

附件 5

高性能难熔难加工合金大型复杂构件增材制造 (3D 打印) “一条龙” 应用计划申报指南

一、产业链构成

瞄准航天、大型飞机、航空发动机、燃气轮机、船舶、轨道交通与核电领域等重大装备开发和生产用户，以产业链上下游供需能力为基础，应用为导向，针对铝合金、钛合金、高温难熔难加工合金等高性能合金大型复杂构件高效增材制造（3D打印）工艺、系列化工程化成套装备、质量和性能控制及工程化应用等关键环节的基础材料、工艺和装备，推动相关重点项目建设和技术突破，形成上下游产业对接的应用示范链条，推动增材制造产业和技术发展。

关键产业链条环节

序号	产业链	产业链环节	铝合金大型复杂构件高效增材制造	钛合金大型复杂构件高效增材制造	高温难熔合金大型复杂构件高效增材制造
1	原材料	高性能合金粉末材料	√	√	√
2		高性能合金丝材	√	√	√
3	制造装备	激光/电弧/等离子熔丝系类大型增减材一体化装备	√	√	√
4		激光送粉增减材一体化装备		√	√
5		电子束熔丝大型增材制造装备	√	√	√
6		激光/电子束选区激光熔化增材制造装备	√	√	√
7	设计、工艺规范、检测技术与标准	高性能大型结构拓扑优化设计	√	√	√
8		增材制造工艺、后处理工艺及规范	√	√	√
9		检测技术与标准	√	√	√
10	应用示范	航天领域	√	√	√
11		大型飞机领域	√	√	
12		航空发动机领域	√	√	√
13		燃气轮机领域	√	√	√

序号	产业链	产业链环节	铝合金大型复杂构件高效增材制造	钛合金大型复杂构件高效增材制造	高温难熔合金大型复杂构件高效增材制造
14	应用示范	船舶领域	√	√	√
15		轨道交通领域	√	√	√
16		核电		√	√

二、目标和任务

(一) 上游原材料

1. 高性能合金粉末材料

(1) 环节描述及任务。针对载能束粉末床或送粉式增材制造原材料的迫切需求，突破铝合金、钛合金、高温合金以及钨/钼/钽/铌合金等高性能难加工合金粉末的制备技术，形成稳定的制备工艺，实现球形度好、粒径分布窄且流动性与加工性良好的典型铁基、铝基、钛基、镍基粉末的批量制备和加工，满足增材制造技术对高品质粉末原材料制备技术的要求。

(2) 具体目标。粉末氧氮含量：铁基：O≤200 ppm、N≤150 ppm，铝基：O≤800 ppm、N≤250 ppm，镍基：O≤150 ppm、N≤100 ppm，钛基：O≤1000 ppm、N≤100 ppm；粉末粒度分布呈正态分布，激光选区熔化SLM工艺粉末粒径分布15~53μm（细粉），激光熔融沉积LENS和电子束选区熔化EBM粉末粒径53~105μm（粗粉），粉末具有良好的流动性（铁基：≤22s/50g，铝基：N/a，钛基：≤35s/50g，镍基：≤22s/50g），粉末球形度≥90%，无卫星球。

2. 高性能合金丝材

(1) 环节描述及任务。针对增材制造专用高性能合金丝材的高质量制备技术和装备的需求，掌握合金熔炼和拉拔工艺对丝材质量的影响规律，突破元素烧损行为及均质化调控技术，实现铝合金、

钛合金、高温合金以及钨/钼/钽/铌合金等高性能难熔难加工合金丝材的批量制备和加工，满足熔丝增材制造对丝材表面质量、内部缺陷和成分的要求。

(2) 具体目标。丝材直径0.8~3.0mm，尺寸偏差+0.01/-0.04，表面光滑，无毛刺、凹陷、划痕、裂纹等缺陷。最高力学性能：铝基 $\sigma_b \geq 300\text{MPa}$ ， $\delta \geq 6\%$ ；铁基 $\sigma_b \geq 800\text{MPa}$ ， $\delta \geq 10\%$ ；钛基 $\sigma_b \geq 930\text{MPa}$ ， $\delta \geq 8\%$ ；镍基 $\sigma_b \geq 1200\text{MPa}$ ， $\delta \geq 15\%$ 。

