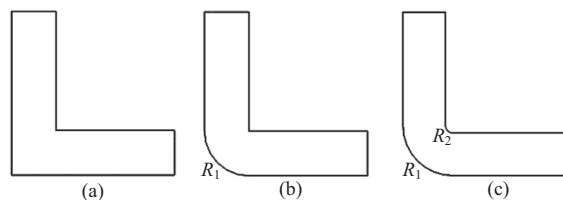
图5 T型口模立臂位置变化对挤出物各点形变的影响

2 90°夹角L型口模过渡区域转角的影响分析

挤出异型材外转角由口模阴角形成,内转角由芯棒阳角形成。在挤出过程中,尖锐转角处易出现“架桥”现象和应力集中问题。因此在异型材挤出制品设计时应在不影响功能实现的前提下在转角处设置过渡圆角,使得挤出型材在所有截面上都有着均匀的壁厚以及实现模流平衡。为此,分析了等截面厚度(H)的90°夹角L型口模外转角和内转角对模流平衡系数的影响。外转角的圆角半径为 R_1 ,内转角的圆角半径为 R_2 ,单位均为mm。

如图6所示,采取3种转角方案来分析其对模流平衡系数的影响。

假定平直段的入口料流充分发展,忽略压缩段的影响。设模具成型段长度20 mm,自由面长度40 mm,其入口流量均为 $1506 \text{ mm}^3/\text{s}$,充分发展流;牵引速度为22 mm/s;壁面无滑移。通过数值计算可得到不同转角方案对模流平衡系数的影响,结果如表1所示。



a—方案 I, 无外转角和内转角;

b—方案 II, 只采用外转角 R_1 , $R_1=H$;

c—方案 III, 同时采用外转角 R_1 和内转角 R_2 , $R_2=0.5$, $R_1=R_2+H$

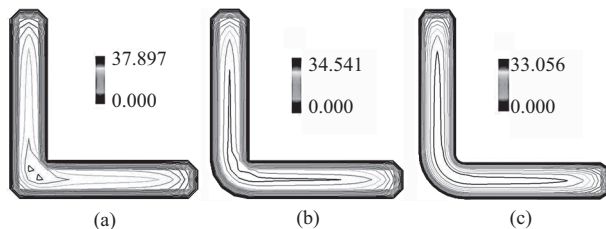
图6 夹角L型口模不同转角方案示意图

表1 不同转角方案对模流平衡系数的影响

项 目	H/mm		
	2	2.5	3
方案 I	0.275 892 583	0.284 386 092	0.292 985 138
方案 II	0.268 434 684	0.250 934 231	0.257 492 772
方案 III	0.241 063 367	0.246 469 138	0.252 530 593

由表1可知,对于方案I,当不存在外转角和内转角时,随着截面厚度的增加,模流平衡系数也有一定程度的增大。这是因为随着厚度的增加,过渡区域在整个截面所占的比例增大,且过渡区域是整个截面的高速中心。对于方案II,只存在外转角 R_1 时,模流平衡得到了一定程度的改善,这是过渡区域的壁厚与其它两臂的壁厚一致的缘故。而且当壁厚增加后,相对于方案I,采用方案II的L型异型材模流平衡系数的减小幅度增加,表明模流平衡得到较大程度的改善,这可能是因为当壁厚较大时,外转角对模流平衡的影响较大的缘故。对于方案III,模流平衡也得到了在一定程度上改善。相对于方案II,采用方案III的壁厚为2 mm的L型异型材模流平衡系数减小幅度较大,表明其模流平衡改善较大,这可能是因为壁厚较小时,内转角对模流平衡的影响较大的缘故。

