

《增材制造 多光束粉末床熔融设备技术规范》团体标准编制说明

(征集意见稿)

一、工作简况

1 任务来源

本团体标准《增材制造 多光束粉末床熔融设备技术规范》是来源于 2020 年国防科工局 XX 工程“XXXX 增材制造”项目。根据中国机械制造工艺协会《关于印发 2022 年度第二批团体标准立项的通知》（中国工艺协会[2022] 第 12 号）文件要求，由中国机械制造工艺协会标准化委员会提出并归口，负责起草单位：西安增材制造国家研究院有限公司、西安交通大学、北京动力机械研究所、西安铂力特增材技术股份有限公司、重庆大学、华中科技大学中国航发动力股份有限公司西安航天发动机有限公司等。

2 主要工作过程

(一) 预研阶段

2021 年 5 月，西安增材制造国家研究院有限公司按照中国机械制造工艺协会团体标准相关要求，联合西安交通大学、北京动力机械研究所、西安铂力特增材技术股份有限公司、华中科技大学、中国航发北京航空材料研究院、中国航发动力股份有限公司等单位，成立了“增材制造 多光束粉末床熔融设备技术规范”团体标准制定起草工作组，开展标准预研工作。

2021 年 6 月~2022 年 4 月期间，工作组对国内外相关标准情况初步分析，在西安增材制造国家研究院有限公司、京动力机械研究所、西安铂力特增材技术股份有限公司、中国航发北京航空材料研究院、中国航发动力股份有限公司、安航天发动机有限公司、无锡市产品质

量监督检验院、等典型企业和研究机构进行调研和需求分析，完成标准草稿的编制。

（二）起草（草案、调研）阶段

2022年4月26日计划下达后，根据中国机械制造工艺协会《关于印发2022年度第二批团体标准立项的通知》（中国工艺协会[2022]第12号）文件要求，2022年5月8日，以视频会议形式组织召开了《增材制造 多光束粉末床熔融设备技术规范》团体标准第一次讨论会，西安增材制造国家研究院有限公司、西安交通大学、北京动力机械研究所、西安铂力特增材技术股份有限公司、华中科技大学、中国航发北京航空材料研究院、中国航发动力股份有限公司、武汉锐科光纤激光技术股份有限公司、西安航天发动机有限公司12家单位的18名专家出席了会议。会上，标准起草单位汇报了标准的编制过程和主要内容，各位与会专家就标准的技术内容进行了认真地研讨，形成了讨论意见和建议。起草工作组根据试验数据和第一次讨论会的专家意见和建议，对标准内容进行了调整和认真的修改完善。

2022年6月-12月，分析现有多光束粉末床熔融设备的标准、技术等资料，以多光束粉末床熔融设备发展现状为基础，按照GB/T 1.1—2020要求，结合专家意见，初步形成《增材制造 多光束粉末床熔融设备技术规范》的标准内容框架。

2023年1月-5月，以前期资料整理工作为基础，以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》为编写规则，针对激光粉末床熔融GH3536合金技术，技术要求包括：外观、光路系统、成形室、机械与运动系统、空运转试验和负载运转试验，分别研究确定技术要求和检验方法，从而确定《团体标准 增材制造 多光束粉末床熔融设备技术规范》标准草案。

2023年3月29日，4月25日与5月13日，工作组分别召开三次标准草案视频研讨会，对标准草案内容进行讨论并完善。工作组根据专家意见及调研的不断深入，对标准草稿进行了持续修改。2023年5月22日，工作组通过视频会议方式召开标准讨论会，对标准草案、标准研究报告、标准验证方案进行了讨论和任务分工，会后，工作组对标准内容进行了修改和完善。2023年6月1日，在西安组织召开了专题会，会议对标准研制过程中遇到的问题和困难进行了交流，会后根据专家意见形成标准征集意见稿。

