

陶瓷产品数字化设计与模具精确成型方法研究

张明春^{1,2}, 杨玲¹, 李文歆¹, 林清源¹

(1.景德镇陶瓷大学 设计艺术学院, 江西 景德镇 333403;

2.中国科学技术大学科技传播系, 合肥 230026)

摘要: **目的** 传统陶瓷依靠手工直接制坯与石膏模具成型, 但会存在尺寸精度不足与不便修整等问题。应用数字化技术完成陶瓷产品特征建模与子模模具设计, 应用 3D 打印技术实施模具精确制造, 使用直接或间接成型方法制得造型多样的陶瓷产品。**方法** 根据制定陶瓷 3D 打印精确成型技术路线, 并以“跑车水杯”为例说明陶瓷产品精确成型过程, 包括数据采集、逆向设计、3D 打印子模模具、制造石膏子模、注浆成型等步骤。**结论** 基于数字化设计与模具精确成型技术, 验证了定制的陶瓷产品精确成型方法, 总结出陶瓷造型数字化设计流程及技术化科学研究进路, 使生产效率提高的同时, 还能制造多样化造型的陶瓷产品。

关键词: 陶瓷造型多样化; 数字化设计; 模具精确成型; 3D 打印; 技术化科学

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)20-0066-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.20.007

Research on Ceramic Products Digital Design and Mold Precise Molding Methods

ZHANG Ming-chun^{1,2}, YANG Ling¹, LI Wen-xin¹, LIN Qing-yuan¹

(1.College of Arts and Design, Jingdezhen Ceramic University, Jiangxi Jingdezhen 333403, China; 2.Department of Communication of Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

ABSTRACT: Traditional ceramics rely on manual direct casting and plaster mold molding, but there are problems such as lack of dimensional accuracy and inconvenience of trimming. Apply digital technology to model the characteristics of ceramic products and design sub-molds, and apply 3D printing technology to make the master mold accurately, workers can produce ceramic products with more styles using direct or indirect molding methods. According to the development of ceramic 3D printing precision molding technology route, and "sports car mug" as an example to illustrate the process of ceramic products precision molding, including data collection, reverse design, 3D printing sub-mold mold, manufacturing plaster sub-mold, injection molding and other steps. Based on digital design and mold precise molding technology, we have verified the customized ceramic products precision molding method, and summarized the digital design process of ceramic modeling and the technological scientific research progression, which improves production efficiency and manufacture diversified modeling ceramic product.

KEY WORDS: diversification of ceramic forms; digital design; mold precise molding; 3D printing; technical Science

陶瓷产品设计通常需要考虑造型与装饰因素, 其中造型是装饰的基础, 是设计与制造的关键。与其他日用品不同, 陶瓷产品是以陶瓷黏土为原料, 运用特殊工艺批量生产制得的工业制品。传统方法多以手工制坯成型, 美学因素的考量优于尺寸精度, 但手工制

造存在一定的偶然性, 自然会造成产品之间存在差异。传统方法石膏模具成型需要经过“母模——子模”制造阶段, 设计师创意经过图纸传递至制模师后, 制模师依照个人经验制作母模与子模模具^[1]。在子模制造的过程中, 常存在由于设计师经验不足导致无法脱

收稿日期: 2022-05-15

作者简介: 张明春 (1981—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为技术哲学、数字化陶瓷产品设计理论。

通信作者: 杨玲 (1981—), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为设计艺术学。

模、细节缺失等模具设计问题, 需要返修或重新设计模具, 这就延长了新产品开发时间。

数字化设计是基于计算机辅助设计技术, 通过建立数字模型以获取产品数据信息的无纸化设计过程, 目前主要用于航空航天、机械制造、汽车工业、建筑领域等。与传统陶瓷设计相比, 数字模型信息准确、便于编辑修改, 可在计算机中完成模具设计与装配、虚拟分析与校验等过程, 是产品设计信息化发展的关键。因此, 将数字化技术应用于陶瓷造型设计领域中, 能够促进陶瓷产品实现精确成型, 不但有助于提高生产效率, 还将促进对该产业的升级改造。结合数字化设计与快速制造理念, 陶瓷产品成型方法可以大致概括为直接成型与间接成型两种方法, 见图 1。

