

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.01.030

计算机辅助技术在塑料 3D 打印中的应用

刘青云

(浙江经贸职业技术学院, 杭州 310018)

摘要: 主要综述了计算机辅助技术在熔融沉积 3D 打印中的应用, 其中包括在对喷头温度场的分析、对制件温度场、应力场和压力场的分析以及预测不同工艺参数对制件精度的影响。其中涉及的高分子材料包括丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料、聚醚醚酮材料和聚乳酸材料; 涉及的工艺参数主要为喷头温度、成型室温度、打印速率、扫描方式和分层厚度; 采用的模型制件通常为板状制件, 也包括结构较为复杂的人工骨制件。

关键词: 计算机辅助技术; 3D 打印; 工艺优化; 精度预测

中图分类号: TB324 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)01-0134-05

Application of Computer Aided Technology in 3D Printing of Plastic

Liu Qingyun

(Zhejiang Economic and Trade Polytechnic, Hangzhou 310018, China)

Abstract : The application of computer aided technology in 3D printing of molten deposit was reviewed, including the analysis of the temperature distribution of the nozzle, the analysis of the temperature distribution, pressure distribution and stress distribution and the prediction of the influence of different process parameters on the accuracy of parts. The polymer materials mentioned are acrylonitrile-butadiene-styrene tri-block copolymer materials, poly(ether-ether-ketone) materials and polylactic acid material; process parameters mentioned are temperature of nozzle, temperature of molding chamber, printing rate, scanning mode and layer thickness; the model products employed are usually polymeric sheet. The production of artificial bone was also mentioned, whose structure was more complex.

Keywords : computer aided technology; 3D printing; optimization of process; prediction of accuracy

塑料零部件在民用、军用、医用等领域都有着广泛的应用^[1-5], 提高塑料件的质量, 是保证整个器械良好运转的前提, 也是保证国民生活安全的前提。塑料件在加工过程中, 受到温度场、流动场、压力场等多种因素的影响, 只有对每一个参数都进行精确的优化和调控, 才能制备出应用性能合格、外观美观的塑料件^[6-10]。传统参数优化是一个周期长且繁琐的过程, 对操作工的生产经验依赖严重, 并且存在众多的偶然因素, 优化结果的准确性和科学性有待提高。随着计算机科学的发展, 计算机辅助技术不仅能够精确地对塑料加工工艺参数进行精准、快速、高效的优化, 还能够对加工设备及模具结构进行优化, 大大提高了塑料加工过程的效率, 目前已广泛应用到了塑料的注塑加工、挤出加工等领域^[11-15]。

与注塑加工、挤出加工等传统的加工方式相比, 3D 打印是一种新兴的塑料加工方式, 目前在聚酯、聚醚醚酮、苯乙烯-丁二烯-丙烯腈塑料 (ABS) 等丝材、粉末材料的加工

中应用广泛^[16-18]。不过与传统加工方式相同的是, 3D 打印加工设备的结构以及加工工艺参数对塑料件的质量和外观也具有较程度的影响。例如, 熔融沉积 3D 打印的原材料通常是高分子丝材, 熔融沉积打印机主要分为定位区、进给区、熔丝区和增材区。预先熔融的高分子丝材在进给区的轮组的压力作用下, 由定位区经进给区输送至熔丝区。高分子丝材在熔丝区熔融为流动性好的熔体, 再由增材区的喷嘴喷出, 在打印平台上获得目标制品。而打印速率、熔丝区温度、喷嘴温度等参数均会对 3D 打印制件的质量造成明显的影响。而计算机辅助技术在这些参数优化方面的应用, 有助于同时提高生产效率和 3D 打印产品质量。只有合适的喷头结构、加工温度、送料速率以及挤压压力才能够有效地保证高分子材料在加工过程中能够完全熔融又不发生碳化以及在成型过程中能够具有合适的冷却速率和固化速率^[19-20]。目前大部分对 3D 打印加工的设备及工艺优化研究还处于实

通讯作者: 刘青云, 教授, 研究方向是多媒体技术、数据库技术、3D 打印 E-mail: Liu6510@163.com

收稿日期: 2017-11-24

引用格式: 刘青云. 计算机辅助技术在塑料 3D 打印中的应用 [J]. 工程塑料应用, 2017, 46(1):134-138.

