

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.04.010

3D 打印快速成型技术在线缆连接器注射成型中的应用

林野, 钟轶, 姬玲

[柯惠(中国)医疗器械技术有限公司, 上海 201114]

摘要: 基于3D打印快速成型技术低成本、快速获取、按需生产的特点,提出了一种将3D打印线缆连接器作为医疗器械线缆连接器注射成型中间媒介的新应用。将3D打印的预成型零件,替代真实线缆连接器进行二次注射成型过程中的工艺参数摸索与调试,待注塑参数确定后再使用真实零件进行生产。以某线缆连接器为例,设计了用于二次注射成型参数调整的3D打印零件,选用3D打印用塑料制作了预成型零件并进行了线缆连接器内部芯模注射成型和外部包胶注射成型的注塑试验。对比发现,3D打印零件可以复现真实线缆连接器的注射成型效果和被注塑材料用量,材料成本大幅降低,同时大幅减少了样品制备周期,为3D打印技术在医疗器材及线缆连接器制造领域的应用提供了新思路。

关键词: 3D打印; 注射成型; 二次成型; 线缆连接器

中图分类号: TH16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)04-0052-06

Application of 3D-Printing Rapid Prototyping Technology in Injection Molding of Cable Connectors

Lin Ye, Zhong Yi, Ji Ling

[Covidien (China) Medical Devices Technology Co., Ltd., Shanghai 201114, China]

Abstract : A novel application of the 3D-printing rapid prototyping technology, i.e., using it as an intermedia of the injection molding, on the manufacture of medical equipment cable connectors was proposed based on its advantages of low cost, and rapid and on-demand productions. The 3D-printed components are applied to explore the proper molding parameters of the secondary forming process as a replacement of the real cable connectors, and the real components can be used only after all the process parameters are determined. A 3D-printed cable connector was designed and manufactured using plastic material. The pre-molding and over-molding tests with 3D-printed components were processed. The results show that the molding results using 3D-printed parts are similar to those with the real cable connectors under different process parameters in the aspects of the exterior of connectors after molding as well as the amount of material used. The 3D-printed parts contributes to reducing the material cost as well as the sample preparation cycle. This study provides a new approach to 3D-printing technology in the field of medical equipments and cable connectors manufacturing.

Keywords : 3D printing ; injection molding ; secondary forming ; cable connector

二次成型工艺,即将已经完成成型和组装的零件(简称预成型零件)放入另一套模具中,注入另一种塑胶成型材料以制造多材料产品的一种工艺,已经成为医疗器械线缆生产过程中的重要环节。通过二次注射成型方式将高分子材料(如聚氨酯、聚乙烯等)成型内部填充,或外侧包胶护套,不仅可以保护线缆内外导体免受环境、气候、水解作用的影响以及其它物理破坏,还可以提高线缆和线缆连接器

的强度、刚度、耐疲劳等性能^[1-4]。研究发现,选用合理注塑工艺参数(如注塑压力、注塑温度、保压压力、保压温度、进料量等)是获得优质注塑制品的前提^[5]。在实际生产中,预成型线缆连接器本身需要经历复杂的制造过程,生产周期长,成本高,同时二次注塑工艺又需要大量线缆连接器零件用于参数调试,这对生产过程中的成本、零件的储备和规划提出了新的要求:如果零件储备过多,则会造成资源浪

通信作者:林野,博士,主要研究方向为先进制造技术

收稿日期:2022-02-10

引用格式:林野,钟轶,姬玲.3D打印快速成型技术在线缆连接器注射成型中的应用[J].工程塑料应用,2022,50(4):52-57.

Lin Ye, Zhong Yi, Ji Ling. Application of 3D-printing rapid prototyping technology in injection molding of cable connectors[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(4):52-57.