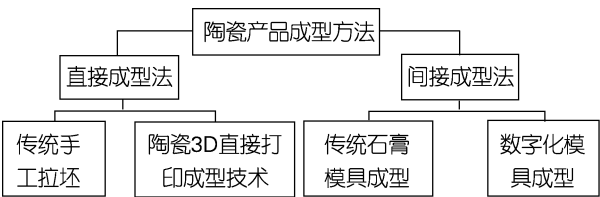


图 1 陶瓷产品成型方法
Fig.1. Ceramic product forming methods

1 直接成型法

陶瓷产品直接成型可以手工制坯, 也可以基于数字化技术使用陶瓷 3D 打印机直接打印成型。前者(传统手工制坯)可以捏塑、堆塑、泥条盘筑等方法成型, 还可以拉坯成型。手工成型大多依靠经验直观来控制陶瓷产品的坯体造型, 这种成型方法要求制坯人员深谙泥性, 并有一定的制坯经验。拉坯成型是传统手工制坯中最常用、最重要的方法之一。

1.1 拉坯成型

拉坯是在轮盘或辘轳车上, 用手工方式将泥料拉制成各种坯体造型的陶瓷产品成型方法。它需要经过揉泥定位、扶泥把正、开孔拔柱、坯体成型、制底取坯等制坯过程, 待泥坯静置半干后, 再经过粗修与精修坯体的过程, 这样才可得到所设计的产品造型。这种成型方法劳动强度大, 尺寸不宜精确控制, 通常是“形似神似”, 多用于盘、碗、洗、壶、罐、瓶等产品的制造。此外, 拉坯成型过程不易控制, 精度较低, 具有一定的随机性^[2]。

1.2 陶瓷 3D 直接打印成型

陶瓷 3D 直接打印成型则是以陶瓷 3D 打印机读取计算机中数字模型的外壁轮廓路径信息, 通过控制陶瓷 3D 打印机挤出头走位, 挤出陶瓷黏土并逐层堆积成型的过程。这种方法可以使陶瓷坯体造型成型较为精确, 也便于造型修整。

与手工成型相比, 陶瓷 3D 直接打印成型方法更加快捷、高效, 加工制造成本更低, 且成型精度高, 应用领域广。陶瓷 3D 打印机是直接打印成型的重要设备, 它安装有可用于精确定位的挤出头, 并能够通过芯片精确控制材料的挤出时间。比较常用的有 Delta 式陶瓷 3D 打印机, 它有 3 根自由连杆连接挤出头, 自由度较高, 挤出头最小直径可达 0.35 mm, 可用于直接挤出陶瓷黏土。

陶瓷 3D 直接打印成型的流程包括: 计算机辅助设计、获取数字模型、数据分层、G 代码传输、挤出头堆叠黏土成型等阶段^[3], 见图 2。其中, 成型技术的关键在于陶瓷 3D 打印机能够完整读取计算机中的三维数字模型的外壁轮廓信息, 并将其作为挤出头路径信息。在成型过程中, 坯体造型依靠先前打印完成的黏土自行支撑, 这既极大地节省了支撑材料, 也大幅度提高了成型效率。打印完成后, 即可入窑烧制成瓷^[4], 完整过程见图 3。