以壁厚为2 mm时的L型口模为例,研究过渡区域转角对流动的影响,结果如图7所示。



a—无外转角和内转角; b—只采用外转角 R_1 , $R_1=H$;

c—同时采用外转角 R_1 和内转角 R_2 , $R_2=0.5$, $R_1=R_2+H$

图7 L型口模出口的速度分布

如图7所示,图7a中高速区域主要集中在过渡区域,而且最高流速为37.897 mm/s,与L型两臂有着较大的速度差;图7b中由于外转角 R_1 的存在,过渡区域的截面厚度与L型的两臂相等,故而

高速区域料流分布有所均衡,最高流速也有所降低,速度分布均匀性有所提高,但是在整个截面中的比重仍然不够大;图7c中外转圆角 R_1 和内转圆角 R_2 均存在,高速区域分布在L型异型材的几何中心线上,这使得速度分布明显改善,这从模流平衡系数的变化中也可以看出。因此在 90° 夹角L型异型材挤出成型中,过渡区域的转角对模流平衡的影响较大,设计时应尽可能在此处采用内外圆角过渡,以保证出口料流平衡。

3 L型口模两臂夹角的影响分析

L型口模两臂夹角的几何模型如图8所示,L型两臂尺寸均为 $2\text{ mm} \times 8\text{ mm}$,夹角为 α ,过渡区域为 2 mm 的圆弧,与两臂相切,圆弧角度为 $180^\circ - \alpha$ 。由于在非 90° 两臂夹角的情况下,同时带有内转圆角和外转圆角的L型异型材模流平衡系数与仅有外转圆角的相差不大,因此为了计算方便,仅对带有外转圆角的情况进行研究。假定平直段的入口料流充分发展,忽略压缩段的影响。成型段设为 10 mm ,自由面长度设为 40 mm 。 α 分别取 $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ 。入口流量均为 $600\text{ mm}^3/\text{s}$,牵引速度为 22 mm/s ,壁面无滑移。

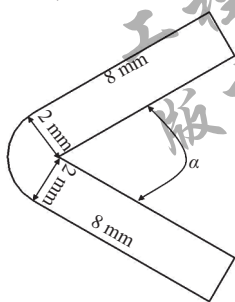


图8 L型口模两臂夹角几何模型

通过数值计算可知,挤出型材的夹角较挤出口模的夹角均有所增大。以夹角为 60° 的L型异型材口模为例,其挤出的型材两头的胀大比较小,中部胀大比较大,故实际夹角有所增大,如图9所示。

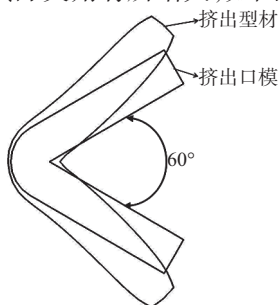


图9 夹角为 60° 的L型异型材的挤出口模和挤出型材对比

表2为不同初始设计夹角的L型异型材在挤出后的实际夹角及其模流平衡系数变化情况,表中

$\Delta\alpha$ 为挤出后的实际夹角与初始设计夹角的差值。

表2 不同初始设计夹角的L型异型材在挤出后的实际夹角及其

项 目	模流平衡系数变化情况				
	初始设计夹角/ $^\circ$				
	30	60	90	120	150
挤出后的实际夹角/ $^\circ$	56	95	125	149	169
$\Delta\alpha$	26	35	35	29	19
模流平衡系数	0.267 1	0.265 2	0.263 8	0.265 8	0.267 2

如表2所示,挤出后异型材的实际夹角都有所增大。随着初始设计夹角的增大,挤出后异型材的实际夹角变化呈先增大后减小的趋势,而模流平衡系数呈先减小后增大的趋势,但模流平衡系数之间的差异相对较小。初始夹角在 60° 和 90° 时,挤出前后的夹角变化较大。在实际生产中,为了得到期望的夹角,例如 90° 的L型异型材,则口模初始设计夹角设为 55° 左右比较适宜。对于截面较为复杂的挤出件,夹角的变化可能更加复杂,这就需要在设计和试模阶段根据实际情况加以调整,以得到期望的夹角大小。

