

[基于学科交叉的设计创新]

基于增材制造的陶瓷器型创新设计研究综述

贾艳红^{1,2}

1. 清华大学 美术学院, 北京 100084; 2. 清华大学 未来实验室, 北京 100084

摘要: 通过梳理陶瓷领域的增材制造技术,并结合传统陶瓷的工艺过程及特点,探索增材制造技术对陶瓷器型创新的推进作用,并对未来发展趋势进行展望。基于陶瓷传统工艺过程,提炼传统器型的造型特点,就其存在的限制与问题进行分析;梳理目前陶瓷增材制造的技术发展脉络,探索不同增材制造技术的工艺特点及对陶瓷造型的影响,并结合陶瓷增材制造实例进行设计剖析,从创作方式和设计语言两方面阐述增材制造对于陶瓷器型的创新推进作用;最后对陶瓷增材制造技术进行未来展望。增材制造技术与陶瓷的结合,有力地推进了陶瓷器型的创新设计,使其突破了传统的设计限制,新的技术带来新的设计语言与创作形式,虽然目前仍处于发展阶段,但极具潜力。

关键词: 增材制造;陶瓷器型;陶瓷3D打印;创新设计

中图分类号: TP202;J527

文献标识码: A

文章编号: 2096-6946(2021)03-0013-07

DOI: 10.19798/j.cnki.2096-6946.2021.03.003

A Research Review on Innovative Design for Additive Manufacturing-Based Ceramics

JIA Yanhong^{1,2}

1. Academy of Arts & Design, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. The Future Laboratory, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: By summarizing the additive manufacturing (AM) technology in the ceramics field, combined with traditional ceramics process and features, this paper explores the role of AM in promoting the innovation of ceramics, and looks forward the future development trends in the field. Based on the traditional ceramic process, the modeling features of traditional ceramic ware are summarized, and corresponding limitations and problems are analyzed. The development of ceramic AM is reviewed, and the technological characteristics of various types of AM technology and their impacts on ceramic modeling are examined. In addition, through a case analysis of ceramic AM design, the paper interprets how AM promotes the innovation of ceramics from methods of creation and designing languages. Lastly, the paper discusses the prospect of ceramic AM technology. The combination of AM technology and ceramics has significantly facilitated the innovative design of ceramics, which breaks the limitations of traditional design. New technology gives birth to new designing languages and forms of creation. Despite still in the infancy, ceramic AM presents great potential in its future development.

Key words: additive manufacturing; ceramic ware; ceramic 3D printing; innovative design

增材制造是指数控成型系统根据三维模型数据将材料按照光固化(SLA)、激光烧结(SLS)、熔融(FDM)

等逐层堆积的方式,最终制造实体的过程,通俗来讲,这就是人们常提到的3D打印技术。随着该技术的迅

收稿日期:2021-03-03

作者简介:贾艳红(1992—),女,河北人,清华大学美术学院博士生,主要研究方向为面向增材制造的几何设计,陶瓷增材制造创新设计。

猛发展,它的工艺蓝图中所能覆盖的材料类别也越来越丰富,从PLA、ABS这样的聚合物材料拓展到金属材料,甚至到有机高分子及陶瓷材料等。技术的迅猛发展对设计领域产生了巨大的影响,它突破了传统工艺的限制,使受工艺约束的设计转变为基于性能的设计,甚至衍生出专门面向增材制造的设计。本文聚焦于陶瓷增材制造技术,从设计的角度切入,探讨该技术对陶瓷器型设计的影响。

一、陶瓷成型工艺与特点

(一) 成型工艺

传统陶瓷制作需要经历泥料炼制、坯体成型、装饰、高温烧制等过程,其中陶瓷坯体的成型作为一道重要工序,主要采用注浆、拉坯、盘泥条以及手工捏塑等方法。这些方法适用于简单规整的陶瓷坯体制备,而复杂造型的陶瓷,则需要创作者具备精湛的手艺。在坯体干燥之后,还会经历一个修坯的过程。

现代陶瓷,尤其是日用陶瓷领域,在成型技术上多采用工业化方式,例如可塑成型、注浆成型和压制成型,除此之外近几年静压成型、高压注浆、微波注浆等都取得了一定的研究成果^[1]。具体工艺选择上,会根据造型的不同和坯料性能来综合选择,为了更好地配合工艺,也会对坯料进行改良,使其达到国家标准并能高效地进行批量化生产。

