

FDM 3D打印用高分子材料改性技术的现状与发展研究

魏 胜

广东三绿科技有限公司 广东 中山 528400

摘 要: 本文探讨FDM 3D打印用高分子材料改性技术的现状与发展。首先阐述FDM 3D打印技术及高分子材料的基础概念,分析该技术在各领域应用中对材料性能的需求。详细介绍当前高分子材料改性技术,包括增强改性、增韧改性、功能化改性等方面的现状,同时探讨面临的挑战,如材料性能与打印工艺的匹配、成本控制等问题。基于现状,对未来发展趋势进行展望,涵盖新型改性方法研发、多性能协同改性、与智能打印技术融合等方向,旨在为FDM 3D打印用高分子材料改性技术的进一步发展提供全面的理论与实践参考。

关键词: FDM 3D打印; 高分子材料; 改性技术; 现状; 发展

引言: 3D打印技术,作为近年来快速发展的先进制造技术,正逐步改变传统的生产模式。其中,熔融沉积成型(Fused Deposition Modeling, FDM)是应用最为广泛的3D打印技术之一。FDM 3D打印技术将丝状材料加热至熔融状态,然后利用喷头挤出并逐层堆积,最终形成三维实体模型。该技术具有设备成本低、操作简单、材料选择范围广等优点,广泛应用于航空航天、汽车制造、医疗、建筑等众多领域。高分子材料是FDM 3D打印中最常用的材料类型,因其具有良好的可塑性、加工性和多样的性能特点,能满足不同应用场景的需求。然而,原始的高分子材料在某些性能方面往往难以完全满足FDM 3D打印的要求,例如打印制品的强度、韧性、耐热性等。因此,对高分子材料进行改性,以提升其性能,成为拓展FDM 3D打印应用范围和提高打印质量的关键。

1 FDM 3D 打印技术与高分子材料概述

1.1 FDM 3D打印技术原理与特点

FDM 3D打印技术基于逐层堆积原理。先由CAD软件创建三维模型并切片,转化为打印机指令文件。打印时,丝状高分子材料经送丝机构至喷头,加热熔融后,喷头按预设路径移动挤出材料,逐层堆积在平台,冷却固化形成实体。其特点为:设备成本低,较其他3D打印技术,更易被企业和个人接受;操作简单,普通用户经简单培训即可上手;材料选择范围广,能使用如ABS、PLA等多种高分子材料;可制造复杂形状,突破传统制造工艺限制,满足多样需求^[1]。

1.2 FDM 3D打印常用高分子材料

FDM 3D打印常用高分子材料各具特点与应用领域。丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS),综合性能良好,强度与韧性兼备,耐冲击、耐化学腐蚀且电绝缘性佳,流动性好利于挤出成型,常用于汽车、电子电器、玩具

制造,如汽车内饰、电器外壳等。聚乳酸(PLA),生物可降解,生物相容性好,加工性与热稳定性不错,打印温度低、收缩率小,广泛用于医疗、包装及日常用品领域,像可降解医疗器械、环保包装材料。聚碳酸酯(PC),机械性能优异,高强度、高韧性、高耐热,透明性与电绝缘性良好,能打印高强度耐热制品,应用于航空航天、电子电器、光学仪器等领域,如飞机零部件、高性能电器外壳^[2]。

2 FDM 3D 打印用高分子材料性能需求

2.1 力学性能

在许多应用场景中,如航空航天、汽车制造等领域,对FDM 3D打印制品的强度要求较高。例如,航空航天领域的零部件需要承受较大的载荷,因此要求打印材料具有较高的拉伸强度、弯曲强度等,以确保零部件在使用过程中的安全性和可靠性。同时,仅具有高强度而缺乏韧性的材料,在受到冲击时容易发生脆性断裂^[3]。因此,为提高打印制品的抗冲击能力,材料需具有良好的韧性。在汽车制造中,一些零部件如保险杠等,在受到碰撞时吸收能量,避免破裂,要求打印材料具有较高的韧性。

2.2 热性能

对于一些在高温环境下使用的3D打印制品,如发动机零部件、电子电器散热部件等,需要材料具有良好的耐热性。材料的耐热性通常用玻璃化转变温度(T_g)、熔点(T_m)等指标来衡量。提高材料的耐热性,保证制品在高温环境下的尺寸稳定性和性能稳定性。在FDM 3D打印过程中,材料需经历加热熔融和冷却固化的过程。因此,材料应具有良好的热稳定性,即在高温下不发生分解、降解等化学反应,以保证打印过程的顺利进行和打印制品的质量。