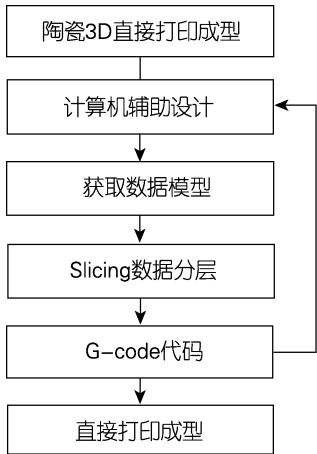


图 2 陶瓷 3D 直接打印成型流程
Fig.2 Additive manufacture by 3D printer

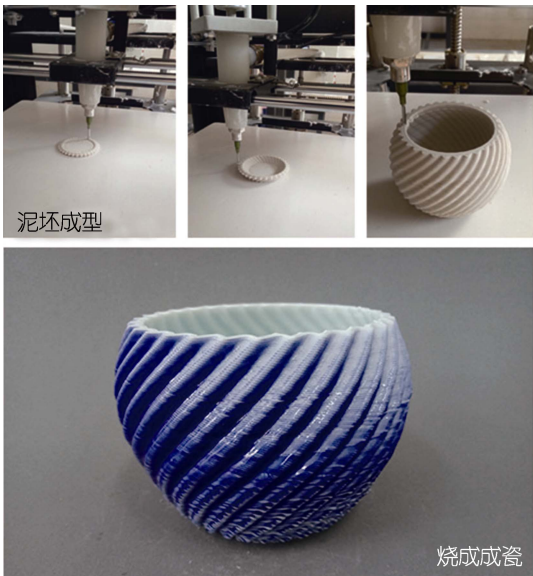


图 3 陶瓷 3D 直接打印成型并施釉烧成
Fig.3 Procedure of ceramic 3D printing and glaze firing

这种将计算机辅助设计获取的陶瓷产品数字模型，以陶瓷 3D 直接打印成型的方法制造出来，不但提高了产品标准率和生产效率，而且降低了人力成本，尤其适合小批量陶瓷产品的生产活动。

2 间接成型法

传统陶瓷设计领域中，考虑到陶瓷黏土特性和生产效率因素，大多使用石膏模具以达到陶瓷产品批量化生产的目的。随着数字化技术的发展和人们对产品工整度、精确度要求的提升，数字化模具技术的优势逐渐显现，与常规模具技术相比，数字化模具具有母模可复制、部件化分形、易于修改等优势，这有助于提升模具制作效率，进而提升产能。

间接成型法技术路线，主要分为常规模具成型和数字化模具成型两种情形，见图 4。

2.1 常规模具成型

常规模具成型包括手工翻模成型、机制模具成型等方法。模具大多选用石膏材质，也可以通过机加工方式制造金属模具。石膏模具主要分为注浆模具、压坯和印坯模具。其中，注浆模具成型是利用石膏的脱水性，以陶瓷泥浆为原料生产形状相对复杂、薄壁的陶瓷产品^[5]，包括注浆、吸浆、放浆、修坯和脱膜等多个步骤，泥坯处于开模状态，见图 5；压坯模具成型主要利用高速旋转的滚头滚压成型；印坯模具成型主要利用静力压制成型，通常用于制造较小体积的产品零部件^[6]，有时也会选用钢模具以提高使用寿命。