(二) 制造装备

1. 激光/电弧/等离子熔丝系类大型增减材一体化装备

(1) 环节描述及任务。针对航天、大型飞机、航空发动机、燃气轮机、船舶、轨道交通与核电等领域高性能难加工合金大型复杂零部件的制造需求，开发激光/电弧/等离子熔丝系类大型增减材一体化装备技术攻关和成套装备，解决大型零件成形精度、内部缺陷、应力组织在线调控等技术难题，为实现高性能铝合金、钛合金、高温难加工合金等大型复杂构件的制造提供成套装备。

(2) 具体目标。激光/电弧/等离子熔丝系类大型增减材一体化成套装备，需具有大型典型复杂零件的高效高精度成形能力，单向成形尺寸不低于1.5m，尺寸精度不低于 $\pm 3\text{mm/m}$ ；构件力学性能超过传统铸件，接近锻件水平；相比较传统工艺，制造周期缩短30%以上，原材料消耗降低30%以上。

2. 激光送粉增减材一体化装备

(1) 环节描述及任务。针对航天、航空发动机、燃气轮机、轨道交通等领域复杂异形结构及较大尺寸复杂结构件的制造或快速修复需求，开展五轴联动送粉式增减材一体化成套装备技术攻关，集

成气氛保护和冷却气体循环系统、增减材复合制造专用数控系统、激光成形熔覆头等，完成五轴联动增减材复合制造设备开发和测试，提高制件成型精度和效率，为实现高性能钛合金、高温难加工合金等高性能难加工大型复杂构件的制造提供成套装备。

(2) 具体目标。送粉式五轴增减材一体化装备技术攻关具体技术指标包括：成形尺寸不小于 $800 \times 800 \times 500\text{mm}$ ，工作环境水氧含量不大于 10ppm ，最高成形效率可达 $200\text{cm}^3/\text{h}$ ，重复定位精度： $\pm 0.005\text{mm}$ ，加工精度优于 $20\mu\text{m}/100\text{mm}$ ，零件表面粗糙度优于 $Ra1.6\mu\text{m}$ 。

3. 电子束熔丝大型增材制造装备

(1) 环节描述及任务。针对航天、大型飞机、航空发动机、燃气轮机、核电等领域高性能难加工合金大型复杂零部件的制造需求，开展电子束熔丝大型增材制造成套装备技术攻关，集成开发高稳定性长效循环过滤系统，满足长时间连续生产需求；开发熔池在线监测技术，解决内部冶金缺陷的在线监测问题，为实现高性能铝合金、钛合金、高温难加工合金等大型复杂构件的制造提供成套装备。

(2) 具体目标。电子束熔丝大型增材制造装备具体技术指标包括：最大成形尺寸不小于 1.2m ，尺寸精度不低于 $\pm 3\text{mm}/\text{m}$ ，构件力学性能超过传统铸件，接近锻件水平。

4. 激光/电子束选区激光熔化增材制造装备

(1) 环节描述及任务。针对航天、航空发动机、燃气轮机、轨道交通、核电等领域高性能难加工合金大型精密复杂零部件的制造需求，开展开展激光/电子束选区熔化装备技术攻关，开发阵列式多能束协同加工技术，提高制件成形效率；开发高稳定性长效循环过

滤系统，满足长时间连续生产需求；开发熔池在线监测技术，解决内部冶金缺陷的在线监测问题。完成激光/电子束选区熔化装备的开发和测试，提高制件成型精度和效率，为实现高性能铝合金、钛合金、高温难加工合金等大型精密复杂构件的制造提供成套装备。

(2) 具体目标。装备的激光/电子束阵列数量不低于2个，最大成形尺寸不小于600mm，尺寸精度不低于 $\pm 0.2\text{mm/m}$ ，表面粗糙度不高于 $Ra12.5\mu\text{m}$ ；构件力学性能超过传统铸件。