近十年随着增材制造在陶瓷领域的发展,出现了数字化陶瓷坯体成型方式,将陶瓷坯料按照增材工艺的要求进行重新配比,改良成泥浆或粉末,然后将其逐层堆积,最终形成实体。在这一过程中,可以通过调整三维模型、打印参数及切片参数来得到不同陶瓷坯体的打印效果^[2]。

(二) 成型工艺的器型特点

传统陶瓷器类覆盖酒器、茶器、文房用品、玩具和餐具等各种生活日用品类别,主要的器型包括壶、罐、钵、盘、碟、碗、盒、尊、砚和洗等几十种。传统器型造型稳重圆润,表面光滑,覆盖社会生活方方面面,兼具实用性与美观性,具有以下几个特点^[3]。

1) 主体大多中心对称,重心稳定,胎质致密且均匀。关键部分呈轴对称造型,例如把手、壶嘴、托等部件。

2) 能够抽象出典型的轮廓线,表面多为光滑曲面,经轮廓线旋转或扫描生成。

3) 多为规则几何造型,无锐利转角、断面、大悬空

结构。

(三) 存在的限制和问题

受传统坯体成型工艺的限制,一些非常规造型实现难度较大,例如非中心对称的器型难以通过手工拉坯的方式制作,表面肌理复杂的器型对手工要求极高,过于尖锐的曲面转折角在烧制过程中容易开裂等。这些问题限制了陶瓷器型的大胆创新,在近十年,一些陶瓷创作者尝试通过增材制造的方法来解决这些问题。

二、陶瓷增材制造技术发展

陶瓷增材制造成型工艺与传统的泥条盘筑有异曲同工之妙。作为一种最传统及原始的“快速成型技术”,在盘泥条的过程中需要处理的是人和泥料之间的关系^[4]。而在现代的陶瓷增材制造成型工艺中,人的角色被机器替代,通过对三维模型进行切片,转换成机器所能识别的G代码文件,然后喷头按照预设的运动速度、位置及路径等参数,逐层进行打印,从而实现快速成型的过程。其中根据打印的原材料和打印方式的不同,目前陶瓷的增材制造技术分为浆料、粉末、陶瓷先驱体这三大类^[5]。

(一) 技术综述

1. 基于陶瓷浆料的增材制造技术

陶瓷浆料沉积直写技术(DIW)^[6]:在基板上精准沉积陶瓷浆料,经过逐层反复堆叠,最终将虚拟的三维文件转换成实体。由于采取直接沉积成型的方式,所以浆料的制备和挤出装置的设计尤为重要^[7],也是近几年陶瓷增材制造领域科研人员研究的热点内容。

含有光敏树脂的陶瓷浆料光固化技术(SLA):通常采用光聚合的方式对浆料中的光敏树脂进行紫外光源照射固化。紫外光源根据特定的扫描路径,选择性地逐层扫描,最终形成光固化的实体原型。作为增材制造领域最先出现的光固化打印技术,将其应用在陶瓷打印领域中,陶瓷浆料的制备是关键应用难点,要求陶瓷颗粒在光敏树脂中的分布均匀,颗粒大小适中,且固相含量适中,只有这样才能在光固化成型且脱胶烧制时,避免变形和开裂的问题。因此在浆料制备中分散剂、光固化参数、陶瓷颗粒表面活性是研究的热点内容。

2. 基于陶瓷粉末的增材制造技术

激光选区烧结(SLS):在陶瓷粉体中添加粘结剂,粘结剂在激光扫描的过程中发生熔融,将周围的陶瓷粉体固化粘结,最终实现成型。

三维打印成型(3DP):该技术和激光烧结不同的是,粘结剂并不是直接添加在陶瓷粉体中,而是由打印喷头在特定区域逐层向粉床喷涂粘结剂。

由于粉末本身可以作为支撑材料,能极大地减少重力对打印效果的影响,所以造型上具有更高的自由度,但打印尺寸和打印效果易受到工艺限制。这是由于经粉末固化的陶瓷素坯的成形效果极易受到工艺参数的影响,例如激光选区烧结成型技术中,成型的质量直接与激光能量相关,而且还受扫描速度、扫描间距和激光照射距离等诸多因素的共同影响。通常为了筛选出最佳的工艺参数,会采用多因素正交实验法综合考量^[8]。