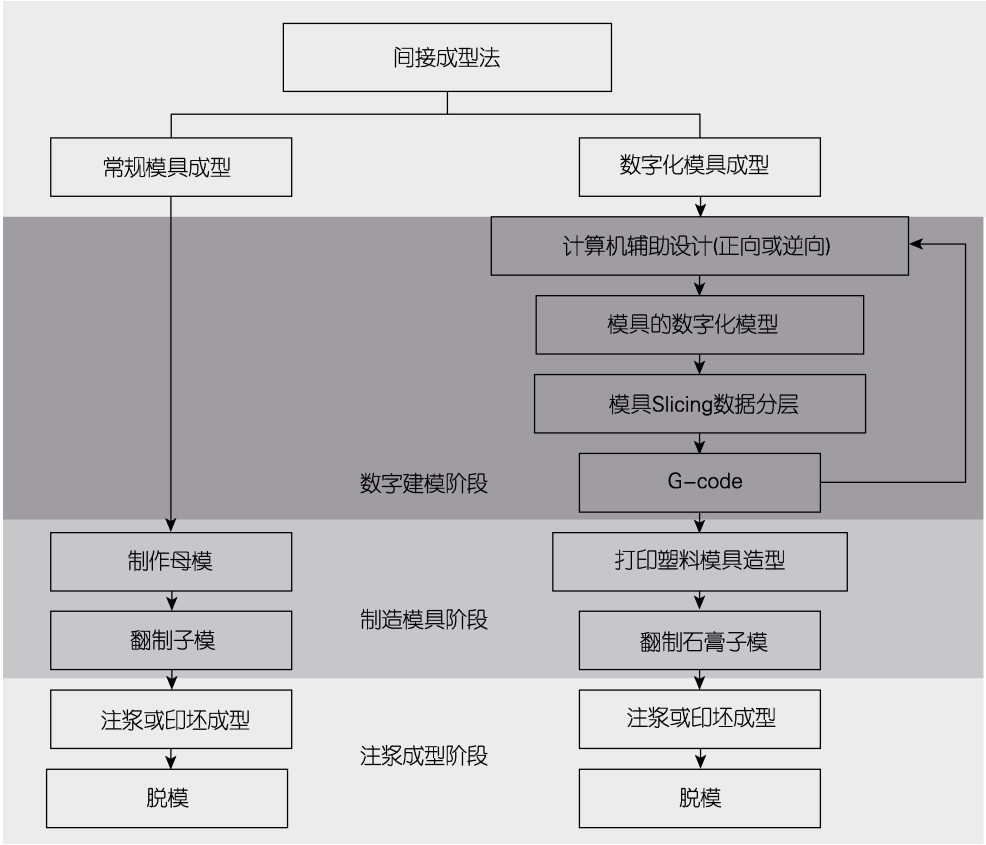


图 4 间接成型技术路线图
Fig.4 Procedure of 3D printing with ceramic indirectly



图 5 注浆石膏模具成型
Fig.5 Slip casting mold

制造石膏模具通常包括以下几个阶段。
制作母模——翻制子模——子模模具成型（注浆、压坯、印坯）——脱模。在实际生产过程中，传统手工方式完成石膏模具制造，不但消耗劳动力与劳动时间，而且生产效率相对低下。

2.2 数字化模具成型

数字化模具成型是应用数字化设计技术，精准、快速地制造模具的方法。在陶瓷生产领域，有 3D 打印 PLA 塑料（或其他材料）母模和 3D 打印 PLA 塑

料子模模具两种方法。它们都需要以制造石膏子模的“间接成型方式”实现。以“跑车水杯”的设计与制造过程为例, 它可分为数字建模、制造模具和注浆成型这 3 个重要阶段^[7]。

2.2.1 数字建模阶段

获取数字化模型, 既可以正向设计, 也可以逆向设计实现。“跑车水杯”意在批判作为人工物存在的豪华跑车与日用陶瓷产品之间的价值差别, 它的造型特征取自豪华跑车。在水杯的数字化设计过程中, 使用了 ULTRA HD 桌面激光扫描仪扫描跑车造型特征, 并得到其三维数据, 经过数据处理后, 选用其几何特征建构水杯的外形, 并生成实体模型^[8], 见图 6。在逆向建构数据模型过程中, 使用 Blender 软件进行矢量三维模型设计。

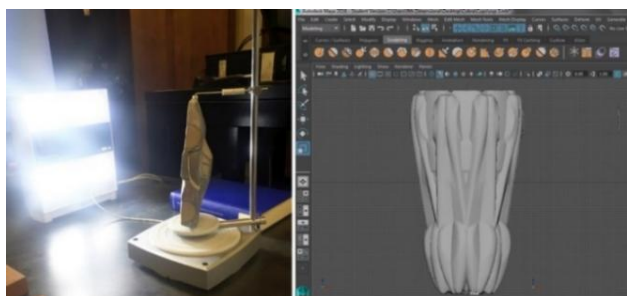


图 6 逆向设计与重构, 生成数字化模型的过程
(艾迪·多明戈设计)

Fig.6 Reverse design and recreate a new 3D data model (made by Ediel Doumiguez)