Liu Qingyun. Application of computer aided technology in 3D printing of plastic[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 46(1):134-138.

实验室研究阶段,而且采用的手段也大多限于实验数据优化,不过计算机辅助技术在这方面的应用已初现端倪,笔者则对计算机辅助技术在 3D 打印加工中的应用进行了综述。

1 计算机辅助技术在速率参数优化中的应用

张宝庆等^[21]利用计算机辅助技术对 ABS 材料的板状制件(尺寸为 20 mm×16 mm×4 mm)的 3D 打印参数进行了优化模拟。作者首先模拟了打印速率为 40 mm/s 时,制件温度场和应力场的分布情况,实验结果表明,当打印速率为 40 mm/s 时,制件温度场和应力场分布不均匀,在打印初期,材料受热膨胀,聚合物熔体受到明显的拉应力,而在打印后期,表层聚合物熔体受到已冷却的聚合物限制,受到明显的压应力,模型底层受到明显的拉应力,易导致制件出现裂痕。另外作者对不同打印速率下(5~200 mm/s),所制得的塑料件的翘曲变形进行了模拟,研究发现,随着打印速率的增大,塑料件的翘曲变形量先降低后升高。当打印速率为 50 mm/s 时,塑料件的翘曲变形量最低,仅为 0.103 mm。除了打印速率外,喷嘴的温度也显著地影响着塑料件的质量。

戴岳^[22]也对尺寸为 100 mm×20 mm×2 mm 的 ABS 制件的 3D 打印过程中的温度场和应力场进行了模拟。研究表明,当打印速率为 15 mm/s 时,塑料件 X 轴和 Y 轴方向的残留内应力最小,分别为 1.42×10^{-6} Pa 和 1.75×10^{-6} Pa,且塑料件 X 轴和 Y 轴方向的变形量也最小,仅为 0.019 mm 和 0.046 mm。另外,作者还针对打印速率、成型丝宽和填充角度 3 个参数进行正交试验模拟。结果表明,当成型丝宽为 0.2 mm,打印速率为 15 mm/s,填充角度为 50° 时,塑料件的翘曲变形量最低,X 轴方向和 Y 轴方向的翘曲变形量分别为 0.0083 mm 和 0.0151 mm。

任翀等^[23]利用计算机辅助技术,研究了不同喷头结构下,送丝速率对 ABS 丝材 3D 打印过程的影响。研究结果表明,当送丝速率保持不变时,随着喷嘴的直径由 0.2 mm 增加至 0.7 mm,ABS 丝材的挤出速率逐渐降低,且 3D 打印过程中压力损失逐渐降低;若保持喷头结构不变,则挤出速率和压力损失均随送丝速率增加而增大。另外通过对不同送丝速率下 3D 打印过程的模拟,作者发现当喷头直径为 0.2 mm 时,低于 3 mm/s 的送丝速率较为合适;而当喷头直径为 0.5 mm 和 0.7 mm 时,低于 2 mm/s 的送丝速率则比较合适。邱晓云等^[24]利用计算机辅助技术研究了填充速率对 ABS 材料 3D 打印制件中应力场的影响。当填充路径为“L”形,填充速率分别为 2,5,10 mm/s 和 20 mm/s 时,塑料件中 X 轴方向的最大应力值分别为 1.7,1.98,2.125 Pa 和 22.3 Pa,残留的应力分别为 1.37,1.75,1.8 Pa 和 17.8 Pa;Y

轴方向的最大应力值分别为 3.55,17.2,21.0 Pa 和 62.5 Pa,残留的应力分别为 3.55,16.0,18.3 Pa 和 45.8 Pa;Z 轴方向的最大应力值分别为 3.15,26.4,32.8 Pa 和 38.5 Pa,残留的应力分别为 2.25,20.2,28.4 Pa 和 32.5 Pa。因此,当填充速率为 2 mm/s 时塑料件的尺寸精度最高。作者通过实验验证发现,当填充速率为 10 mm/s 和 20 mm/s 时,所制备的塑料件出现明显的浮丝和翘脚现象,而填充速率为 2 mm/s 和 5 mm/s 时,所得塑料件质量符合使用标准。由经济角度和质量角度综合分析,扫描速率为 5 mm/s 是较为合适的填充速率。