3. 基于陶瓷粉末的增材制造技术

陶瓷先驱体:含聚碳硅烷(PCS)、聚硅氮烷(PSZ)、聚硼氮烷(PBN)和聚硅氧烷(PSO)等有机材料,应用于高性能结构与功能陶瓷。

所谓陶瓷先驱体是指通过化学方法制得有机聚合物,该聚合物相较于传统陶瓷材料具有更好的可加工性,然后可经过热处理转化为无机陶瓷材料^[9],这种陶瓷先驱体是陶瓷制备的革命性创新,甚至为陶瓷4D打印技术奠定了基础^[10]。

(二) 不同打印技术特点

1. 基于浆料和粉末打印特点

基于浆料和粉末打印的特点在于结合三维建模技术,造型的自由度更高,设计表现更加丰富。不仅能够快速打印复现传统器型,并且能通过参数化设计的方式在表面生成各种纹理,对于非中心对称且表面复杂的造型,也能打印成功。

由于打印会存在机器痕迹残留,很多艺术家会在创作时巧妙利用这些机器痕迹的残留,创作出独一无二的作品,这在下一部分实例分析中会详细介绍。

相较于传统陶瓷成型,底部及壁厚可以选择非实心填充的方式,又可以根据不同填充率和填充路径产生多种填充效果。这会减少原材料的消耗,同时可以结合后期的烧制,设计梯度型打印结构,实现更复杂的打印效果。

2. 基于陶瓷先驱体的打印特点

由于其专业性较强,基于陶瓷先驱体的打印技术在陶瓷创作及器型方面的应用较少,多用于先进陶瓷制备领域,但未来技术更加成熟的情况下,势必会对陶瓷的造型有重大推进作用。

三、基于增材制造的陶瓷设计实例分析

(一) 设计案例时间轴

将增材制造技术应用在传统陶瓷领域的最直接影响,就是解放了传统陶瓷器型的限制,获得了形态上更高的自由度,这种增材制造的方式,使传统陶艺突破了工艺和材料上的一些特定限制,为创作者提供了更大的创作空间。

比利时 Unfold 设计工作室 2009 年涉猎陶土增材制造领域,并且在开源的桌面级 FDM 打印机的基础上进行改造,设计出了第一代陶泥挤出机,并且对于一些非常规的陶土器具及陶瓷雕塑形态进行了探索^[11]。英国的艺术家乔纳森·基普(Jonathan Keep)^[12]也与 Unfold 工作室一起展开创作,他们一起致力于运营和维护开源陶瓷 3D 打印机社区,帮助艺术家和设计师改造原有的 3D 打印机,加入陶泥供料系统及改造原有挤出头,制作属于自己的陶瓷 3D 打印机,并鼓励他们在社区分享有关陶瓷增材制造的作品和想法。在他们的影响下,先后涌现出了很多优秀的陶瓷打印艺术家和工作室,例如荷兰艺术家 Oliver Van Herpt^[13]和建筑与陶瓷 3D 打印跨界融合的 Emerging Objects 工作室^[14]。

由于各个工作室每年都有自己的代表作品出现,为了进一步梳理陶瓷增材制造技术对陶瓷器型设计的影响,笔者将近十年来国内外有关的陶瓷增材制造设计作品通过时间轴的方式进行了汇总,并在下一小节对其中的典型案例进行详细解析。时间轴见图 1。

(二) 重点案例分析

1. Unfold 工作室新时代文物系列

在探究通过陶泥 3D 打印机进行作品创作时,赫伯特·里德提出:真正的问题不是使机器生产的作品适应手工艺美学,而是为新的生产方法制定新的美学标准。为此 Unfold 工作室提出了“新时代文物”这个项目——由 9 个造型复杂的陶瓷 3D 打印作品组成的收藏品。借鉴于哥特式建筑的支撑结构,在打印过程中利用物体的自身重量线性堆积叠加,从而创造出更轻更强的结构,这种结构最终形成的陶瓷器型颠覆了传统的陶瓷工艺。新时代文物系列作品及其器型结构线提取见图 2。

2. 英国艺术家冰川系列

乔纳森·基普从自然界中的冰川、漂流木、植被生长等现象中汲取灵感,利用数字化工具与算法模拟出自自然界中天然存在的形态,从而得到复杂的无法通过

传统3D建模方法得到的三维模型,并且通过增材制造技术将这些抽象形态生成陶泥坯体。冰川系列作品及程序模拟生成的模型见图3。相比于传统造型,这种独一无二且不规则的自然形态,是对自然的仿生和模拟,进一步拓展了传统陶瓷的语义造型库。

