《增材制造 立体光固化成形陶瓷型芯制备技术规范》

编制说明

团标制定工作组

二零二四年十一月

**一、工作简况**

**（一）任务来源**

中国中小企业协会下达的2024年团体标准修订编制计划，将《增材制造 立体光固化成形陶瓷型芯制备技术规范》列为标准编制项目，并于2024年07月在全国团体标准信息平台上进行了立项公告。

**（二）编制背景及目的**

增材制造（Additive Manufacturing，简称AM），通常也被称为3D打印，与传统的切削或去除材料的制造方法相比，增材制造的核心概念是通过逐层堆叠或添加材料，逐渐构建三维物体。传统制造主要通过铸造、锻造、机械加工等方式将原材料加工为所需的零部件或产品，这种加工方式对加工流程简单的产品可以实现大规模生产，生产效率较高，但对于批量较小，工艺复杂的产品则效率显著下降。增材制造技术可以实现对复杂结构、小批量结构的高效制造，为传统制造领域进行了有效补充。航空航天领域由于对关键零部件的结构轻量化、工艺复杂化有高要求，成为增材制造的天然适配领域。

随着科技水平的提高，航空发动机技术取得了巨大的进步，极大地提高了飞机的性能。与此同时，对飞行器动力水平的要求越来越高，其中提高推重比是改善发动机性能最有效的方式，研究表明，每当涡轮前进口温度提高100℃时，发动机的推力就大约增加10%。推重比的提高是基于涡轮进口燃气温度的提高，也即“火力越足，推力越强”。但单纯依靠提高材料的承温能力和采用隔热措施已无法满足服役需求，因此，通过复杂气冷内腔结构改善涡轮叶片散热能力已成为先进发动机制造的关键，而陶瓷型芯是制造这种内腔结构的核心部件，内腔形状越复杂，冷却效果越优异。

陶瓷型芯的制备方法主要有热压注成型法、凝胶注膜成型法、灌浆成型法以及增材制造中的立体光固化成形技术。以热压注成型为例，传统方式制备陶瓷型芯的过程为：制造模具→制备浆料→型芯压注→型芯矫正→烧结→强化。而使用立体光固化成形技术制备陶瓷型芯与传统方式相比具有以下优势：

1. 高精度与复杂形状制造能力：能够制造出具有复杂内部结构和精确尺寸的陶瓷型芯，满足涡轮叶片的精密铸造要求。
2. 缩短生产周期：大幅减少了模具制作和后处理的时间，加快了产品迭代速度。
3. 降低成本：简化了生产流程，减少了原材料浪费，降低了生产成本。
4. 优化设计灵活性：可以根据实际需求快速调整陶瓷型芯的设计，实现定制化生产。

航空发动机的内腔由于结构复杂对于加工是一项挑战，用熔模精密铸造进行加工时，普通加工方法由于存在很多无法完成的工序，于是各种类型的陶瓷型芯被发明并广泛运用。陶瓷型芯的制备过程直接影响到陶瓷型芯成品的合格率和产品的质量。通过制定立体光固化成形陶瓷型芯制备技术的标准，可以为制造厂商制备立体光固化成形陶瓷型芯提供规范化指导，进而提高光固化3D打印陶瓷型芯的综合性能。目前国内外已有多家公司使用3D打印设备生产陶瓷型芯,立体光固化技术是陶瓷型芯打印成形的主要制造方法之一，但尚未有使用立体光固化技术制备陶瓷型芯相关的现行国家标准、行业标准。本项目的提出，旨在借助标准化手段，填补相关领域标准空白，引领并推动航空航天行业的高质量发展。

**（三）编制过程**

2024 年07月，完成《增材制造 立体光固化成形陶瓷型芯制备技术规范》的立项。标准立项计划下达后，根据相关文件的要求，明确小组成员工作任务并制定了详细的工作计划。

2024 年 07月-11月，标准编制组对国内外的相关行业、标准、科研成果、专著等开展广泛、深入的调研，在此基础上完成《增材制造 立体光固化成形陶瓷型芯制备技术规范》的草案。随后标准制定小组与相关专家经多次研究、讨论对草案进行数次修改，于2024年11月下旬提交《增材制造 立体光固化成形陶瓷型芯制备技术规范》标准征求意见稿及征求意见稿编制说明，拟定在网上公示征求意见稿，广泛征求各方意见和建议。