宋丽莉^[25]利用计算机辅助技术模拟并预测了打印速率和扫描方式对塑料件精度的影响。研究发现,塑料件最大的应力出现在角点处,且随着打印速率由 20 mm/s 升高至 1000 mm/s,高应力单位降低,应力波动幅度降低。制件的翘曲变形和应力波动有着密不可分的关系,因此当打印速率为 1000 mm/s 时,翘曲变形最小,仅为 4.83 μ m。除了打印速率外,扫描方式对塑料件的温度场和应力场分布也有影响,从而影响到塑料件的精度。研究表明,与长边单向扫描方式相比,短边单向扫描方式下制件的变形量更低。当制件长宽比为 2:1 时,长边单向扫描方式制件的变形量为 9.65 μ m,短边单向扫描方式制件的变形量为 8.77 μ m。随着制件长宽比增加,短边单向扫描方式的优点更为明显。当长宽比为 12.5:1 时,长边单向扫描方式塑料件的变形量为 9.45 μ m,短边单向扫描方式制件的变形量仅为 6.61 μ m。

2 计算机辅助技术在温度参数优化中的应用

高金岭^[26]也利用计算机辅助技术对 ABS 材料制件的 3D 打印过程及工艺参数进行了仿真优化。首先对 3D 打印机喷头的温度场进行了模拟,结果表明,当设定温度为 210℃ 时,喷头各部位温度差较小,最高温度为 210℃,最低温度为 202.493℃。最低温度依然高于 ABS 的加工温度(170℃),能够保证 ABS 完全熔融;而塑料件的温度分布则呈现底面温度高、中心温度高、表面温度低的特点,这是由于中心部位和底部散热慢导致的。另外,作者也对制件的应力分布进行了计算机模拟,实验结果表明,制件中心区域残余应力较大,最大为 1.24×10^{-4} Pa。随着热应力的释放,塑料件会发生一定程度的翘曲变形,作者通过模拟发现所制备的 ABS 制件主要在 Z 轴方向发生翘曲变形,而在 X 轴和 Y 轴方向上仅发生微量的翘曲变形。当塑料件尺寸为 80 mm×80 mm×4 mm 时,作者还通过实验对仿真结果进行了验证,研究发现在实验中发生的翘曲变形与仿真结果类似。

贾永臻等^[27]也利用计算机辅助技术对 ABS 丝材熔体在喷嘴内的温度场、流动场和压力场分布进行了模拟分析。

实验结果表明,当ABS熔体进入喷嘴后,其温度急剧下降,容易造成喷嘴堵塞。而更换喷嘴材料或在喷嘴上添加保温层后则可以显著改善这一现象,这说明计算机辅助技术在3D打印中具有十分重要的指导意义。同样乔女^[28]以ABS材料为原料,3D打印制备尺寸为12 mm×12 mm×1.2 mm的板状塑料件,利用计算机辅助技术对喷嘴温度、打印平台温度、打印速率等因素的综合影响进行了分析,并在喷嘴温度为200℃、打印平台温度为90℃、打印速率为30 mm/s、打印时间为32 s、冷却时间为31 s时,对塑料件的温度场进行了模拟,实验结果表明,打印平台温度和打印速率对塑料件质量的影响较为显著。随后利用实验验证计算机模拟的结果,分别选定打印平台温度为70、80℃和90℃。当打印平台温度为70℃时,塑料件外边缘轮廓未完全融合,随着温度的升高该情况有所好转,当打印平台温度升至90℃时,塑料件轮廓未出现散边,且融合状况良好。

李骁健^[29]同样利用计算机辅助技术对ABS材料3D打印过程中的温度场进行了分析,同时模拟了温度场对塑料件精度的影响。研究发现,所制备ABS材料塑料件在X轴和Y轴方向上温度分布较为均匀,而在Z轴方向上不太均匀;在打印初期塑料件的温度分布相对不太均匀,但随着打印过程的进行,塑料件各部位的温度梯度越来越小。同样研究了不同成型室温度对塑料件温度场的影响,发现随着成型室温度的升高,可以降低塑料件各部位的温度梯度,当成型室温度超过101℃后则容易造成ABS塑料件坍塌,不利于成型。另外打印速率对塑料件质量也有影响,模拟结果表明,当打印速率为200 mm/s时,塑料件成型效果良好,而低于或高于200 mm/s则都不利于成型。