2.2.2 制造模具阶段

STL 数据文件是 3D 打印领域内的通用数据传输文件, 如果一个应用软件可以将计算机 3D 模型转换成 STL 格式, 那么这个 STL 数据就可以被分层 (Slicing) 处理, 进而被 3D 打印机识别。

分层是指将 STL 数据文件转化成一系列“指令”即 G 代码, 3D 打印机读取代码后可以控制挤出头走位和陶瓷黏土的挤出程度, 以使用指令数据流完成坯体堆叠成型。图 7 是 3D 打印机制造的 PLA 塑料子模模具, 用它来制作“跑车水杯”所需的石膏子模^[9]。

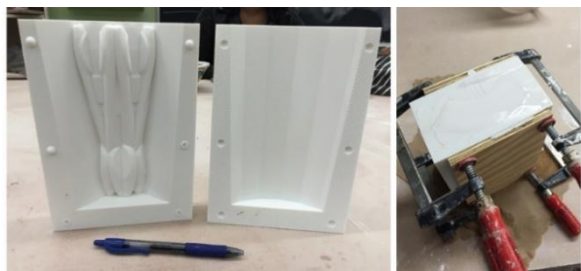


图 7 数字化模具制造子模 (艾迪·多明戈设计制造)
Fig.7 Digital mold manufacturing (made by Ediel Doumiguez)

Slicing 是 3D 打印子模制造阶段的关键, 它是一

种在打印品质、速度和材料损耗等多方面因素的动态平衡。应根据数字化模型的造型特点, 设定分层切片参数, 以提升打印成功率。

2.2.3 注浆成型阶段

石膏模具具有良好的吸水性能。注浆成型是将泥浆注入石膏模具内, 经过静置后, 陶瓷泥浆均匀地分散并粘附在石膏模具内壁上, 随着时间的延长, 粘附在石膏模具上的陶瓷黏土层不断加厚, 当达到一定厚度时, 倒出泥浆, 再经过干燥与脱模, 就可制造出具有一定造型的坯体^[10], 见图 8。



图 8 使用注浆工艺制得的跑车水杯泥坯
Fig.8 Clay of creative car cup made from precise plaster mold

从“跑车水杯”的造型过程来看, 间接成型数字化模具技术虽不及直打印成型效率高, 但它可将数字模型细部特征如实地复制出来, 这极大地提升了产品制造精度与石膏模具制造效率, 也是传统方法无法实现的^[11]。

3 陶瓷产品数字化设计优化流程

在传统陶瓷设计流程中, 设计师、制模师和工人分工各不相同, 设计师绘制图纸, 制模师负责制造石膏模具, 工人负责批量生产。创意经过设计师呈现^[12], 在以图纸形式传递至制模师处并完成模具制作的过程中, 存在一定程度的失控。但当设计师应用数字化设计与模具制造技术, 在电脑端完成数字模型建构、数字化模具设计, 并验证了结构关系, 完成了虚拟分析时, 就存在直接面对陶瓷泥坯造型的新局面。这种新型的陶瓷数字化设计流程, 将“设计师—制模师—工人”模式优化为“设计师—工人”模式, 摆脱了制模师囿于对图纸的不同理解而造成信息遗漏等问题, 实现“创意直达制造”, 做到从数字模型至成品之间的高效“无损制造”^[13], 见图 9。

此外, 陶瓷产品的数字化设计与制造路径具有产业创新意义。设计师直接面向制造将会提升创意设计热情, 有助于突破工艺局限, 设计制造高质量、多样化的创意陶瓷产品; 数字化技术对于复杂造型精确成型难题的突破、生产效率的提升, 无疑会增大相关陶瓷企业对前期研发的投入, 生产出高品质陶瓷产品, 最终实现产业技术升级。