制定小组将根据各方意见和建议对标准进行修改后形成送审稿。

**（四）主要起草单位及起草人所做的工作**

由中国科学院金属研究所牵头，佛山市陶瓷研究所检测有限公司、中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司、贵阳航发精密铸造有限公司、东方电气集团东方汽轮机有限公司、中国联合重型燃气轮机技术有限公司、中国航发燃气轮机有限公司、武汉三维陶瓷科技有限公司、西安交通大学、西北工业大学、华中科技大学、中国机械总院集团沈阳铸造研究所有限公司、武汉因泰莱激光科技有限公司、通标亿泽标准化技术服务(北京)有限公司等相关单位的专家成立的标准制定小组，在广泛调研、查阅和研究国际、国内的现行标准，结合行业现行技术痛点和空白，组织、协调和策划了标准征求意见稿的草拟和修改过程。

**二、 标准编制原则和主要内容**

**（一）标准制定原则**

本标准依据相关行业标准，标准编制遵循“前瞻性、实用性、 统一性、规范性”的原则，注重标准的可操作性，严格按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求进行编写。

**（二） 标准主要技术内容**

1、规范性引用文件：列出了本文件引用的其他规范性文件。

2、术语和定义：GB/T 35351、GB/T 39331 界定的术语和定义适用于本文件。

3、一般要求：对人员、仪器设备、原材料、环保与安全方面对立体光固化成形陶瓷型芯制备进行规范。

4、制备流程：包括对浆料制备、模型设计、数据处理、参数设定、光固化成形、后处理、包装和运输的要求。

5、质量检验：对立体光固化成形陶瓷型芯的质量规定。

6、技术资料交付。

**（三）主要试验（或验证）情况分析**

结合国内外行业情况及公司的实践进行验证。

**（四）标准中涉及专利的情况**

本文件第 5 章涉及与下列相关的专利的使用。

1. ZL202111364392.6，一种光固化3D打印改性陶瓷型芯及其制备方法
2. ZL202111362650.7，一种光固化3D打印浸渍增强陶瓷型芯及其制备方法
3. ZL202111397616.3，一种光固化3D打印铝基陶瓷型芯及其制备方法
4. ZL202111362469.6，一种光固化3D打印复合陶瓷型芯及其制备方法
5. ZL02111325715.0，一种光固化3D打印硅基陶瓷型芯及其制备方法
6. ZL202211445224.4，一种层状界面强化的光固化3D打印陶瓷型芯及制备方法

**（五）预期达到的效益（经济、效益、生态等），对产业发展的作用的情况**

增材制造是先进制造的重点发展方向，从2015年三部委发布的《国家增材制造产业发展推进计划（2015-2016年）》开始，国家密集出台了一系列相关政策，并在2021年工信部、发改委等8部门联合印发《“十四五”智能制造发展规划》中，将增材制造列为重点项目，增材制造的重要性再上新台阶。根据工信部数据， 2012-2022 年，中国增材制造产业规模自 10 亿元增长至 320 亿元，年复合增长率为 41.42%，2019-2022年，中国增材制造产业市场规模年复合增长率为 26.52%，根据《增材制造十年发展及展望》数据，我国增材制造产业规模有望于 2027 年超过千亿元，2022-2027 年年复合增长率有望达到 25.59%。

同时，陶瓷型芯的主要应用领域为航空发动机和燃气轮机的涡轮叶片制造。随着发动机对推重比等性能指标要求的持续提升，涡轮温度不断增加，导致涡轮叶片的空心气冷结构日趋复杂精密。在我国国防预算不断提升、军用飞机升级换代需求迫切和训练量不断加大的背景下，军用航空发动机市场呈现稳步增长态势，新战机的大量装备部队，以及新发动机的不断定型、量产，为陶瓷型芯行业市场规模的稳定增长态势奠定了坚实的基础。随着国产 C919、C929、ARJ21 等商用飞机研发试制进度的不断推进，对 CJ-500、CJ-1000、CJ-2000 等长江系列国产商用航空发动机的研发量产进度提出了明确要求，相关发动机型号定型量产交付，将极大地拓展陶瓷型芯的市场空间。燃气轮机方面，我国各类军用舰船生产及更新换代需求，以及“双碳”背景下预期燃气发电占比持续提升，将明显促进军用及民用市场对各功率级别国产燃气轮机的需求，进而为陶瓷型芯行业发展和市场规模增长提供新的增长点。此外，其他熔模铸造领域的发展，也将带动陶瓷型芯产业的发展。

**（六）在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性**

符合现行相关法律、法规、规章及相关标准，与强制性标准协调一致。

**（七）重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

**（八）标准性质的建议说明**

本标准为团体标准，供社会各界自愿使用。

**（九）贯彻标准的要求和措施建议**

1、组织线下宣传活动、线上渠道推广，进行标准的内容宣传。

2、组织相关专家进行培训和讲座，介绍本标准并进行答疑。

3、与相关协会、机构、企业等合作伙伴共通普及和推广。

**（十）废止现行相关标准的建议**

无。

**（十一）其他应予说明的事项**

无。

《增材制造 立体光固化成形陶瓷型芯制备技术规范》起草组

2024年11月19日