3. 机器的确定性与随机性

荷兰艺术家 Olivier Van Herpt 受 Unfold 工作室的启发,也开始投身于陶泥3D增材制造的研究中,但是他对于 Unfold 工作室所设计的陶泥3D打印机并不十

分满意, Olivier Van Herpt 想打印更大尺寸的作品,并且对作品的精度有更高的要求。为此他耗时两年左右的时间研究如何改造目前的陶泥打印设备,来实现自己的设计目标。经过对设备的调研和实践摸索,他发现对于大尺寸的陶泥打印来说,相对于 Unfold 工作室 xyz 型的打印机, Delta 结构更加稳定,它采用并联臂结构,移动迅速且精度高。除了对设备的探索,在泥料和挤出系统上,他也做了创新尝试,对泥料的配比进行了重新调配,并且采用了稳定的推进挤出系统,相比于之

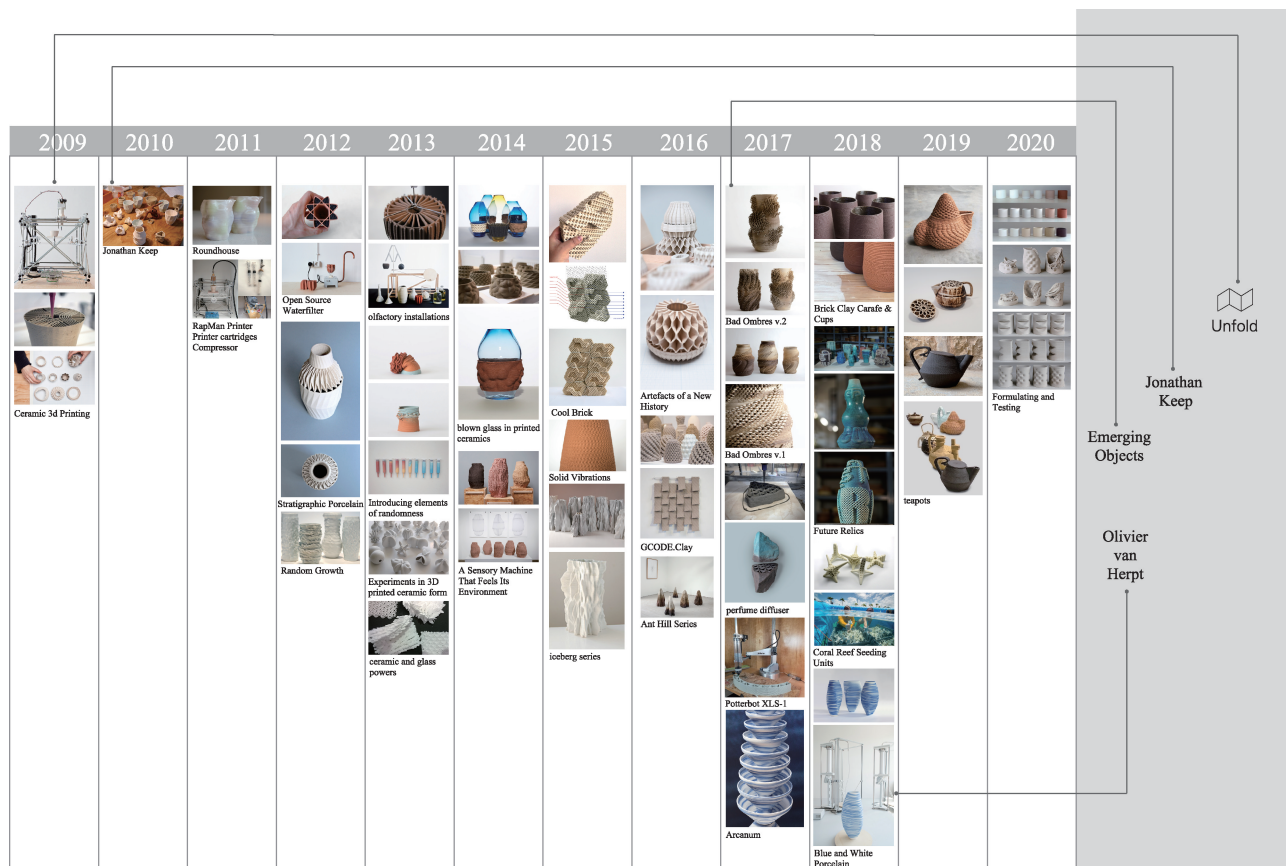


图1 陶瓷增材制造设计案例时间轴

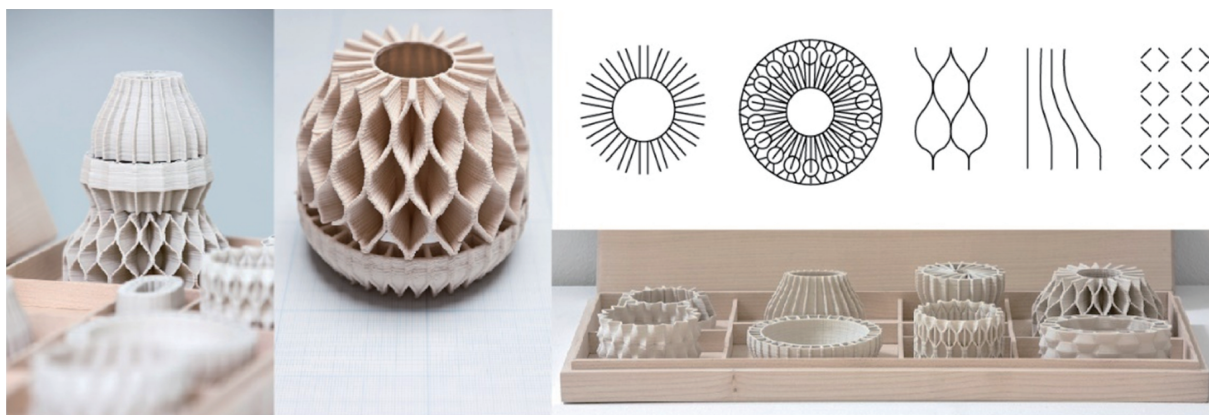


图2 新时代文物

前的空气压缩机挤出陶泥,出泥速度更加稳定可控。这些硬件上的尝试,让他的作品突破了尺寸和精度的限制。

除了对机器的改造,他更多地融入了对于打印流程本身的思考,即如果人们能够使机器生产不需要排除环境干扰,反而将温度、湿度、噪音、地理位置等环境因素作为干扰变量,直接影响生产过程,会对最终产物有什么样的影响呢?为了摸索机器的确定性与随机性,他为打印机增加了额外的传感器,能检测环境中的温度、湿度和声音等,这些外部环境的变化,会影响3D打印的形状和表面纹理,研发的机器及打印作品见图4。