纪良波^[30]利用ABS材料,通过熔融沉积3D打印制备尺寸为9 mm×3 mm×0.5 mm的塑料件,并通过计算机模拟技术对塑料件的温度场、热耦应力场进行了模拟,对塑料件精度进行了预测以及对工艺进行了优化。研究发现,由于塑料件成型是沿着XOY平面进行涂覆,因此表面散热较容易,X轴和Y轴方向温度分布较均匀,而Z轴方向均一度较差;随着打印过程的进行,塑料件热影区域逐渐增大,温度梯度逐渐降低,并且温度增幅逐渐缓和。由于温度梯度的存在,成型过程中塑料件中部残存应力较大,并且由于塑料件顶部受热膨胀,容易对底部材料产生拉应力,从而导致制件底部易产生裂纹。随后,结合正交试验法模拟了线宽补偿、挤出速度、填充速度、分层厚度4个参数对塑料件尺寸精度和翘曲变形的影响,实验结果表明,当线宽补偿为0.22 mm、挤出速度为28 mm/s,填充速度为26 mm/s,分层厚度为0.9 mm时,塑料件的尺寸精度最高。并且通过实验对其进行验证,实际加工中制件的尺寸误差仅为3.4189 μm,翘

曲变形为2.5691 μm。

山东大学的倪荣华^[31]也利用计算机模拟了ABS材料的板状塑料件在打印过程中的温度场,结果表明,塑料件温度梯度主要出现X方向和Y方向,塑料件的主要变形也出现在XOY平面上。随着打印速率的增大,塑料件的温度也逐渐增大,当打印速率为400 mm/s时,打印室温度高于105℃时塑料件易发生坍塌。当塑料件尺寸为20 mm×16 mm×10 mm时,制件最大应力出现在其边缘位置,并且随着打印速率的增大,塑料件最大应力波动减小,即采用较高的打印速率有利于降低塑料件的翘曲变形量。

王利等^[32]对3D打印机喷头内的温度场和热变形进行了计算机模拟,并研究了ABS丝材在喷头内的流动情况,找出了造成喷头堵塞的原因,并给出了相应的解决办法。作者研究发现,当目标设定温度为230℃时,喷头最高温度为230℃,喷头前段温度最低,为201.526℃,流道中温度约为210℃;由温度差导致喷头下部的变形位移最大,容易影响打印精度。另外,作者研究了不同打印温度对挤出过程的影响,当设定温度大于240℃时,ABS材料易发生分解;而温度低于190℃时,ABS熔体流动受限,易造成喷头堵塞。据作者模拟结果可知,对于ABS材料,将预热温度设定为190~240℃之间,既能保证制件质量,又能防止喷头堵塞。

3 计算机辅助技术在复杂塑料件生产中的应用

以上的研究工作都是基于ABS材料的简单板状制件3D打印过程的模拟,但实际生产中通常会用到多种材料,并且塑料件的形状也较为复杂。

赵帝^[33]将计算机辅助技术应用到聚醚醚酮材料的人工骨的3D打印中,模拟了其打印过程中温度场、速度场和压力场,并预测了喷嘴温度和打印速率对塑料件质量的影响。研究发现,聚醚醚酮熔体在喷头内部时,前段和外层温度较后段和中部温度低;并且由于前段熔体温度高,流动性好,所以喷嘴出口处流动速率和压力较高。对不同的喷头温度和打印速率进行了优化,结果表明喷头温度不会影响聚醚醚酮熔体在喷头内的温度分布,但较高的喷头温度有利于提高熔体的流动速率;而较高的打印速率有利于提高喷嘴处的压力,使压力分布均匀。