2.3 加工性能

材料的流动性直接影响其在FDM 3D打印过程中的挤出性能。良好的流动性使材料在喷头内顺利挤出,形成均匀的细丝,并在打印平台上均匀堆积。如果材料流动性差,导致喷头堵塞、挤出不均匀等问题,影响打印质量。在打印过程中,相邻层之间的粘结性对于制品的整体性能至关重要。如果层间粘结不良,制品容易出现分层现象,降低其强度和稳定性。因此,需要材料具有良好的粘结性,确保层与层之间牢固结合。

2.4 功能性

在医疗领域,用于制造医疗器械、组织工程支架等的3D打印材料需要具有良好的生物相容性,即材料与生物体组织、细胞等接触时,不会引起免疫反应、细胞毒性等不良反应,以保证其在生物体内的安全性和有效性。此外,在电子电器领域,有时需要3D打印材料具有一定的导电性,如制造电子电路、电极等。对高分子材料进行改性,赋予其导电性,能够拓展FDM 3D打印在电子领域的应用范围。

3 FDM 3D 打印用高分子材料改性技术现状

3.1 增强改性

3.1.1 纤维增强改性

纤维增强改性是将高强度、高模量的纤维添加到高分子材料中,促进纤维与基体之间的界面结合,使纤维承担部分载荷,从而提高材料的强度、模量等力学性能。常用的纤维有碳纤维、玻璃纤维、芳纶纤维等。目前,纤维增强改性在FDM 3D打印用高分子材料中应用较为广泛。研究表明,在ABS、PLA等材料中添加适量的碳纤维,能显著提高材料的拉伸强度、弯曲强度和模量。在PLA中添加5%-10%的碳纤维,其拉伸强度可提高30%-50%。然而,纤维的添加也导致材料流动性下降,影响打印性能。因此,需对纤维进行表面处理,改善其与基体的相容性,同时优化打印工艺,以平衡材料性能与打印性能。

3.1.2 颗粒增强改性

颗粒增强改性是将无机颗粒或有机颗粒添加到高分子材料中,结合颗粒的弥散强化作用,提高材料的强度、硬度、耐磨性等性能。常用的颗粒有碳酸钙、滑石粉、二氧化硅等。颗粒增强改性在提高材料某些性能方面取得一定的成果。在PC材料中添加碳酸钙颗粒,可提高材料的硬度和耐磨性^[4]。但颗粒的添加量过多会导致材料韧性下降,同时也会影响材料的流动性。因此,需精确控制颗粒的添加量和粒径大小,以达到最佳的改性效果。

3.2 增韧改性

3.2.1 弹性体增韧

弹性体增韧是在高分子材料中加入具有高弹性的弹性体,如橡胶等。当材料受到冲击时,弹性体颗粒能够引发银纹和剪切带,吸收能量,从而提高材料的韧性,是一种较为成熟的增韧方法。在ABS材料中加入丁腈橡胶(NBR),可显著提高其韧性。然而,弹性体的加入可能会降低材料的强度和耐热性^[5]。因此,需选择合适的弹性体种类和添加量,并通过合理的共混工艺,实现材料韧性与其他性能的平衡。

3.2.2 纳米粒子增韧

纳米粒子具有小尺寸效应、表面效应等特点,在高分子材料中添加纳米粒子,能够在材料内部形成大量的应力集中点,引发银纹和剪切带,从而提高材料的韧性。常用的纳米粒子有纳米二氧化硅、纳米碳酸钙、碳纳米管等。纳米粒子增韧技术在FDM 3D打印用高分子材料中展现出良好的应用前景。研究发现,在PLA中添加少量的碳纳米管,可在不显著降低材料强度的前提下,有效提高其韧性。但纳米粒子的分散问题是制约其应用的关键因素,需采用合适的分散方法,如超声分散、表面改性等,确保纳米粒子在基体中均匀分散,充分发挥其增韧作用。

3.3 功能化改性

3.3.1 生物相容性改性

对高分子材料进行化学修饰或添加生物活性物质,改善材料与生物体的相互作用,提高其生物相容性。在PLA材料表面接枝亲水性基团,或添加胶原蛋白、羟基磷灰石等生物活性物质,可增强材料与细胞的粘附性和生物相容性。生物相容性改性在医疗领域的FDM 3D打印材料中受到广泛关注。许多研究致力于开发具有良好生物相容性的3D打印材料,用于制造医疗器械和组织工程支架。目前,已取得了一些阶段性成果,但在材料的长期生物安全性和稳定性方面仍需进一步研究。