4. 跨学科尝试

美国加州的Emerging Objects工作室将陶瓷打印与文化、建筑、自然结合。这家工作室在陶瓷增材制造领域最先被了解是通过Gcode.Clay这个项目。由于陶瓷增材制造经常会留下一层一层的堆叠痕纹路,这一一直被认为是机器打印的缺陷,但是这家工作室将其作

为一种设计元素应用到了造型领域,通过巧妙设计打印路径,在陶器表面形成多种编织、螺纹、卷曲等类似纺织品的表面效果,并把这些表面纹理应用在建筑的外立面上,形成天然环保的建筑外表皮,这其中所展现的细节是无法用手工实现的,系列作品见图5。

四、增材制造对于陶瓷器型的创新

(一) 新的设计语言

通过对陶瓷增材制造设计案例的梳理和分析可以发现,通过增材制造技术设计实现的作品有着和传统陶瓷器型完全不一样的风格,甚至可以说由于生产方式的改变,衍生出了独特的设计语言和表现方式。

首先是肌理表现上,增材制造这种逐层制造工艺,难免残留机器的分层痕迹,但是设计师也可以巧妙利用这独特的分层线条,设计出更多可控的表面细节,尤其是结合数字化建模技术,能够实现手工难以实现的形态循环,产生极强的节奏韵律感。



图3 冰川系列



图4 研发的机器及打印作品



图5 Gcode. clay项目系列作品

其次是整体造型上,相较于传统圆润且重心稳定的造型,整个形体的几何机械感强,可以明显看到曲线及折线的转折、交叉、旋转,形成了错落有致的动态效果。尤其是结合内部的填充式打印,便于复杂形态的表现。