费;如果储备不足,则可能遇到调试过程中样品短缺、短期内难以补足数量的情况,影响调参进程或导致无法摸索到最优参数。

增材制造技术,或 3D 打印快速成型技术,因拥有快速成型、个性化定制、按需生产等优势,成为一种新兴、前沿的加工技术^[6-8]。目前 3D 打印已经在注塑生产上获得了相对成熟的应用,较为典型的应用场景是快速制造产品原型来分析方案的可行性、技术性及辅助注射成型的模具设计^[9]。同时,一些研究人员开始尝试将 3D 打印与注射成型结合进行生产,如 Boros 等^[10]设计了一种在 3D 打印骨架上进行注塑包胶的零件,制造结果显示,零件的注塑部分和 3D 打印部分的连接性能良好;Fuenmayor 等^[11]提出了一种定制双层片剂的生产方式,药片的两层分别通过注射成型和 3D 打印制造,可以在生产过程中修改药物成分的比例。这些创新的制造方式实现了两种技术优势的强强结合,极大地提高了生产效率和产品灵活性。将 3D 打印直接应用于注射成型模具的设计/制造以减少模具的开发周期和成本是增材制造技术的新应用趋势之一,3D 打印模具不仅可适用于不同种类的注塑材料,保证成型零件良好的尺寸精度,还可以直接在最终产品的生产中应用并节约制造成本^[12-15],特别在一些复杂的模具结构(例如随形冷却水路)的制造上拥有更高的效率和随形性^[16-17]。

尽管 3D 打印在注射成型工艺上已经充分体现其优势性,但是目前 3D 打印零件的应用还主要局限于终成品或者模具,用作二次注塑工艺参数调试的中间媒介的研究和应用却鲜有提及。如果 3D 打印零件可以作为注塑工艺参数调试的一种辅助手段,不仅可以满足实际需求快速、准确地获取或补充零件用量以满足调试需求,减少调参样品采购周期、避免造成资源冗余或浪费,还可以反映出真实零件在不同参数下的二次成型效果,待注塑工艺参数确定后再使用真实零件进行生产,将为 3D 打印在注塑成型及线缆生产的应用提供新的思路 and 依据。

笔者提出了一种将 3D 打印技术用于线缆生产中间媒介的应用新思路,使用 3D 打印零件替代真实零件进行二次成型工艺参数的摸索与调试,并以某线缆连接器为例,设计了用于注射成型参数调整的 3D 打印线缆连接器,制作了 3D 打印线缆连接器并用于内部芯模注射成型和外部包胶注射成型。在不同注塑参数下与实际线缆连接器进行对比,验证

了 3D 打印线缆连接器在注射成型工艺参数调试中应用的可行性。

1 3D 打印线缆连接器设计

1.1 基于注塑工艺参数调试的 3D 打印线缆连接器方案

图 1 是某线缆连接器零件,由连接器外壳、接触器和接触器内部 Pin 针组成。线缆插入连接器外壳内并与 Pin 针焊接。该线缆连接器需要经过多个金属/非金属零件的成型、组装流程,生产周期较长。在二次成型时,需将连接器外壳内腔用低密度聚乙烯(PE-LD)完全填充,在连接器外壳外侧成型软包胶,材料为热塑性聚氨酯(TPU),如图 2 所示,来保护线缆及增加连接器的抗弯曲、抗冲击等力学性能。

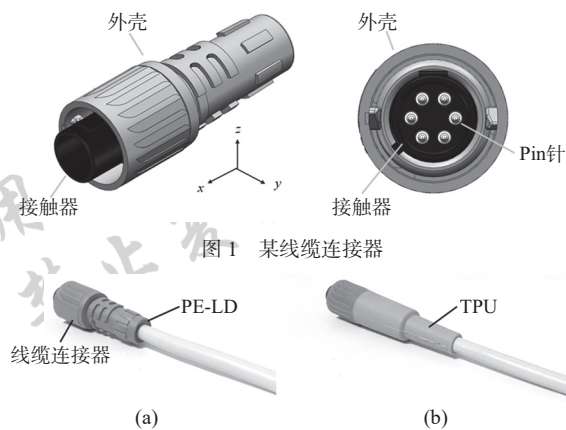


图 1 某线缆连接器

图 2 线缆连接器的二次成型
a—外壳内腔用 PE-LD 完全填充;
b—外壳外侧用 TPU 成型软包胶

考虑到注射成型主要针对于连接器的后段,为节省材料降低成本,去除 Pin 针,仅保留部分连接器外壳和接触器结构,将接触器和连接器外壳设计为一个整体,并且对不参与注射成型过程的表面进行简化设计。基于图 2 线缆连接器设计的、用于注塑工艺参数调试的 3D 打印接头设计如图 3 所示。