（三）征求意见阶段

（四）审查阶段：

3 主要参与起草单位和起草人及分工

本标准由西安增材制造国家研究院有限公司、西安交通大学、北京动力机械研究所、西安铂力特增材技术股份有限公司、重庆大学、华中科技大学、中国航发动力股份有限公司、西安航天发动机有限公司等共同起草。

主要成员：陈祯、谢国印、邹亚桐、白洁、杨东辉、魏青松、杨欢庆、侯颖

所作的工作：陈祯担任起草工作组召集人，全面协调标准起草工作。陈祯、谢国印、邹亚桐、白洁、杨东辉负责标准资料的收集和标准草案书写工作，魏青松、杨欢庆、侯颖负责标准的总体校核和指导编写工作，陈祯、邹亚桐、谢国印负责收集、分析国内外相关技术文献和资料，结合实际应用经验，对标准内容进行归纳和总结。

本标准牵头单位西安增材制造国家研究院有限公司，西安增材制造国家研究院有限公司是国家增材制造创新中心的依托单位和承载主体。由西安交通大学、北京航空航天大学、西北工业大学、清华大

学和华中科技大学 5 所大学及增材制造装备、材料、软件、生产及研发的 13 家重点企业等共同组建。国家增材制造创新中心作为工信部首批布局的国家制造业创新中心，以国家战略目标和制造业创新发展为导向，瞄准重大设备、重要材料、关键工艺、核心软件、核心元器件等前沿共性关键技术，创新技术，转化技术，孵化技术，通过多学科交叉创新和“政产学研金用”协同创新，打造完整创新链、产业链，带动整个制造业的转型升级，服务中国制造强国战略。作为我国高端制造业领域首批筹建的国家级创新中心，积极致力推进产业创新能力建设，推进以增材制造创新技术加快形成发展制造业的新动力，为推动中国制造由大变强提供战略支撑。汇聚了国内外高端人才及国家重点实验室等科研资源，重点建设研发中试平台、公共测试平台、共性技术服务平台、双创成果转化基地、人才培养基地，形成集技术开发中试、公共测试、制造服务产业孵化、投融资和人才培养于一体的具有支撑行业发展的创新中心。形成面向用户提供工艺技术解决方案、中试验证、检验检测等一站式服务能力。

二、标准编制原则及主要内容

1. 标准编制原则

(1) 原则性：本标准按照 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》的要求编写，综合考虑生产企业的能力和用户的利益，寻求最大的经济、社会效益，充分体现了标准在技术上的先进性和合理性。

(2) 适应性：本标准适用于以金属粉末为成形材料的双激光束及以上的激光粉末床熔融设备的设计者及其管理者、学习机械设计和计算机辅助设计的学生、增材制造设计和设计指导系统的开发者。有助于确定在设计项目中利用哪些设计因素或利用哪些增材制造工艺

的能力。

2. 标准主要内容

本文件规定了多激光束金属粉末床熔融设备的组成，安全防护要求，技术要求，检验方法，标志、包装、运输与贮存。适用于以金属粉末为成形材料的双激光束及以上激光粉末床熔融设备。

2.1 关于第 1 章“范围”

概括了标准的技术内容，规定了标准的适用范围。

2.2 关于第 2 章“规范性引用文件”

本标准引用国家标准 16 项。

2.3 关于第 3 章“术语和定义”

本标准使用的术语和定义主要引用自 GB/T 35351《增材制造 术语》，并界定了增材制造多光束粉末床熔融设备技术规范相关的术语和定义。

2.4 关于第 4 章“设备组成和环境要求”

概括性地介绍了设备组成及环境要求，并以表格的形式介绍了设备组成及功能。主要包括设备的主要组成部分，包括硬件、软件、传感器等，规定各个部分的功能和性能要求，标明设备能够正常工作的温度范围，确定设备在不同湿度和常压条件下的可靠性和性能，对设备在使用过程中可能遭受的振动进行规定，以确保设备的稳定性。