4 结论

(1) 随着T型口模分支立臂由挤出中心向右偏移,挤出后的型材挤出中心发生偏移,立臂顶端向右变形,导致挤出型材变形严重,在挤出口模设计中应将立臂顶端向挤出中心方向补偿。

(2) 对于 90° 夹角L型异型材而言,设计时在转角处采用内外圆角过渡,有助于挤出模具出口处的料流平衡和减小挤出形变。

(3) L型异型材两臂夹角在挤出后变大,且初始设计夹角为 60° 和 90° 时变化幅度较大。需要根据相关实验找出其口模初始设计夹角与挤出后的实际夹角的对应关系,以便在模具设计过程中进行参照。

参考文献

- [1] Mitsoulis E, Georgiou G C, Kountouriotis Z. A study of various factors affecting Newtonian extrudate swell[J]. Computers & Fluids, 2012, 57(4):195-207.
- [2] Elgeti S, Probst M, Windeck C, et al. Numerical shape optimization as an approach to extrusion die design[J]. Finite Elements in Analysis & Design, 2012, 61(6):35-43.
- [3] Pauli L, Behr M, Elgeti S. Towards shape optimization of profile extrusion dies with respect to homogeneous die swell[J]. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 2013, 200(20):79-87.
- [4] Ettinger H J, Pittman J F T, Sienz J. Optimization-driven design of dies for profile extrusion: Parameterization, strategy, and performance[J]. Polymer Engineering & Science, 2013, 53(1):189-203.
- [5] Siegbert R, Yesildag N, Frings M, et al. Individualized production

- in die-based manufacturing processes using numerical optimization [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 80(5):851–858.
- [6] 秦升学, 庄利超, 刘杰, 等. PE-UHMW 异型材挤出成型有限元模拟与实验制备 [J]. 工程塑料应用, 2015, 43(4):50–54.
- Qin Shengxue, Zhuang Lichao, Liu Jie, et al. Finite element simulation of PE-UHMW profiles extrusion process and experimental production [J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):50–54.
- [7] 王其兵. 美式复合聚合物异型材挤出成型关键技术 [J]. 高分子材料科学与工程, 2014, 30(5):123–126.
- Wang Qibing. Key technology for the extrusion molding of american composite polymer profile [J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2014, 30(5):123–126.
- [8] 张广冬, 林建平, 葛友华, 等. 聚合物挤出成型模流平衡系数修正 [J]. 机械工程学报, 2012, 48(12):75–80.
- Zhang Guangdong, Lin Jianping, Ge Youhua, et al. Mold-flow equilibrium coefficient correction of polymer extrusion [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(12):75–80.
- [9] 柳和生, 黄益宾, 徐磊, 等. 聚合物异型材挤出口模的逆向数值设计和流动分析 [J]. 塑料, 2013, 42(1):81–85.
- Liu Hesheng, Huang Yibin, Xu Lei, et al. Inverse numerical design of die for extrusion of t-shaped strip and numerical simulation of melt flow during extrusion [J]. Plastics, 2013, 42(1):81–85.
- [10] 张广冬, 郝昕玉. 工艺参数对挤出成型的影响分析 [J]. 工程塑料应用, 2014, 42(1):68–70.
- Zhang Guangdong, Hao Xinyu. Influence analysis of process parameters on extrusion [J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(1):68–70.

3D 打印发展前景很丰满, 突破瓶颈很艰难

3D 打印作为在国内兴起较早的创新概念, 以“增材制造”的概念席卷 A 股已两年有余, 这一被号称将会引领“第四次工业革命”的新技术从国外蔓延到国内, 从传统产业蔓延到资本市场, 也为 A 股数十家概念公司带来了一场概念与股价齐飞的狂欢。

虽然前景丰满, 但现实依然骨感。国内市场的 3D 打印不但起步较晚, 整体产业生产方式也较为粗放、体量较小, 缺乏成熟的商业模式, 且面临着耗材短缺、成本高昂的问题, 难以实现规模化量产。公开资料显示, A 股 3D 打印这一概念近两年来也并未给相关概念公司基本面带来大的收益。