(三) 设计、工艺规范、检测技术与标准

1. 高性能大型结构拓扑优化设计

(1) 环节描述及任务。针对航天、大型飞机、航空发动机、燃气轮机、船舶、轨道交通与核电等领域，开展大型复杂结构一体化、轻量化及多功能集成优化设计，建立基于结构承载强度、惯性和刚度的轻量化设计准则，在保证材料本体性能不变的前提下，降低重量、减小零部件数量，并一定程度上提升结构性能。

(2) 具体目标。在航天、大型飞机、航空发动机、燃气轮机、船舶、轨道交通与核电等领域选取典型案例，开展大型复杂构件优化设计或拓扑优化设计，整体体积和重量减少20%以上，并获得打印验证和测试。

2. 增材制造工艺、后处理工艺及规范

(1) 环节描述及任务。针对航天、大型飞机、航空发动机、燃气轮机、船舶、轨道交通与核电等领域高性能难加工合金大型精密复杂零部件的制造需求，开展铝合金、钛合金、高温难加工合金等大型复杂构件增材制造关键工艺、后处理技术攻关，形成相关工艺规范和制造工艺的一揽子解决方案。

(2) 具体目标。在航天、大型飞机、航空发动机、燃气轮机、船舶、轨道交通与核电等领域选取典型案例，依托行业或企业中试研发能力平台为主导，组织产学研联合，整合软硬件资源，建设高性能金属复杂构件增材制造工艺与技术服务平台，推动增材制造工艺和后处理工艺开发和验证，分别形成相关工艺规范。

3. 检测技术与标准

(1) 环节描述及任务。针对航天、大型飞机、航空发动机、燃气轮机、船舶、轨道交通与核电等领域高性能难加工合金大型精密复杂零部件的质量检测与评价的需求，开展高性能铝合金、钛合金、高温难加工合金等大型复杂构件的无损检测技术攻关；根据国内外先进材料生产指标参数以及关键制造工艺、缺陷类别、检测技术成果，参与和推动团体标准、行业标准或国家标准的制定。

(2) 具体目标。在航天、大型飞机、航空发动机、燃气轮机、船舶、轨道交通与核电等领域选取典型案例，根据不同生产阶段、不同制造工艺、不同零部件的检测要求，完成相关增材制造材料、工艺及检测规范和推荐标准的制定，不少于3项，具备行业推广条件。

(四) 应用示范

1. 航天领域应用示范

(1) 环节描述及任务。针对航天中地月/火星探测器支撑类、大容量通信卫星连接支架类、功能类以及运载火箭支撑类典型构件的轻量化、一体化设计，在保证材料本体性能不变的前提下，通过增材制造，一定程度上提升结构性能、降低重量、缩短制造周期的成本，并开展增材制件的示范应用和实验验证。培养一批高水平人才队伍。

(2) 具体目标。 完成卫星支架、火箭链接环舱段类结构的拓扑优化设计和制造，整体体积和重量减少15%以上，形成制造工艺规范≥3份。

2. 大型飞机应用示范

(1) 环节描述及任务。 开展民机钛合金结构件低成本高效率等离子电弧增材制造工艺、钛合金结构件高效率电子束熔丝增材工艺、复杂大尺寸结构件一体化高效电弧熔丝增减材复合制造、大尺寸铝合金、钛合金结构件高效低成本电弧增材制造技术、后处理技术与无损检测技术攻关与示范应用，发展低成本、高效率、批次性能稳定的大型结构件制造工艺，形成上述增材制造制件质量检测技术和评价方法，为后续承力结构件的应用奠定基础。培养一批高水平人才队伍。

(2) 具体目标。 相对传统制造工艺，制造效率提升50%，成本降低50%，综合性能达到或超越铸件水平，与锻件相当，完成2种大尺寸零件的初步应用验证，形成制造工艺规范≥3份。

3. 航空发动机应用示范

(1) 环节描述及任务。 针对航空发动机领域，在开发、零部件修复和测试过程中开展增材制造技术应用示范，形成高性能金属增材制造材料、工艺、装备及质量检测的整套成果应用示范体系，培养一批高水平人才队伍，建立相关产业基地。

(2) 具体目标。 实现第五代航空发动机典型功能部件的增材制造，完成发动机机匣、高温合金燃油喷嘴、钛合金轴承座等结构件≥5件的相关试制，相对传统制造工艺，减重20%以上，制造效率提升50%，成本降低50%，典型构件综合力学性能（室温拉伸、冲击，

