

3D打印技术在塑料模具随形冷却水路制造中的应用

董建坤¹ 邵佩佩²

1. 宁波市海曙驭远模具厂 浙江 宁波 315000

2. 浙江沁园水处理科技有限公司 浙江 宁波 315000

摘要: 本文探讨了3D打印技术在塑料模具随形冷却水路制造中的应用。介绍了3D打印技术概述及其在模具制造中的优势,包括制造效率提升与复杂结构模具制造的实现。阐述随形冷却水路设计原理与准则,以及3D打印技术在随形冷却水路制造中的工艺选择、设计与制造流程。最后评估了其应用效果,表明3D打印随形冷却水路能提高冷却效率、缩短生产周期、提升产品质量与生产效率,具有显著优势。

关键词: 3D打印技术; 塑料模具; 随形冷却水路; 应用效果

1 3D打印技术概述

3D打印技术,也被称为增材制造技术,是一种以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可粘合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术。与传统减材制造(如切削、钻孔等)和等材制造(如铸造、锻造等)不同,3D打印无需模具或复杂的加工工序,直接将三维设计模型转化为实体产品。3D打印技术起源于20世纪80年代,经过几十年的发展,已经从最初的概念验证阶段逐步走向实际应用。其核心技术包括计算机辅助设计(CAD)、材料科学、精密机械控制以及软件算法等。随着这些技术的不断进步,3D打印的材料种类日益丰富,从最初的塑料、树脂扩展到金属、陶瓷、生物材料等;打印精度和速度也不断提高,能够满足不同领域对产品质量和效率的要求。在制造业领域,3D打印技术正引发一场深刻的变革^[1]。它打破了传统制造工艺对复杂结构的限制,使得设计师能够更加自由地发挥创意,实现产品的个性化定制。3D打印还具有快速原型制作、小批量生产等优势,能够帮助企业缩短产品研发周期,降低生产成本,提高市场竞争力。在模具制造行业,3D打印技术的应用更是为传统工艺带来了新的活力和发展机遇。

2 3D打印在模具制造中的应用优势

2.1 制造效率的显著提升

在传统模具制造过程中,从设计到最终产品交付往往需要经过多个环节,包括模具设计、加工、装配、调试等,每个环节都需要耗费大量的时间和人力。而且,传统加工方法对于复杂结构的模具制造难度较大,常常需要多次装夹、多次加工,进一步延长了生产周期。3D打印技术的出现改变了这一局面,通过3D打印,模具可以直接从数字模型快速制造出来,无需复杂的加工工序

和模具制造流程。设计师只需在计算机上完成模具的三维设计,然后将设计文件导入3D打印机,即可开始打印。整个过程高度自动化,大大减少人工干预,从而显著提高了制造效率。3D打印技术还支持快速原型制作,在模具设计阶段,设计师可以通过3D打印快速制作出模具原型,进行功能测试和验证。如果发现问题,可以及时对设计进行修改,然后再次打印原型,直到达到满意的效果。这种快速迭代的设计验证过程能够避免在正式生产过程中出现重大设计缺陷,减少因设计问题导致的生产延误和成本浪费。

2.2 复杂结构模具制造的实现

传统模具制造工艺在处理复杂结构模具时面临诸多挑战。例如,对于具有内部复杂流道、异形结构或微小特征的模具,传统加工方法往往难以实现,或者需要采用特殊的加工工艺和设备,导致成本大幅增加。3D打印技术则不受传统加工工艺的限制,能够轻松制造出具有复杂结构的模具。它通过逐层堆积材料的方式构建物体,可以在模具内部创建复杂的随形冷却水路、异形腔体等结构。这些复杂结构不仅能够提高模具的性能,还能满足一些特殊产品的生产需求。以随形冷却水路为例,在传统模具制造中,冷却水路通常采用直线或简单的曲线形状,难以与模具型腔的形状完全贴合,导致冷却不均匀,影响产品质量和效率。而采用3D打印技术,可以根据模具型腔的形状设计出与之完全贴合的随形冷却水路,使冷却水能够更均匀地流经模具各个部位,快速带走热量,从而缩短成型周期,提高产品质量^[2]。3D打印还可以制造出具有微小特征的模具,如微孔、微槽等,满足一些对精度要求极高的产品生产需求。