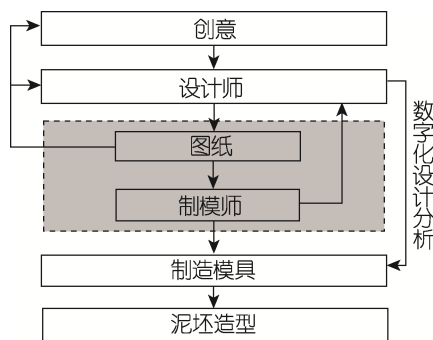


图 9 陶瓷数字化设计优化流程
Fig.9 Ceramic digital design optimized procedure

4 数字化产品设计的技术化科学趋势

数字技术浸侵于包括产品设计在内的诸多领域，向人们展示出不可思议的产业前景；结合了数字技术、先进制造技术的数字化设计呈现出产品设计新趋势。与此同时，数字技术作为一种新工具使“孪生的自然”变得可能，它不仅将技术人工物以虚拟的数字样态显现于计算机中，而且还促逼着设计向技术化科学（Technoscience）的方向发展。

19 世纪之前，技术与科学相互分离。据史料记载，科学史最早出现于公元前四世纪末，存有天文学史、算术史等方面的著作；技术史则源自 1772 年哥廷根大学贝克曼教授创立的工艺学，当时技术被视为工艺学中的内容且尚未独立分化^[14]。技术与科学各自具有独特的研究传统和价值取向：技术的进步依靠传统工艺的改善；到 18 世纪时知识转变为科学，科学分科也有了独立的科学形式，它们在各自领域内探求自然的规律，此时科学表现出哲学和经验特征^[15]。美国实用主义哲学家约翰·杜威（John Dewey）早在 1929 年爱丁堡大学演讲时，就从现代科学定义出发，提出了“科学认知过程事实上完全废弃了这种划分知行界线的传统；实验的程序已经把动作置于认知的核心地位”的观点，通过放弃对还原性前因的判断转向依据后果，从对过去的依赖转向有意识地创造未来，最终做到对绝对的确定性遗弃^[16]。德国著名哲学家海德格尔在《现代自然科学与技术》中，也明确提出了现代科学与现代技术同一性观点，“与其说科学是技术的基础，不如说现代自然科学拥有技术化思维的基本形式”，并且“技术将存在揭示为持存物”。也就是说，技术本身作为一种实践变换，而且这种变换主张了科学理论的支撑。当技术内化于科学之时，“科学将存在表象为对象”，最终实现了“科学与技术成为相互交织的统一体”^[17]。1977 年，比利时哲学家吉尔伯特·奥托瓦（Gilbert Hottois）率先提出技术化科学的概念，用来批判本质主义哲学传统，尤其是对 20 世纪科学哲学“语言学转向”的批评，认为将科学视为“理论和话语”是将科学封闭在语言问题之中。

同时，奥托瓦特别强调了科学的操作性特征，科学从对世界的介入性本质转变为技术直接构成了其本身^[18]。由此可见，设计依托技术制造持存物，可以从实体制造到达现象创造，创意也经由数字化设计技术“无损”地实现生成，从这个意义上讲，设计即演变为技术化科学实践，并成为现代技术发展的一个重要趋势。

人类借助计算机、加工制造装备等工具延异自身设计与制作能力，还能透过虚拟仿真技术前置了产品制造与使用风险。具有数字化特征的计算机辅助精确建模技术，不但提升了设计与制造的精度，而且实现了传统加工无法完成的复杂造型设计及制造。同时，数字化设计也彻底改变了设计师、工程师、用户之间的数据传递方式，摆脱了传统借助纸质图纸、实体模型等沟通模式，仿真与虚拟现实技术等被广泛用于新产品特征造型的分析与评价，这也增大了设计师直接面向消费者、探寻市场因素、创新产品的机会。