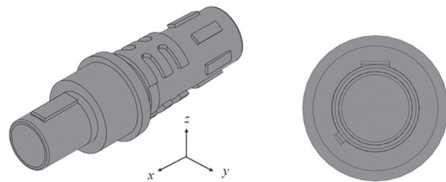


图 3 用于注塑工艺参数调试的 3D 打印线缆连接器设计

图 4 是用于二次成型注塑工艺参数调试的 3D 打印线缆连接器方案。其中 3D 打印线缆连接器后端为一段包含铜环的线缆。线缆的材料、外径及铜环的位置均与实际生产时一致,但未与 3D 打印线缆连接器存在物理连接。选择放置线缆一方面可以

保持 3D 打印连接器内部注塑空间与实际注塑时一致,另一方面可利用成型过程中线缆外皮弹性变形保持其与模具的接触实现连接器后端的密封作用。



图 4 用于注塑工艺参数调试的 3D 打印线缆连接器

1.2 3D 打印材料及设备

选用美国 3D Systems 公司生产的 3D 打印用塑料 PRO-BLK 10 作为 3D 打印材料进行试样制作,固化后试样的实测拉伸性能见表 1。通过 3D 打印制作的线缆连接器的价格仅为真实线缆连接器的 16.7%,可大幅度降低调参过程的材料成本。此外,PRO-BLK 10 的颜色为透明茶色,便于在注射成型前后观察 3D 打印零件内外表面的变形状况。使用美国 3D Systems 公司生产的 Figure 4 Modular 型 3D 打印机,固化设备为瀚海立维光固化箱,固化时间为 2 h。同一批次可制作约 30 个线缆连接器零件,制作时间约 3.5 h/批。3D 打印材料制作的缆线连接器如图 5 所示。

表 1 3D 打印线缆连接器材料制备固化试样的实测拉伸性能

牌号	密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	拉伸强度 / MPa	拉伸弹性 模量 /MPa	断裂极限 应变 /%
PRO-BLK 10	1.16	30.5	648.9	26.7

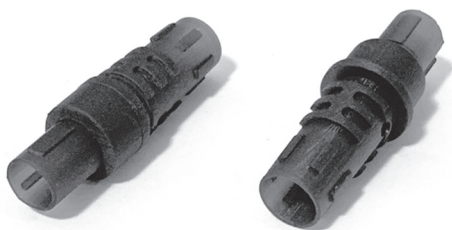


图 5 3D 打印线缆连接器

1.3 基于 3D 打印线缆连接器的注射成型试验

选用上述的真实线缆连接器和 3D 打印零件进行二次成型试验,对比研究 3D 打印零件在注射成型工艺参数调试中的应用可行性。对线缆连接器进行内部芯模注射成型和外部包胶注射成型试验,被注塑材料分别为 PE-LD 和 TPU。

为了对比在注射成型中可能遇到的不同成型状态(即:未充分注塑、充分注塑、过量注塑)下的成型效果,选用的注射成型工艺参数见表 2,这些参数可以实现注塑要求的材料融化、挤出及凝固要求;

基于满足内外模成型要求参数,进一步通过调整进胶量实现未充分注塑、充分注塑、过量注塑三种状态。进胶量选择参数见表 3。注射成型过程前后分别对使用被校准过的电子秤对连接器进行称重,计算成型前后的质量差,按照式(1)计算注塑材料的质量。注塑完成后的零件均不进行额外的处理(如人工修剪、调整等)。综合考虑试验结果的一致性和试验成本,每种注塑成型工艺参数的注塑试验均重复 4 次。

表 2 注射成型工艺参数

项目	成型材料	成型温度 / $^{\circ}\text{C}$	射出压力 /MPa	射出速度 / ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	保压压力 /MPa	保压时间 /s
内模成型	PE-LD	80	1.77	18	0.59	3
外模包胶	TPU	200	2.94	30	1.18	3