3 随形冷却水路设计原理与准则

3.1 随形冷却水路的概念与重要性

随形冷却水路是指根据模具型腔的形状和产品的冷却需求,设计出与之相匹配的冷却水路。与传统冷却水路相比,随形冷却水路能够更紧密地贴合模具型腔,使冷却水在模具内部流动时更加均匀地覆盖产品表面,从而实现对产品的高效、均匀冷却。在注塑成型等塑料加工过程中,模具的冷却效果对产品质量和生产效率有着至关重要的影响。如果模具冷却不均匀,会导致产品出现翘曲、变形、收缩不均等缺陷,影响产品的尺寸精度和外观质量。冷却时间过长会延长成型周期,降低生产效率;而冷却时间过短则可能导致产品内部应力过大,影响产品的性能和使用寿命。随形冷却水路的出现有效地解决了这些问题,通过优化冷却水路的设计,使冷却水能够快速、均匀地带走模具和产品的热量,能够显著缩短成型周期,提高生产效率。同时均匀的冷却可以减少产品的内应力,降低产品缺陷率,提高产品质量。研究表明,采用随形冷却水路的模具相比传统冷却水路模具,成型周期可缩短30%-50%,产品合格率可提高10%-20%。

3.2 随形冷却水路设计准则

为了确保随形冷却水路能够发挥最佳效果,在设计过程中需要遵循一定的准则。(1)冷却均匀性准则:冷却水路应尽可能均匀地分布在模具型腔周围,使冷却水能够均匀地流经模具各个部位,确保产品各部分冷却速度一致,减少产品翘曲和变形。在设计时,可以通过合理布局水路走向、调整水路间距等方式来实现冷却均匀性。(2)冷却效率准则:冷却水路的设计应尽量缩短冷却水的流动路径,减少水流阻力,提高冷却水的流速,从而加快热量的传递速度,提高冷却效率。可以采用增加水路直径、优化水路形状等方法来降低水流阻力。(3)结构强度准则:随形冷却水路的设计不能影响模具的结构强度。在设计过程中,要确保水路与模具型腔、顶针孔等结构之间有足够的壁厚,避免因水路过近导致模具在使用过程中出现破裂、漏水等问题。(4)加工可行性准则:虽然3D打印技术为随形冷却水路的设计提供了更大的自由度,但在设计时仍需考虑3D打印工艺的特点和限制。(5)维修与维护准则:随形冷却水路应便于维修和维护。在设计时,可以考虑设置一些便于检查和清理水路的接口或通道,以便在出现堵塞等问题时能够及时进行处理。

4 3D 打印技术在随形冷却水路制造中的实现

4.1 3D打印随形冷却水路的工艺选择

目前,用于制造随形冷却水路的3D打印工艺主要有选择性激光熔化(SLM)、电子束熔化(EBM)、粘结剂喷射(BJ)等。第一、选择性激光熔化(SLM):

该工艺利用高能量密度的激光束,按照预设的路径逐层扫描金属粉末,使其熔化并凝固,从而构建出实体零件。SLM工艺具有打印精度高、材料利用率高、能够制造复杂结构零件等优点,适用于制造对强度和精度要求较高的随形冷却水路模具。然而,SLM工艺也存在设备成本高、打印速度相对较慢等缺点。第二、电子束熔化(EBM):EBM工艺使用电子束作为热源,在真空环境下对金属粉末进行熔化和凝固。与SLM工艺相比,EBM工艺具有更高的能量密度和更快的扫描速度,能够提高打印效率。EBM工艺在打印过程中产生的残余应力较小,有利于保证零件的尺寸精度和性能。但EBM工艺的设备成本同样较高,且对材料的要求较为严格^[3]。第三、粘结剂喷射(BJ):BJ工艺通过喷头将粘结剂选择性地喷射到金属粉末床上,使粉末颗粒粘结在一起,形成零件的坯体,然后再经过烧结等后处理工艺提高零件的强度和密度。BJ工艺具有打印速度快、成本低、能够制造大型零件等优点,适用于一些对强度要求不是特别高、但需要快速制造的随形冷却水路模具。不过,BJ工艺制造的零件精度相对较低,表面粗糙度较大,需要经过较多的后处理工序。在选择3D打印工艺时,需要综合考虑模具的使用要求、成本预算、生产周期等因素,选择最适合的工艺来制造随形冷却水路。

4.2 随形冷却水路的设计与制造流程

随形冷却水路的设计与制造流程主要包括以下几个步骤:步骤一,需求分析与设计规划。首先,需要对产品的冷却需求进行详细分析,包括产品的形状、尺寸、材料、成型工艺等。根据分析结果,确定随形冷却水路的设计目标,如冷却效率、冷却均匀性等。然后,结合3D打印工艺的特点和限制,制定合理的设计规划;步骤二,三维建模。使用计算机辅助设计(CAD)软件,根据产品的形状和冷却需求,设计出随形冷却水路的三维模型。在设计过程中,要充分考虑冷却水路的设计准则,确保冷却水路的结构合理、性能优良。同时,还需要对模具的整体结构进行设计,包括型腔、顶针孔、定位孔等;步骤三,模型优化与仿真分析。对设计好的三维模型进行优化,去除不必要的细节和特征,提高模型的打印可行性。然后,利用计算机仿真软件对随形冷却水路的冷却效果进行仿真分析,评估冷却均匀性、冷却效率等指标是否满足设计要求。如果仿真结果不理想,需要对模型进行调整和优化,直到达到满意的效果;步骤四,3D打印制造。将优化后的三维模型导入3D打印机,选择合适的打印工艺和材料,开始进行打印。在打印过程中,要严格控制打印参数,如激光功率、扫描速