张钰^[34]也对聚醚醚酮的人工骨的3D打印过程进行了计算机仿真。在对塑料件温度场模拟实验中发现,塑料件Z方向的温度分布不太均匀,易发生变形。若提高喷头温度、成型室温度,塑料件本身的温度提高,并且温度分布均匀,提高打印速率也会产生同样的效果。其中喷头温度的影响效果不如成型室温度和打印速率明显。当成型室温度为220℃,制件温度分布均匀性好,但较高的成型室温度会导致塑料件发生坍塌。较高的成型室温度和打印速率容易造成

塑料件热变形严重,通过对不同参数的塑料件精度影响的预测和优化发现,喷头温度为 340℃、成型室温度为 90℃、打印速率为 20 mm/s 时塑料件的变形量最小,为 0.10 mm。

李敬^[35]对羟基磷灰石增强的聚乳酸材料的 3D 打印塑料件的温度场和应力场进行了模拟,与以上所提到的其它塑料件类似,最大的温度梯度出现在 Z 方向(厚度方向),最大等效应力和最小等效应力出现在底面的 4 个直角和顶面的 4 个直角,最大热变形出现在 Z 方向。作者还预测和优化成型室温度、喷头温度、打印速率、扫描角度和分层厚度 5 个参数对塑料件精度的影响效果。其中喷头温度和扫描角度对塑料件的精度影响较小,但较低的喷头温度有利于提高塑料件的精度。成型温度、打印速率和分层厚度对塑料件的精度影响较为严重,当喷头温度、扫描角度、打印速率和分层厚度分别设定为 210℃、0°,20 mm/s 和 0.2 mm 时,成型温度由 30℃ 升高至 90℃,塑料件的变形量由 0.176 mm 降低至 0.068 mm;当喷头温度、扫描角度、成型温度和分层厚度分别设定为 210℃、0°,30℃ 和 0.2 mm 时,打印速率由 20 mm/s 升至 80 mm/s,塑料件的变形量由 0.176 mm 降低至 0.087 mm;当喷头温度、扫描角度、打印速率和成型温度分别设定为 210℃、0°、20 mm/s 和 30℃ 时,分层厚度由 0.1 mm 增加至 0.4 mm,塑料件的变形量由 0.108 mm 增加至 0.356 mm。因此较高的成型室温度及打印速率和较低的分层厚度有利于制备出高质量的羟基磷灰石增强的聚乳酸 3D 打印塑料件,最佳加工工艺为 190℃ 的喷头温度、90℃ 的成型室温度、80 mm/s 的打印速率、0.1 mm 的分层厚度、0° 的扫描角度。

4 结语

计算机辅助技术在塑料的注塑、挤出、压延等加工设备结构优化和加工工艺优化中得到了广泛的应用,并且在提高工作效率和数据准确度方面也取得了较为突出的成果。继这些传统加工工艺之后,3D 打印技术是一种新兴的塑料加工技术,并且计算机辅助技术也在熔融沉积 3D 打印设备和塑料件的温度场、流动场、应力场、压力场的分布分析以及打印速率、喷头温度、成型室温度、分层厚度、扫描方式等对塑料件精度预测等方面得到了初步的应用,并且也取得了较为可观的成果。计算机辅助技术对 3D 打印设备结构的优化、3D 打印工艺参数的优化以及对塑料件精度的预测都具有较高的准确度,计算机仿真和模拟的结果与实际生产的数据相符度较高,并且其可大大提高工作效率,对实际生产具有十分重要的指导意义。在未来的发展中,计算机辅助技术还有望应用到其它 3D 打印技术的仿真和预测中,并且也将对更多的工艺参数进行精准的优化。