2.5 关于第 5 章“安全防护要求”

安全防护要求是针对特定产品、系统或服务的安全性方面的规定。这些要求的目的是确保在使用、维护或操作设备时，人员、环境和财产都能得到有效的保护。介绍了设备的安全防护要求。

针对激光辐射安全防护，规定了成形室门应有激光安全联锁，确保正常运行时成形室门不能打开。

针对设备使用场所的通风性能,规定了设备周边宜设置氧气浓度检测装置,避免惰性气体泄漏造成缺氧事故。

针对滤芯要求,规定了有效隔绝 0.3 μm 以上颗粒, 10 μm 以上粉尘, 过滤效率不低于 99.99%。

针对视窗玻璃,规定了激光防护等级。

2.6 关于第 6 章“技术要求”

技术要求规定了多光束粉末床熔融设备技术性能方面的规定。确保产品能够满足特定的功能、性能和质量标准。

规定了多光束粉末床熔融设备外观要求。

规定了多光路系统要求,即:多光束光斑尺寸、激光功率稳定性、多光束拼接精度、光路冷却。

规定了成形室要求,即:成形室整体密封性、氧含量控制、风场均匀性、排烟除尘效果。

规定了机械及运动系统要求,即:运动轴数量、运动轴几何精度、运动轴定位精度、承重能力要求。

规定了电气及控制系统要求、空运转试验要求。

规定了负荷运转试验要求,即:加工精度、最大成形效率、成形稳定性。

2.7 关于第 7 章“检验方法”

检验方法描述了多光束粉末床熔融设备技术性能方面的方法和程序。包括确定产品是否满足技术规格、安全标准、性能要求等方面的准则。

规定了检验条件。

规定了多光束粉末床熔融设备外观检验。

规定了光路系统检验。即:光斑尺寸检验、激光功率稳定性检验、

多光束拼接精度检验、激光功率光路冷却检验。

规定了成形室检验。即：成形室整体密封性要求检验、氧含量控制检验、风场均匀性检验、排烟除尘效果。

规定了机械及运动系统检验、电气及控制系统检验、空运转试验检验。

规定了负荷运转试验。即：加工精度、最大成形效率、成形稳定性。

2.8 关于第 8 章“标志”

标志是多光束粉末床熔融设备的标识和标志的规定。

规定了设备铭牌，包括但不限于：设备名称及型号、承重参数、电源、功率、出厂日期或出厂编号、制造厂名称。

规定了警告标志。

2.9 关于第 9 章“包装、运输与贮存”

包装、运输与贮存是多光束粉末床熔融设备在出厂包装、运输和贮存过程中所需遵循的要求，以确保产品的完整性和性能不受损。

三、试验验证情况

本标准通过试验验证平台验证的方式，实现对标准主要技术内容的验证。

（一）试验验证平台验证

1.1 验证用例 1：多激光拼接测试方法及精度

测试工具：校准纸、基板、二次元等。

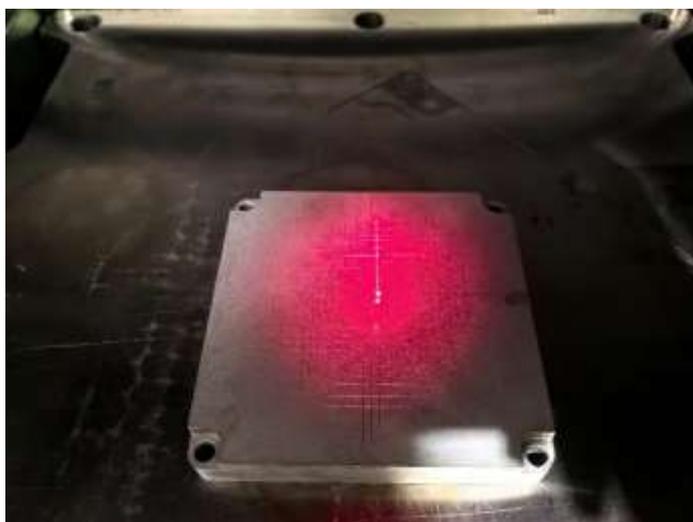
测试方法：使用校准纸粘贴在校准板上（校准纸粘贴需要无明显气泡），测量成型缸 XY 方向中点位置，调整激光 1、2 位置进行初对中；偏移校准激光 1 位置后扫描直线，使用二次元测量两束激光扫描直线夹角，角度值 <0.002 为合格；调整两束拼接激光图形形状为