3.3.2 导电性改性

在高分子材料中添加导电填料,如金属粉末、碳纳米管、石墨烯等,使材料具有导电性能。导电填料在基体中形成导电网络,从而实现电子的传导。导电性改性为FDM 3D打印在电子领域的应用开辟了新途径,添加适量的碳纳米管或石墨烯,可使高分子材料的电导率显著提高。然而,导电填料的添加量对材料的力学性能和加工性能有较大影响,需在导电性与其他性能之间进行权衡。

3.4 改性技术面临的挑战

3.4.1 材料性能与打印工艺的匹配

不同的改性方法会对材料的性能产生不同的影响,

而这些性能变化与FDM 3D打印工艺的要求不匹配。纤维增强改性虽提高材料的强度,但降低流动性,导致打印过程中喷头堵塞。因此,如何在提高材料性能的同时,确保其与打印工艺的兼容性,是当前面临的一个重要挑战。

3.4.2 成本控制

一些改性剂,如碳纤维、碳纳米管、石墨烯等,价格相对较高,使得改性后的高分子材料成本大幅增加。在大规模应用中,成本问题成为制约改性材料推广的关键因素。因此,开发低成本的改性剂或优化改性工艺,降低改性材料的成本,是亟待解决的问题。

4 FDM 3D 打印用高分子材料改性技术发展趋势

4.1 新型改性方法研发

原位聚合改性是在高分子材料的合成过程中,将改性剂原位生成并均匀分散在基体中,实现改性剂与基体的紧密结合,避免传统添加方式中改性剂分散不均匀的问题。在制备纤维增强高分子材料时,运用原位聚合的方法,使纤维表面形成一层与基体相容性良好的聚合物层,从而提高纤维与基体的界面结合力,进一步提升材料的性能。此外,随着材料科学的发展,分子设计改性逐渐成为一种重要的改性方法。通过对高分子材料的分子结构进行设计和调控,可赋予材料特定的性能。设计具有特殊链段结构的高分子,使其在打印过程中能够形成有序的微观结构,从而提高材料的力学性能和热性能。

4.2 多性能协同改性

在实际应用中,需要材料同时具备良好的力学性能和热性能。未来的研究将致力于开发能够同时提高材料强度、韧性和耐热性的改性方法。合理选择纤维和纳米粒子的组合,并优化其添加比例和分散方式,实现材料力学性能与热性能的协同提升。除力学和热性能外,材料的功能性和加工性能也至关重要。在开发具有生物相容性或导电性等功能的改性材料时,需兼顾其加工性能,确保材料在FDM 3D打印过程中能够顺利成型。在制备导电

高分子材料时,优化导电填料的表面性质和添加量,在保证导电性的同时,提高材料的流动性和粘结性。

结论

FDM 3D打印用高分子材料改性技术在提升材料性能、拓展应用领域方面发挥着重要作用。当前,在增强改性、增韧改性、功能化改性等方面已取得了一定的成果,但仍面临材料性能与打印工艺匹配、成本控制、性能稳定性等挑战。未来,随着新型改性方法的研发、多性能协同改性的推进、与智能打印技术的融合以及可持续发展导向的改性需求增加,FDM 3D打印用高分子材料改性技术将朝着更加高效、多功能、智能化和可持续发展的方向发展。通过不断地研究和创新,有望进一步提升FDM 3D打印技术的应用水平,为各行各业的发展提供更有力的支持。同时,还需加强跨学科的合作,整合材料科学、机械工程、电子技术等多学科的知识和技术,共同推动FDM 3D打印用高分子材料改性技术的发展。

参考文献

- [1]陶永亮,杨建京.高分子材料3D打印应用与案例[J].橡塑技术与装备,2024,50(2):35-41.
- [2]韩小龙.3D打印在高性能复合材料与可拉伸柔性电子中的应用[D].山东:青岛科技大学,2021.
- [3]杨斌.3D打印用自修复TPU材料的制备及性能研究[D].北京:北京化工大学,2022.
- [4]MA WEI-CHUN, CHIOU JIUN-RUNG, HUANG CHUN. Methane/Nitrogen Mixture Plasma Assisted Surface Modification of Polymeric Materials[J]. High Energy Chemistry,2023,57(4):373-378.
- [5]AUGUSTYN, PIOTR, RYTLEWSKI, PIOTR, MORACZEWSKI, KRZYSZTOF, et al. A review on the direct electroplating of polymeric materials[J]. Journal of Materials Science,2021,56(27):14881-14899.