参考文献

- [1] 洪桂香. 化学工业, 2017, 35(1):23-26.
Hong Guixiang. Chemical Industry, 2017, 35(1):23-26.
- [2] 孙昭艳, 等. 科技导报, 2017, 35(11):60-68.
Sun Zhaoyan, et al. Science & Technology Review, 2017, 35(11):60-68.
- [3] 王宏喜, 等. 化学进展, 2017, 29(4):348-358.
Wang Hongxi, et al. Progress in Chemistry, 2017, 29(4):348-358.
- [4] 钱文珍, 等. 高分子通报, 2017(4):1-8.
Qian Wenzhen, et al. Polymer Bulletin, 2017(4):1-8.
- [5] 张君慈. 化工管理, 2016(6):46.
Zhang Junci. Chemical Enterprise Management, 2016(6):46.
- [6] 陈新欣, 等. 塑料, 2017(3):96-98.
Chen Xinxin, et al. Plastics, 2017(3):96-98.
- [7] 邓小珍, 等. 橡塑技术与装备, 2017(10):28-32.
Deng Xiaozhen, et al. China Rubber / Plastics Technology and Equipment, 2017(10):28-32.
- [8] 仇何, 等. 南通大学学报: 自然科学版, 2016, 15(1):34-38.
Chou He, et al. Journal of Nantong University: Natural Science Edition, 2016, 15(1):34-38.
- [9] 武敬华, 等. 高分子材料科学与工程, 2017, 33(8):90-95.
Wu Jinghua, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2017, 33(8):90-95.
- [10] 王洪见. 合成树脂及塑料, 2017, 34(2):92-97.
Wang Hongjian. China Synthetic Resin and Plastics, 2017, 34(2):92-97.
- [11] 李坤全, 等. 工程塑料应用, 2017, 45(8):139-142.
Li Kunquan, et al. Engineering Plastics Application, 2017, 45(8):139-142.
- [12] 陈凤琴, 等. 合成树脂及塑料, 2017, 34(4):90-93.
Chen Fengqin, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2017, 34(4):90-93.
- [13] 江青松, 等. 塑料, 2016(6):62-64.
Jiang Qingsong, et al. Plastics, 2016(6):62-64.
- [14] 黄雪梅, 等. 塑料工业, 2016, 44(8):37-40.
Huang Xuemei, et al. China Plastics Industry, 2016, 44(8):37-40.
- [15] 熊爱华, 等. 高分子材料科学与工程, 2015, 31(10):110-114.
Xiong Aihua, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 31(10):110-114.
- [16] 杜宇雷, 等. 徐州工程学院学报: 自然科学版, 2014, 29(1):20-24.
Du Yulei, et al. Journal of Xuzhou Institute of Technology: Natural Sciences Edition, 2014, 29(1):20-24.
- [17] 贺超良, 等. 高分子学报, 2013, 52(6):722-732.
He Chaoliang, et al. Acta Polymerica Sinica, 2013, 52(6):722-732.
- [18] 高卓, 等. 热固性树脂, 2017(4):67-70.
Gao Zhuo, et al. Thermosetting Resin, 2017(4):67-70.
- [19] 闫丽静, 等. 塑料工业, 2017, 45(2):71-74.
Yan Lijing, et al. China Plastics Industry, 2017, 45(2):71-74.
- [20] 韩江, 等. 制造技术与机床, 2016(6):139-142.