注:注塑 TPU 前,所有连接器内部均提前充分注塑 PE-LD。

表 3 注射成型进胶量

组别	成型状态	进胶量(螺杆位移)/mm
内模成型	未充分注塑	10
	充分注塑	12
	过量注塑	13
外模包胶	未充分注塑	12
	充分注塑	15
	过量注塑	18

$$m_M = m_{CB} - m_{CA} \quad (1)$$

式中: m_M ——注塑材料的质量;

m_{CA} ——注塑前 3D 打印线缆连接器和线缆的质量之和;

m_{CB} ——注塑后 3D 打印线缆连接器、线缆和被注塑材料的质量之和。

2 结果与讨论

2.1 3D 打印线缆连接器在注射成型中的应用可行性分析

图 6、图 7 分别是经过内部芯模注射成型和外部包胶注射成型后充分注塑的 3D 打印线缆连接器与真实零件对比。从图 6 可以看出,所选用的 3D 打印材料均具有足够的强度,可以承受二次成型过程中来自上下模具的压力和内部注塑材料对连接器内表面的压力,内部芯模注射成型完成后,未观察到 3D 打印线缆连接器具有产生挤压导致的塑性变形或断裂。此外,3D 打印零件在成型过程中可以与模具保持良好接触,与模具配合保证线缆连接器放置定位。PE-LD 与 3D 打印材料可以保证有效连接,注塑完成后未与 3D 打印材料发生分离。此外,未发现由于注射成型温度导致的 3D 打印零件融化或热塑性变形现象。



图6 内部芯模注射成型后 3D 打印线缆连接器与真实零件对比



图7 外部包胶注射成型后 3D 打印线缆连接器与真实零件对比

在外模包胶成型试验过程中,由于 3D 打印线缆连接器内部已经充分填充 PE-LD 材料,因此主要承受外表面 TPU 材料的挤压。从图 7 可以看出,尽管外模包胶试验的注塑温度更高、成型压力更大,但是依然没有观察到对 3D 打印线缆连接器产生挤压变形/破坏和热变形现象,线缆连接器与模具可以起到有效支撑和配合。

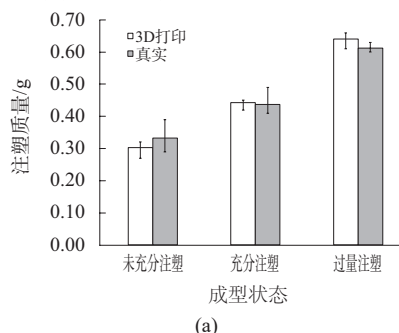
根据试验结果分析可知,针对所述线缆连接器,当选用合适的 3D 打印材料时,可拥有良好的结构强度,不会发生断裂、破损等现象,被注塑材料与 3D 打印材料粘连良好、无脱落。因此,3D 打印连接器可以满足二次成型过程中参数调节的预成型零件的使用要求,具备二次成型时用于参数调节的应用可行性。

2.2 3D 打印线缆连接器与真实线缆连接器的注塑成型结果分析

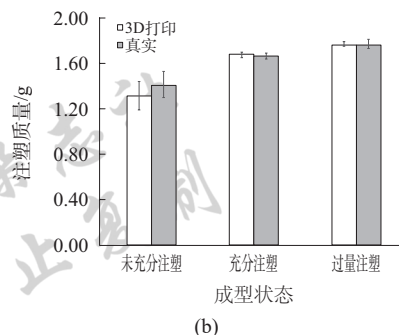
选用二次成型材料的注塑质量和注塑后零件外观来评价线缆连接器的注射成型结果。其中,注塑质量用于评价 3D 打印零件与真实零件在注塑过程中材料用量的一致性,注塑后零件的外观用于评价 3D 打印零件与真实零件是否可以获得相同的二次注塑效果。

由称重和式 (1) 计算获得的真实线缆连接器与 3D 打印线缆连接器的注塑材料质量对比如图 8 所示。由图 8 可以看出,在未充分注塑、充分注塑和过量注塑三种不同成型状态下,注入 3D 打印线缆连接器的 PE-LD 材料的平均质量相较于真实线缆