而且由于陶瓷增材制造技术仍在动态发展中,就算是同一个设计模型,由不同打印设备,甚至是同一设备采取不同打印参数都会带来截然不同的效果,这种表现的多样性与不确定性,是传统陶瓷设计作品中所没有的。

(二) 新的创作方式

正是由于机器的确定性,创作者也试图融入新的变量来制造随机性,使作品独一无二,这是一种全新的创作方式。例如在作品中加入“突变”纹理,通过气压的不稳定或水土配比不均匀使出料速度不一,以及通过使用非常规参数设置来摸索打印效果,这些非常规参数包括但不限于层高变化、流量变化、挤出高度和挤出头粗细等,甚至是通过全新的打印路径规划方式,来摸索无支撑路径下,泥料自然下垂的变化。

对比传统的陶瓷创作,陶瓷增材制造的加入,不仅使制造过程能够快速精准,更是将数字化设计融入其中。设计师在设计阶段,就可以更好地利用软件建模及数字化编程来完成造型设计,设计迭代更为方便。这种结合数字化制造和数字化设计的方式,改变了传统的陶瓷设计迭代过程,缩短了设计制造的周期,使陶艺创作的效率显著提高。

五、未来发展趋势

(一) 跨学科交叉

增材制造作为一种数字化制造的手段,具有多学科交叉的优势。而在陶瓷增材制造领域,不仅仅是增

材制造技术与传统陶瓷的碰撞,还会融入编程、算法、数字化设计和复合材料等多学科内容,产生的成果也会有更广阔的应用空间。不仅有像上面案例中所提到的陶瓷增材制造与建筑的融合,而且在未来有关于陶瓷的增材制造,也会有多学科交叉的趋势。

(二) 智能化材料

在增材制造领域,各种智能响应性的材料研究,拓展了传统3D打印的维度。例如Xprint模块化液体材料3D打印平台,能够打印对温湿度敏感的纳豆细菌可变形材料、高弹性的海藻酸钠材料和生物兼容性良好的水凝胶材料^[15]。MultiFab 计算机科学与人工智能实验室CSAIL,能够打印十多种不同材料的3D打印机,采用复合材料通过光固化技术来实现混合打印^[16]。MM3D多材料多喷嘴柔性材料增材制造系统,单个喷头就能够实现打印材料的快速切换,极大地拓展了复杂结构的制造能力^[17]。在陶瓷领域也有研究者在进行智能化材料打印的尝试,通过融入响应性智能材料,多种成型方式结合,制备具有明显梯度结构的复合陶瓷材料^[18],结合先进陶瓷复合材料进行高性能陶瓷功能零件的制备,以及医疗生物陶瓷的制备等研究^[19]。这些都是目前陶瓷增材制造领域的前沿研究,也代表着一定的未来发展趋势。

六、结语

本文通过对陶瓷增材制造技术的综述,以及对近十年陶瓷增材制造典型设计案例的分析,探讨增材制造对陶瓷器型的设计影响,并对未来发展趋势进行展望^[20]。陶瓷增材制造技术的发展,不是为了取代传统手工艺而出现,更多的是对陶瓷成型技术的一种补充和探索,未来也许会被视为陶瓷技法的一部分,这是一个动态发展的过程,技术与设计相互影响,动态向前。