“创意直达制造”，使设计直接与制造相连。理性科学曾一度将自身视为一种解释自然现象、获取背后真理的活动。数字化设计将突破传统“圆整规则”，传统机加工过程中，基于零部件尺寸的整体关联，在定型时需要进行圆整技术处理，人为设定了优先选择 0、2、5、8 及偶数值。3D 直接打印技术路线除了为这种突破传统的直接制造提供了逻辑支撑外，更重要的是还改变了设计思维形式，造型不再源自“灵感”，而是根据实际需求进行改良或创新，超越了原有、定势的形式与风格。可见，数字化产品设计作为技术化科学实践，体现了科学的工具理性特征，3D 打印技术对复杂造型的生成与前瞻性约束，也为“人人都是设计师”提供了理论与操作性支持，最终实现设计阶段中的矛盾在设计过程之中得以消解。

总之，在产品的数字化设计实践过程中，设计师数字化设计、虚拟分析、计算机仿真与虚拟现实技术，历经从实体到数字设计阶段，实现了从感性到理性认识的飞跃；同时，科学理论（如复杂性理论、模糊逻辑理论等），也被用以指导设计活动，为设计与工程实践提供理论指导，完成理论到实践的第二次飞跃^[19-20]。如此，设计等实践活动作为科学理论的来源，它先于认识，并作为认识的目的而存在，形成的科学理论亦反作用于实践并指导实践活动，并以实践作为检验科学理论正确与否的标准，这使技术化科学研究进路得以实现，见图 10。

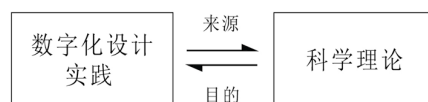


图 10 数字化设计的技术化科学研究进路
Fig.10. Research approaches of digital design about technoscience

5 结语

应用数字化设计与模具制造技术，提高了陶瓷产

品制造精度。陶瓷 3D 直接打印成型方法制造产品坯体造型, 能够提高生产效率, 适用于小批量陶瓷产品的生产活动。由“跑车水杯”的数字化模具成型实践可以得出, 依照计算机数字模型, 虚拟制作子模模具, 并使用 3D 打印机快速制造塑料子模模具, 间接生产陶瓷产品, 能够精确地反映产品的造型特征, 优化了生产工艺, 提升了生产效率。批量的石膏模具成型技术还将适用于大批量陶瓷产品的生产活动, 节约成本。陶瓷产品数字化设计与模具制造技术应用于陶瓷产品生产过程, 实现了设计与制造相连, 优化了设计流程, 拓展了数字化设计技术化科学研究进路, “创意直达制造”的理念拓展了陶瓷产品成型的理论维度。

参考文献:

- [1] 吴俊卿. 数字化在传统陶瓷模具行业中的运用[J]. 江苏陶瓷, 2021, 54(2): 14-15, 17.
WU Jun-qing. Application of Digitization in Traditional Ceramic Mold Industry[J]. Jiangsu Ceramics, 2021, 54(2): 14-15, 17.
- [2] 杨艺, 向瑾. 高温陶瓷材料的异型产品成型方法[J]. 山东社会科学, 2016(S1): 636-637.
YANG Yi, XIANG Jin. Method for Forming Special-Shaped Products of High-Temperature Ceramic Materials[J]. Shandong Social Sciences, 2016(S1): 636-637.
- [3] KLOSKI W L, KLOSKI N. Getting Started with 3D Printing: A Hands-on Guide to the Hardware, Software, and Services Behind the New Manufacturing Revolution[M]. San Francisco: Maker Media, Inc. 2016, 5.
- [4] 李小丽, 马剑雄, 李萍, 等. 3D 打印技术及应用趋势[J]. 自动化仪表, 2014, 35(1): 1-5.
LI Xiao-li, MA Jian-xiong, LI Ping, et al. 3D Printing Technology and Its Application Trend[J]. Process Automation Instrumentation, 2014, 35(1): 1-5.
- [5] 赵敏, 彭家惠, 朱登玲, 等. 陶瓷模具石膏增强技术研究[J]. 材料导报, 2013, 27(4): 117-121.
ZHAO Min, PENG Jia-hui, ZHU Deng-ling, et al. Study of the Enhancement Technology on Model-Gypsum[J]. Materials Review, 2013, 27(4): 117-121.
- [6] 王湘冀, 李德勤, 黄锡洪. 现代卫浴陶瓷模具加工技术[J]. 模具工业, 2011, 37(1): 65-67, 72.
WANG Xiang-ji, LI De-qin, HUANG Xi-hong. Modern Molding Technology for Sanitary Ceramic Wares[J]. Die & Mould Industry, 2011, 37(1): 65-67, 72.
- [7] 胡迪·利普森, 梅尔芭·库曼. 3D 打印从想象到现实[M]. 赛迪研究院专家组, 译. 北京: 中信出版社, 2013.
LIPSON H, Kurman M. 3D Printing: From Imagine to Reality[M]. CCID Research Institute Expert Group, Translated. Beijing: China Citic Express, 2013.
- [8] BLAZDELL P F, EVANS J R G. Application of a Continuous Ink Jet Printer to Solid Freeforming of Ceramics[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 99(1-3): 94-102.
- [9] 夏彬阳, 陈晓航, 李灯, 等. 3D 打印技术在绿色制造行业的发展趋势[J]. 机械工程师, 2016(7): 22-24.
XIA Bin-yang, CHEN Xiao-hang, LI Deng, et al. Development Trend of the 3D Printing Technology in Green Manufacturing[J]. Mechanical Engineer, 2016(7): 22-24.
- [10] 乔益民, 王家民. 3D 打印技术在包装容器成型中的应用[J]. 包装工程, 2012, 33(22): 68-72.
QIAO Yi-min, WANG Jia-min. Application of 3D Printing Technology in Container Molding Design[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(22): 68-72.
- [11] 王柳庄. 参数化技术对产品的影响探讨[J]. 包装工程, 2016, 37(16): 10-13.
WANG Liu-zhuang. Influences of Parametric Technology on Product Design[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(16): 10-13.
- [12] 孙凌云, 王长路, 柴春雷, 等. 基于创意拐点的计算机辅助草图设计技术[J]. 中国科学: 信息科学, 2013, 43(8): 996-1011.
SUN Ling-yun, WANG Chang-lu, CHAI Chun-lei, et al. A Computer-Aided Design Technology Based on Creative Point[J]. Scientia Sinica (Informationis), 2013, 43(8): 996-1011.
- [13] 孙澄宇. 聚焦物质属性的数字化形态设计[C]// 数字建筑国际学术会议论文集. 北京: 清华大学出版社, 2014(4): 62-69.
Cheng Sun-yu. Digital Form Design Focusing on Material Factors[C]// Proceedings of the DADA2019 International Conference on Digital Architecture. Beijing: Tsinghua University Express. 2014(4): 62-69.
- [14] 姜振寰. 国外技术史研究概况[J]. 自然辩证法研究, 1985, 1(2): 70-74.
JIANG Zhen-huan. Overview of Foreign Research on Technology History[J]. Studies in Dialectics of Nature, 1985, 1(2): 70-74.
- [15] 马克思, 恩格斯. 马克思恩格斯选集(第 1 卷)[M]. 北京: 人民出版社, 2022.
MARX, ENGELS. Selected Works of Marx and Engels (Volume 1) [M]. Beijing: People Express, 2022.
- [16] 约翰·杜威. 确定性的寻求: 关于知行关系的研究[M]. 傅统先, 译. 上海: 上海人民出版社, 2005.
DEWEY J. Quest for Certainty: A Study on the Relationship Between Knowledge and Action[M]. FU Tong-xian, Translated. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 2005.
- [17] 段伟文. 对技术化科学的哲学思考[J]. 哲学研究, 2007(3): 76-85.
DUAN Wei-wen. Philosophical Thinking on Technological Science[J]. Philosophical Researches, 2007(3): 76-85.
- [18] 刘鹏. “技性科学”的思想史审视[J]. 南京社会科学, 2021(12): 27-34.
LIU Peng. On Technoscience from the Perspective of Intellectual History[J]. Nanjing Journal of Social Sciences, 2021(12): 27-34.

(下转第 83 页)