连接器的偏差分别为 9.02%,1.14% 和 4.49%; 外侧包裹的 TPU 材料的平均质量偏差分别为 6.41%,0.90% 和 0.14%。可认为在选用相同注塑工艺参数条件下,采用 3D 打印线缆连接器被注塑的材料和真实线缆连接器是一致的。



(a)



(b)

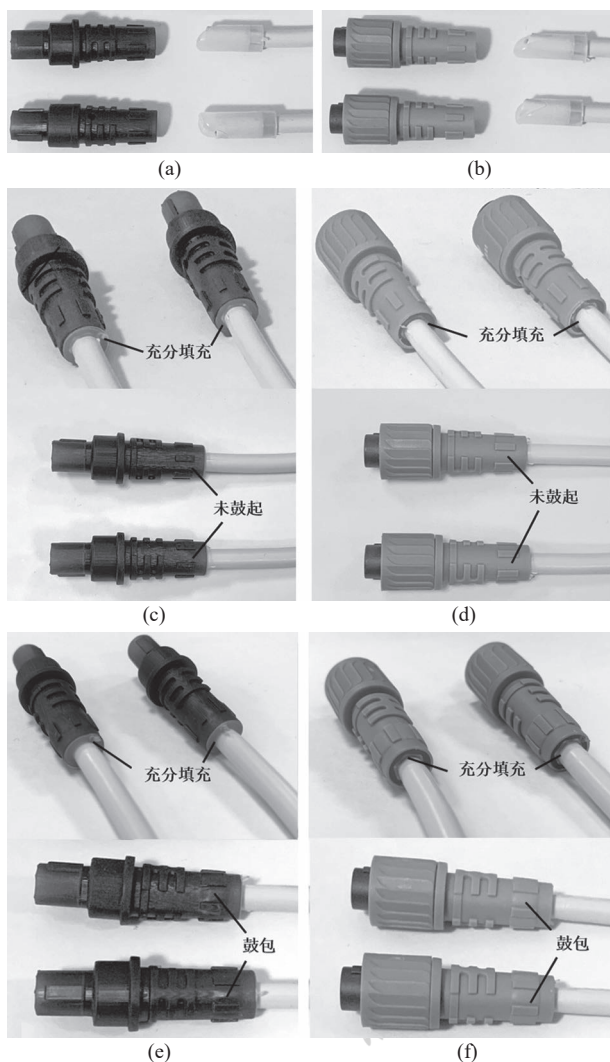
a—内部芯模注射成型; b—外部包胶注射成型

图8 二次成型材料的注塑质量对比

3D 打印内部芯模注射成型后的线缆连接器外观与真实零件对比如图 9 所示。

试验结果表明,在未充分注塑条件下,PE-LD 与连接器未形成充分粘连,可以通过人力取出。PE-LD 并没有完整填充两种线缆连接器 (3D 打印线缆连接器和真实线缆连接器) 的内腔,前端未充分包裹线缆,所形成的芯模形态也类似,如图 9a、图 9b 所示。二次成型完成后,真实线缆连接器和 3D 打印线缆连接器均未发现变形。

从图 9c~图 9f 可以看出,在选择的注塑工艺参数下,两种注塑条件 (充分注塑和过量注塑) 均可以充分填充连接器内腔,且在连接器的末端均未观察到溢胶现象。但在过量注塑条件下,真实线缆连接器和 3D 打印线缆连接器的后侧相同位置均出现了局部鼓包的现象 (图 9c、图 9d),而充分注塑时没有出现鼓包现象 (图 9e、图 9f),这是由于过量的 PE-LD 材料在零件薄弱位置将连接器的外壳顶起的结果。除上述局部变形外,二次成型完成后,真实线缆连接器和 3D 打印零件的其余位置均未发现变形。