度、层厚等,确保打印质量。打印完成后,对打印件进行清理,去除多余的粉末或支撑结构;步骤五,后处理。根据3D打印工艺和材料的要求,对打印件进行后处理。对于随形冷却水路,还需要进行密封性检测,确保水路无泄漏;步骤六,装配与调试。将制造好的随形冷却水路模具与其他模具部件进行装配,然后进行调试。在调试过程中,检查模具的冷却效果、成型质量等指标,如有需要,对冷却水路或其他部件进行进一步调整和优化。

5 3D 打印随形冷却水路的应用效果评估

5.1 冷却效率与温度均匀性评估

冷却效率是衡量随形冷却水路性能的重要指标之一。可以通过测量模具在不同冷却条件下的冷却时间来评估冷却效率。一般来说,采用3D打印随形冷却水路的模具相比传统冷却水路模具,冷却时间会明显缩短。例如,在一些注塑模具的应用中,冷却时间可缩短30%-50%,大大提高了生产效率。温度均匀性评估可以通过在模具表面和产品内部布置温度传感器,测量不同位置的温度变化情况。通过分析温度数据,可以了解模具和产品在冷却过程中的温度分布是否均匀。采用随形冷却水路的模具能够使模具和产品的温度分布更加均匀,减少温度梯度,从而降低产品因冷却不均匀而产生的翘曲、变形等缺陷。研究表明,采用随形冷却水路的模具可以使产品表面的温度差异控制在较小范围内,有效提高产品的尺寸精度和外观质量。

5.2 生产周期与成本效益分析

生产周期的缩短是3D打印随形冷却水路带来的显著优势之一。由于冷却效率的提高,成型周期缩短,使得整个生产流程加快,产品的交付时间提前。这不仅满足市场对快速交付的需求,还提高企业的生产能力和市场竞争力。从成本效益角度来看,虽然3D打印设备和材料的成本相对较高,但在一些情况下,采用3D打印随形冷却水路模具仍然具有较好的经济效益^[4]。一方面,缩短的生产周期可以减少设备的闲置时间,提高设备利用率,从而降低单位产品的生产成本。另一方面,由于产品质

量的提高,减少废品率和返工率,进一步降低生产成本。3D打印技术还支持小批量生产,对于一些个性化定制产品或新产品研发阶段的试生产,无需投入大量资金制作传统模具,降低企业的研发成本和市场风险。

5.3 产品质量与生产效率提升

3D打印随形冷却水路对产品质量和生产效率的提升具有显著影响。在产品质量方面,均匀的冷却减少产品的内应力,降低产品翘曲、变形、收缩不均等缺陷的发生率,提高产品的尺寸精度和外观质量。例如,在一些对精度要求较高的电子元器件外壳、医疗器械等产品生产中,采用随形冷却水路模具能够使产品的合格率大幅提高。在生产效率方面,除了冷却时间缩短带来的成型周期加快外,3D打印随形冷却水路模具的设计和制造周期也相对较短。企业可以更快地推出新产品,满足市场多样化的需求。同时由于模具性能的提高,减少生产过程中的故障和停机时间,进一步提高生产效率。

结束语

3D打印技术在塑料模具随形冷却水路制造中的应用,为模具制造行业带来了新的变革。通过提升制造效率、实现复杂结构模具制造、优化冷却效果,该技术显著提高产品质量与生产效率,缩短生产周期,降低成本。随着技术的不断进步,3D打印在模具制造领域的应用前景将更加广阔,有望推动制造业向更高效、更个性化的方向发展。

参考文献

- [1]崔小龙,王敏杰,魏兆成,等.3D打印随形冷却模具零件的温度场和应力场数值模拟[J].模具制造,2022,22(07):58-65.
- [2]吴坤生.基于3D打印的随形冷却水路注塑模具设计[J].现代职业教育,2021,(39):234-236.
- [3]高志华,孙育竹.基于3D打印的注塑模具随形冷却水道设计研究[J].新技术新工艺,2020,(09):37-39.
- [4]李佳忆,李君涛.3D打印在医疗器械领域应用前景分析[J].新材料产业,2022(02):51-55.