3D 打印也称为“增材制造”, 是一种新兴的快速成型技术, 是借助三维数字模型设计, 使用激光烧结等各种工艺手段实现原料叠加成型的一种制造方式, 该方式是第一个完整意义上的数字制造并在未来可能实现生物/仿生制造。这一新技术与传统制造业的最大区别在于产品成型的过程中, 3D 打印免去了传统制造业复杂的过程, 无需模具, 一次成型, 因此 3D 打印可以克服部分传统制造上无法达成的设计, 制作出更复杂的结构。

兴业证券相关分析师预计, 2016 年全球打印市场规模将达到 100 亿美元, 市场规模将实现指数级增长, 2018 年达到 130 亿美元, 2020 年则超过 200 亿美元。

“我们预计未来 3 到 5 年国内 3D 打印迎来窗口期, 潜在市场需求巨大, 3D 打印产业应用前景广阔, 超越传统, 广泛应用于工业制造、军事、建筑、医疗、汽车等领域。未来 3D 产业发展需要民用板块、模具设计和军工制造三架马车来带动。”兴业证券相关分析师表示。

尽管前景丰满, 但有卖方人士直言, 国内涉足 3D 打印的企业虽多, 但仍处于粗放生产设备的阶段, 缺少核心龙头企业, 更重要的是, 国内 3D 打印企业由于生产效率低、材料短缺、缺乏核心技术等问题, 短期内恐无法实现批量化、规模化生产。

除了国内产业起步晚、产业粗放外, 与传统产业相比,

3D 打印也有其最大的先天不足——无法商业化量产, 这也是被业内诟病最多的一点。

究其原因, 有分析人士指出, 一方面 3D 打印所使用的耗材非常有限。目前 3D 打印的耗材原料仅有石膏、无机粉料、光敏树脂、塑料、陶瓷等 10 多种, 且价格较为昂贵。

在不少业内人士看来, 国产 3D 设备对应的耗材短缺主要源自两个原因: 便宜的没有利润, 厂家不愿意生产, 而贵的耗材现有技术跟不上, 由于缺少政策扶持和补贴, 厂家又不愿意投入资金和人力成本去研发。

另一方面, 3D 打印机的价格十分高昂, 大多桌面级的 3D 打印机售价都在 2 万元人民币左右, 国内仿制品的价格在 6000 元左右, 但质量却难以保障。此外, 3D 打印在产品精度和生产时长等生产效率上都有一定的局限性, 也成为阻碍量产的主要原因之一。

黑船科技的联合创始人薛慧强认为, 3D 打印技术擅长解决个性化、复杂化、高难度的生产技术, 这恰恰是传统制造业梦寐以求的, 不过传统制造业所擅长的批量化、规模化生产, 则是 3D 打印的先天不足。也就是说, 3D 打印在实现设计和创意上具备所想即所得的优势, 但将模型变成商品, 仍然要依赖传统制造业批量化和规模化的特点。 (去展网)

优巨新材料扩大聚亚苯基砒产能

江门市优巨新材料有限公司作为掌握特种工程塑料聚亚苯基砒 (PPSU) 生产技术的厂家, 发展十分迅速。

据悉, 该公司首条设计产能 2000 t 的 PPSU 生产线远远满足不了目前的需求。目前该公司已新建二期年产 3000 t 的生产线, 今年 9 月份可以投入生产, 明年可实现过亿的产值。

该公司还计划在 2020 年前后实现 1 万 t 的产能并实现相应的销售规模, 届时年销售额有望达到 20 亿~25 亿元。

据介绍, 目前全世界 PPSU 的产能大约是 6 万 t, 由于技术门槛很高, 生产技术只有德国巴斯夫、比利时索尔维集团等化工巨头掌握。优巨新材已经申请了 70 多个专利, 目前正在申请国外的专利。 (塑新网)