a—3D 打印,未充分注塑;b—真实,未充分注塑;
c—3D 打印,充分注塑;d—真实,充分注塑;
e—3D 打印,过量注塑;f—真实,过量注塑

图9 3D打印内部芯模注射成型后的
线缆连接器外观与真实零件对比

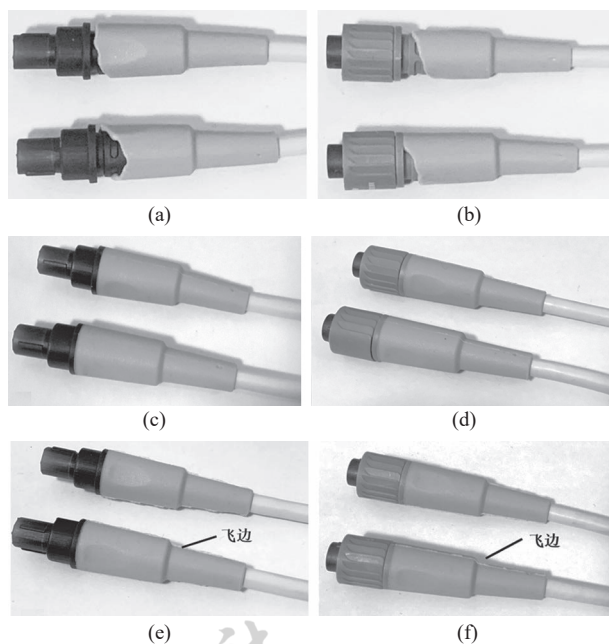
3D打印外部包胶注射成型后的线缆连接器外观与真实零件对比如图10所示。

从图10可以看出,两种线缆连接器的外侧均未完整包裹TPU,未完整包裹的位置存在于零件的前端,零件后端均完全包裹。

从图10c~图10f可以看出,在选择注塑工艺参数下,两种注塑条件(充分注塑和过量注塑)均可以充分包裹连接器,但是在过量注塑情况下,两种线缆连接器的分模线位置均出现了较为明显的飞边,而在充分注塑条件下,线缆连接器虽然也存在飞边,但不明显。

3 结论

基于3D打印快速成型技术,提出了用于医疗



a—3D 打印,未充分注塑;b—真实,未充分注塑;
c—3D 打印,充分注塑;d—真实,充分注塑;
e—3D 打印,过量注塑;f—真实,过量注塑

图10 3D打印外部包胶注射成型后的
线缆连接器外观与真实零件对比

器械线缆注射成型参数调整的应用新方法,即将3D打印的预成型零件,替代真实线缆连接器进行二次注射成型工艺参数的摸索与调试,待注塑参数确定后再使用真实零件进行生产。以某线缆连接器为例,设计了用于注射成型参数调整的3D打印零件,选用PRO-BLK 10材料制作了3D打印零件并进行了内部芯模注射成型和外部包胶注射成型的注塑试验,结论如下:

(1) 3D打印线缆连接器在注塑过程中拥有良好的结构强度,不会发生断裂、破损等现象,被注塑材料与3D打印材料粘连良好、无脱落,满足作为预成型零件的使用要求。

(2) 通过3D打印制作的线缆连接器可以获得与真实线缆连接器相同的二次注塑材料质量,同时具有相同的注塑材料特征及注塑后的零件外观,使用3D打印线缆连接器进行的参数调整结果可以用作二次注射成型参数是否合适的判断指标。