- Han Jiang, et al. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2016(6):139-142.
- [21] 张宝庆,等. 长春理工大学学报:自然科学版,2017,40(4):45-48.
- Zhang Baoqing, et al. Journal of Changchun University of Science and Technology:Natural Science Edition,2017,40(4):45-48.
- [22] 戴岳. 基于 ANSYS 模拟的熔融沉积快速成型精度研究 [D]. 包头:内蒙古科技大学,2015.
- Dai Yue. Study of fused deposition rapid prototyping precision based on ANSYS simulation[D]. Baotou:Inner Mongolia University of Science and Technology,2015.
- [23] 任翀,等. 铸造技术,2017(6):1406-1409.
- Ren Chong, et al. Foundry Technology,2017(6):1406-1409.
- [24] 邱晓云,等. 制造技术与机床,2016(10):17-22.
- Qiu Xiaoyun, et al. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2016(10):17-22.
- [25] 宋丽莉. 熔融沉积制造成型过程的数值模拟 [D]. 北京:北京化工大学,2005.
- Song Lili. Numerical simulation of fused deposition molding[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology,2005.
- [26] 高金岭. FDM 快速成型机温度场及应力场的数值模拟仿真 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
- Gao Jinling. Numerical simulation of temperature field and stress field of FDM rapid prototyping machine[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology,2014.
- [27] 贾永臻,等. 塑料,2017(1):61-64.
- Jia Yongzhen, et al. Plastics,2017(1):61-64.
- [28] 乔女. 航空精密制造技术,2017,53(2):41-45.
- Qiao Nyu. Aviation Precision Manufacturing Technology,2017,53(2):41-45.
- [29] 李骁健. 基于熔融沉积成型零件的精度及温度场有限元分析研究 [D]. 兰州:兰州理工大学,2016.
- Li Xiaojian. Research on precision and temperature field finite element analysis based on the fused deposition molding partsthe fused deposition molding parts[D]. Lanzhou:Lanzhou University of Technology,2016.
- [30] 纪良波. 熔融沉积成型有限元模拟与工艺优化研究 [D]. 南昌:南昌大学,2011.
- Ji Liangbo. Finite element simulation and process optimization of fused deposition modeling[D]. Nanchang:Nanchang University,2011.
- [31] 倪荣华. 熔融沉积快速成型精度研究及其成型过程数值模拟 [D]. 济南:山东大学,2013.
- Ni Ronghua. Reseallch on pmcess precision of fused deposition modeling and numerical simulation of modeling[D]. Jinan:Shandong University,2013.
- [32] 王利,等. 机械与电子,2016,34(1):27-30.
- Wang Li, et al. Machinery & Electronics,2016,34(1):27-30.
- [33] 赵帝. 仿生人工骨 3D 打印流场仿真分析及试件力学性能研究 [D]. 长春:吉林大学,2015.
- Zhao Di. The finite analysis of biological artificial bone manufactured by 3D printing and the mechanical property study of printing parts[D]. Changchun:Jilin University,2015.
- [34] 张钰. 聚醚醚酮仿生人工骨 3D 打印热力学仿真及实验研究 [D]. 长春:吉林大学,2014.
- Zhang Yu. Thermodynamic simulation and experiment of 3D pringing of bionic atrificial bone with polyetheretherketone (PEEK) [D]. Changchun:Jilin University,2014.
- [35] 李敬. 仿生人工骨材料 PLA-nHA 熔融沉积的数值模拟及实验研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- Li Jing. Numerical simulation and experimental study of molten deposition of PLA-nHA-based biomimetic artificial bone material[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology,2016.

可自愈坚硬塑料问世,按压 30 秒可修复断裂

英媒称,日本科研人员偶然发现,一种坚硬透明的塑料在裂开时可以用手挤压将其修复。

据英国《泰晤士报》12月19日报道,这种像玻璃一样的物质,最初是被当做一种新型生物分子胶水来研究的,在室温条件下适度用力按压 30 s 就能修复。

报道称,尽管研究人员近年来发现了大量自愈材料,但这是第一种将这种特性与橡胶或热塑性塑料的坚固性结合起来的材料。它或许可用于制作耐用玻璃器皿和防碎挡风玻璃之类的物品。

东京大学研究生柳泽右无意中解决了一个困扰其同行长达数十年的问题,当时他准备用一种名为 TUEG3 的聚合物制作一种粘合剂。他发现只需 2 mm 厚、Sim 卡大小的这种材料就可以轻松支撑 300 g 的负荷。当它表面破裂时,所要做的就是环境温度在 21℃ 的条件下将它压紧半分钟,它就会变得像新的一样。

柳泽右及其同事在美国《科学》杂志上发表文章解释说,

坚硬的聚合物往往只有在高温情况下才可修复,而容易愈合的聚合物往往又易碎,因为随着缺口的闭合,它们往往会形成晶体。他们写道,到目前为止,在设计类似于橡胶的软材料和基于氢键的热塑性弹性体时都力求在温和挤压条件下愈合。然而,大量氢键的出现往往导致聚合物材料结晶化,从而使它们变得易碎。换句话说,高度机械坚固性和愈合能力往往是相互排斥的。

报道称,TUEG3 来自一个名为聚醚硫脲的分子家族,TUEG3 的优势在于它的结构——尤其是氢键阵列相当混乱的排列——使它得以相对轻松地恢复旧的形状,而且不会结晶化。

柳泽右说,他被自己的发现震惊到了。他对日本广播协会说,当他发现它时还是半信半疑,所以多次重复了实验。他希望这种可修复的玻璃能成为一种新的环保材料。如果它被打碎,不需要将其扔掉。

报道称,是否可利用这一发现来制作触摸屏还有待以后观察。
(参考消息网)