疲劳，高温拉伸，高温蠕变等）超过对应铸件水平，接近锻件水平。形成制造工艺规范 ≥ 3 份。

4. 燃气轮机应用示范

(1) 环节描述及任务。针对燃气轮机领域，在开发、零部件修复和测试过程中开展增材制造技术应用示范，形成高性能金属增材制造材料、工艺、装备及质量检测的整套成果应用示范体系，培养一批高水平人才队伍，建立相关产业基地。

(2) 具体目标。实现新一代重型燃气轮机典型功能部件的增材制造，完成燃气轮机燃烧室、高温合金燃油喷嘴、轴承座等结构件 ≥ 5 件的相关试制，相对传统制造工艺，减重20%以上，制造效率提升50%，成本降低50%，典型构件综合力学性能（室温拉伸、冲击，疲劳，高温拉伸，高温蠕变等）超过对应铸件水平，接近锻件水平。形成制造工艺规范 ≥ 3 份。

5. 船舶领域应用示范

(1) 环节描述及任务。针对船舶领域，基于增材制造技术，开展高性能金属材料制备、大型件船舶构件优化设计、激光/电弧/等离子/电子束等高能束熔丝增材制造工艺、激光/电子束选区烧结工艺、激光送粉增减材复合制造工艺、零部件增材修复工艺、以及装备及质量检测的整套成果应用示范，培养一批高水平人才队伍，建立相关产业基地。

(2) 具体目标。实现船用空间曲面部件、螺旋销、轴瓦、箱式热交换器、螺旋桨等 ≥ 5 件的典型功能部件的增材制造，形成制造工艺规范 ≥ 3 份，相关成果在船舶开发、验证、制造和维修等环节进行示范应用。

6. 轨道交通领域应用示范

(1) 环节描述及任务。针对轨道交通领域，在开发、零部件修复和测试过程中开展增材制造技术应用示范，形成高性能金属增材制造材料、工艺、装备及质量检测的整套成果应用示范体系，培养一批高水平人才队伍，建立相关产业基地。

(2) 具体目标。实现轨道交通领域 ≥ 5 件典型功能部件的增材制造，加速在研发过程中的试制、试验验证工作；相对传统制造工艺，减重20%以上，制造效率提升50%，成本降低50%，典型构件综合力学性能（室温拉伸、冲击，疲劳，高温拉伸，高温蠕变等）超过对应铸件水平，接近锻件水平。实现增材修复技术应用到铁路配件修复中，尤其是柴油机机体、曲轴、凸轮轴等高价值品的修复工作。形成制造工艺规范 ≥ 3 份。

7. 核电领域应用示范

(1) 环节描述及任务。针对核电领域蒸汽发生器、稳压器、换热器等高精度复杂结构件，以及压力容器等大型复杂零部件，在开发测试过程中开展增材制造技术应用示范，形成高性能金属增材制造材料、工艺、装备及质量检测的整套成果应用示范体系，培养一批高水平人才队伍，建立相关产业基地。

(2) 具体目标。实现核电领域 ≥ 3 件典型功能部件的增材制造，加速在研发过程中的试制、试验验证工作；相对传统制造工艺，减重20%以上，制造效率提升50%，成本降低50%，典型构件综合力学性能（室温拉伸、冲击，疲劳，高温拉伸，高温蠕变等）达到对应锻铸件水平。形成制造工艺规范 ≥ 3 份。

三、咨询电话

西安增材制造国家研究院有限公司 王 磊 029-83395066

中国企业联合会 杨秀丽 010-68702166

中国兵器工业新技术推广研究所 李 熙 010-68962125

附：高性能难熔难加工合金大型复杂构件增材制造（3D 打印）
“一条龙”应用计划申报书

附

高性能难熔难加工合金大型复杂构件增材制造
(3D 打印) “一条龙” 应用计划申报书

企业名称: _____

项目名称: _____

责任人(法人代表): _____

项目技术负责人: _____

实施年限: 20____年____月至 20____年____月

填报日期: 20____年____月____日

中华人民共和国工业和信息化部制

二〇 年 月