(3) 3D打印线缆连接器材料的成本仅为所采购的真实连接器的16.7%,可大幅减少预成型材料成本;同时一个批次材料的生产时间短,可以实现快速、按需生产预成型零件,在二次成型制造与注射成型中拥有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 刘辉,陆根生. 聚氨酯电缆护套料的性能及其挤出工艺[J]. 光纤与电缆及其应用技术,2008(5):17-18,25.
Liu Hui, Lu Gensheng. Properties and extrusion process of TPU cable sheath compound[J]. Optical Fiber & Electric Cable and Their Applications,2008(5):17-18,25.
- [2] Burk S. Overmolding circular connectors in cable assemblies[J]. Connector Specifier,2000,16(7):32-33.
- [3] Brachmann M. Durable protection for electronic components[J]. Adhesion Adhesives & Sealants,2014,11(1):34-37.
- [4] Thomas R, Rapp R J, Spalding M A, et al. Technology in undersea cable systems: 50 years of progress[J]. Marine Technology Society Journal,2015,49(6):88-109.
- [5] 陈妍. 注塑成型工艺参数的优化研究进展[J]. 合成树脂及塑料,2020,37(3):87-90.
Chen Yan. Optimization for parameters of injection molding process[J]. China Synthetic Resin and Plastics,2020,37(3):87-90.
- [6] Prabhakar M M, Saravanan A K, Lenin A H, et al. A short review on 3D printing methods, process parameters and materials[J]. Materials Today:Proceedings,2021,45(7):6108-6114.
- [7] Singh T, Kumar S, Sehgal S. 3D printing of engineering materials:A state of the art review[J]. Materials Today:Proceedings,2020,28:1927-1931.
- [8] 蒋龙,姚晓彤. 浅析3D打印成形方法及在机械加工制造中的优势[J]. 内燃机与配件,2020(23):112-113.
Jiang Long, Yao Xiaotong. A discussion of 3D printing forming method and its advantages in machining and manufacturing[J]. Internal Combustion Engine & Parts,2020(23):112-113.
- [9] 王莉莉,汤荣燕. 浅论3D打印技术对注塑产品研发的影响及其智能化趋势[J]. 工程技术,2018(1):316-317,319.
Wang Lili, Tang Rongyan. A discussion of the effects of 3D printing technology on injection molding product developments and its intelligent trends[J]. Engineering Technology,2018(1):316-317,319.
- [10] Boros R, Rajamani P K, Kovács J G. Combination of 3D printing and injection molding:Overmolding and overprinting[J]. Express Polymer Letters,2019,13(10):889-897.
- [11] Fuenmayor E, O' Donnell C, Gately N, et al. Mass-customization of oral tablets via the combination of 3D printing and injection molding[J]. International Journal of Pharmaceutics,2019,569. DOI:10.1016/j.ijpharm.2019.118611.
- [12] Ferreira J C, Mateus A. Studies of rapid soft tooling with conformal cooling channels for plastic injection moulding[J]. Journal of Materials Processing Technology,2003,142(2):508-516.
- [13] 刘雷. 基于3D打印的快速模具关键技术研究[D]. 石家庄:河北科技大学,2017.
Liu Lei. Research on key technology of rapid tooling based on 3D printing[D]. Shijiazhuang:Hebei University of Science & Technology,2017.
- [14] 井石磊. 3D打印技术在模具制造中的应用[J]. 百科论坛电子杂志,2019(3):266-267.
Jing Shilei. Application of 3D printing technology in mold manufacturing[J]. Encyclopedia Form,2019(3):266-267.
- [15] Dizon J R C, Valino A D, Souza L R, et al. 3D printed injection molds using various 3D printing technologies[C]//Materials Science Forum. [S. l.]:Trans Tech Publications Ltd,2020,1005:150-156.
- [16] 刘斌,谭景焕,吴成龙. 基于3D打印的随形冷却水道注塑模具设计[J]. 工程塑料应用,2015,43(10):71-74.
Liu Bin, Tan Jinghuan, Wu Chenglong. Design of injection mould with conformal cooling channel based on 3D printing[J]. Engineering Plastics Application,2015,43(10):71-74.
- [17] 谭景焕,刘斌,吴成龙. 基于Moldflow和3D打印的注塑模具随形冷却水道设计[J]. 塑料工业,2015,43(12):45-48,77.
Tan Jinghuan, Liu Bin, Wu Chenglong. Design of conformal cooling channel of injection mold based on moldflow and 3D printing[J]. China Plastics Industry,2015,43(12):45-48,77.
- alkylene and arylene diacetates with alkylene and arylene diphenyl dicarbonates[J]. Molecules,2010,15(5):3661-3682.
- [17] 郭燕芬,陶友季,马坚,等. 聚碳酸酯自然老化的红外光谱研究[J]. 工程塑料应用,2012,40(12):77-80.
Guo Yanfen, Tao Youji, Ma Jian, et al. Study on the natural aging of polycarbonate by FTIR[J]. Engineering Plastics Application,2012,40(12):77-80.

(上接第45页)

科学出版社,2000,332-340.

Ning Yongcheng. Structural identification of organic compounds and organic spectroscopy[M]. 2nd ed. Beijing:Science Press,2000,332-340.

- [16] Sweileh B A, Al-Hiari Y M, Kailani M H. Synthesis and characterization of polycarbonates by melt phase interchange reactions of