参考文献

- [1] 梁文杰. 浅析日用陶瓷基础工艺[J]. 佛山陶瓷, 2019, 29(8): 9-11.
LIANG Wenjie. Analysis of Basic Technology of Domestic Ceramics[J]. Foshan Ceramic, 2019, 29(8): 9-11.
- [2] 谢璇. 陶瓷3D打印技术在现代陶瓷制作中的应用微探[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2020(19): 96-97.
XIE Xuan. Application of Ceramic 3D Printing Technology in Modern Ceramic Manufacture[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2020(19): 96-97.
- [3] 徐晓琪, 程永胜, 刘晓宏. 基于形状文法的陶瓷茶具创新设计方法研究[J]. 包装工程, 2021, 42(2): 298-304.
XU Xiaoqi, CHENG Yongsheng, LIU Xiaohong. Innovative Design Method Research of Ceramic Tea Set Based on Shape Grammar[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(2): 298-304.
- [4] 郭蔚, 邓霞, 曹阳. 3D陶瓷打印的工艺特点与艺术特征[J]. 装饰, 2016(3): 96-97.
GUO Wei, DENG Xia, CAO Yang. Technical and Artistic Features: The Technique of 3D Printing of Ceramic[J]. Zhuangshi, 2016(3): 96-97.
- [5] 王志永, 赵宇辉, 赵吉宾, 等. 陶瓷增材制造的研究现状与发展趋势[J]. 真空, 2020, 57(1): 67-75.
WANG Zhiyong, ZHAO Yuhui, ZHAO Jibin, et al. Research Status and Development Trend of Ceramic Precursors[J]. Vacuum, 2020, 57(1): 67-75.
- [6] REVELO C F, COLORADO H A. 3D Printing of Kaolinite Clay Ceramics Using the Direct Ink Writing (DIW) Technique[J]. Ceramics International, 2018, 44(5): 10-16.
- [7] NAMSOO P K, DIANA C, MATTHEW Z. Optimization of 3D Printing Parameters of Screw Type Extrusion (STE) for Ceramics Using the Taguchi Method[J]. Ceramics International, 2019, 45(2): 2351-2360.
- [8] 史玉升, 刘凯, 贺文婷, 等. 选择性激光烧结/冷等静压复合制造高密度Al₂O₃异形陶瓷件的研究[J]. 应用激光, 2013, 33(1): 1-6.
SHI Yusheng, LIU Kai, HE Wenting, et al. Densification of Alumina Components Via Indirect Selective Laser Sintering Combined with Isostatic Pressing[J]. Applied Laser, 2013, 33(1): 1-6.
- [9] 陈朝辉. 先驱体转化陶瓷基复合材料[M]. 北京: 北京出版社, 2011.
- [10] LIU Guo, ZHAO Yan, WU Ge, et al. Origami and 4D Printing of Elastomer-derived Ceramic Structures[J]. Science Advances, 2018, 4(8): 0641.
- [11] UNFOLD. Design Studio Home Page[EB/OL]. (2020-02-17)[2021-01-25]. <http://www.unfold.be/pages/ceramic-3d-printing.html>.
- [12] JONATHAN Keep. Personal Website[EB/OL]. (2020-04-29)[2021-01-25]. <http://www.keep-art.co.uk/>.
- [13] OLIVIER Van Herpt. Personal Website[EB/OL]. (2020-11-12)[2021-01-25]. <https://oliviervanherpt.com/>.
- [14] EMERGING Object. Home page[EB/OL]. (2019-10-5)[2021-1-25]. <http://emergingobjects.com/>.
- [15] WANG Guanyun, YAO Lining, WANG Wen, et al. Xprint: A Modularized Liquid Printer for Smart Materials Deposition[C]. Santa Clara: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2016.
- [16] SITTHI-AMORN P, RAMOS J E, WANG Y, et al. MultiFab: A Machine Vision Assisted Platform for Multi-material 3D Printing[J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2015, 34(4): 129.
- [17] SKYLAR-SCOTT M A, JOCHEN M, VISSER C W, et al. Voxlated Soft Matter via Multimaterial Multinozzle 3D Printing[J]. Nature, 2019, 575(7782): 330-335.
- [18] 邓健, 姚冬旭, 夏咏锋, 等. 注浆成型结合真空发泡法制备梯度多孔氮化硅陶瓷[J]. 无机材料学报, 2016, 31(8): 865-868.
DENG Jian, YAO Dongxu, XIA Yongfeng, et al. Gradient Porous Silicon Nitride by Slip Casting and Vacuum Foaming[J]. Journal of Inorganic Materials, 2016, 31(8): 865-868.
- [19] 司云强, 李宗安, 朱莉娅, 等. 生物陶瓷3D打印技术研究进展[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2017, 17(1): 1-11.
SI Yunqiang, LI Zongan, ZHU Liya, et al. Research Progress of Bio-Ceramic 3D Printing Technology[J]. Journal of Nanjing Normal University (Engineering and Technology Edition), 2017, 17(1): 1-11.
- [20] 陈艺玮. 基于陶瓷材料三维打印技术的产品设计研究[J]. 家具与室内装饰, 2019(8): 68-69.
CHEN Yiwei. Research on Product Design Based on Three-dimensional Printing Technology of Ceramic Materials[J]. Furniture & Interior Design, 2019(8): 68-69.