“十字”，扫描“十字”后使用二次元标定中心线位置，查看中心线中心距离，偏移距离 ≤ 0.02 mm。



(粘贴校准纸)

(修正后角度)



(红光查看)

图 1 多光束拼接精度实验

1.2 验证用例 2：转轴落粉量检测及落粉精度

测试工具：电子秤、A4 纸。

测试方法：使用电子秤放置 A4 纸进行称重，设定好转轴行程和供粉量，开启程序使转轴落粉并用 A4 纸接粉，将 A4 纸收集的粉末放置在电子秤上进行称重，连续采集 12 次称重记录，计算差值绝对值与平均落粉量占比，偏差 $\leq 5\%$ 为合格。



图 2 粉末测试

钛合金的粉末松装密度为 $3\text{g}/\text{cm}^3$												绝对值	
次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
粉末重量 (g)	8.4	8.6	8.4	7.8	7.8	8.2	8.6	8.4	8.4	8.4	7.8	8	0.26
粉末体积 (mm^3)	2800	2867	2800	2600	2600	2733	2867	2800	2800	2800	2600	2667	87.08

(粉末重量计算)

1.3 验证用例 3: 刮刀运动精度和铺粉厚度检测

铺粉臂对缸面平行度测试

测试工具: 数显千分表

测试方法: 安装数显千分表在铺粉臂上测量与缸平面数值, 根据表格位置测试并记录当前千分表显示数值, 要求极限偏差 $<40\mu\text{m}$ 。

表 2 铺粉臂对缸面平行度测试数据

测试位置 (mm)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	极限偏差 (μm)
左边(读数)	0	0.009	0.013	0.019	0.020	0.022	0.023	0.027	0.030	0.034	0.037	37

右边(读数)	0	0.009	0.015	0.018	0.022	0.024	0.025	0.028	0.030	0.032	0.035	35
备注：位置中+Y、-Y 分别表示成型缸前半部分与后半部分（前半部分为靠近铺粉台位置）												
检测器材：数显千分表（精度为 0.001mm）												

升降系统垂直度测试

测试工具：游标卡尺、数显千分表

测试方法：**Z**轴下降的实际深度误差检测：手动点位降低 10mm，实测下降实际值，使用游标卡尺进行测量精确小数点后两位（不包含基板的高度），要求全行程范围极限偏差 $<100\mu\text{m}$ 。**Z**轴升降垂直度检测：固定千分表，**Z**轴下降时分段检测顶伸轴 **X** 向、**Y** 向垂直度数据。

表 3 升降系统垂直度测试数据

类别	测试位置 (mm)	-X 读数	X 读数	-Y 读数	Y 读数
升降系统	0	0	0	0	0
	50	0.004	-0.004	0.006	-0.003
	100	-0.008	-0.007	0.011	0.002
	150	-0.017	-0.031	0.014	0.005
	200	-0.021	0.002	0.012	0.018
	250	-0.025	0.023	0.016	0.024
	300	-0.031	0.056	0.020	0.035
	350	-0.037	0.047	0.024	0.026
	400	-0.042	0.012	0.022	0.024
极限偏差 (μm)		42	60	24	38

刮刀运动精度

测试工具：数显千分表

测试方法：使用千分表对刮刀不同位置进行测量，记录各位置高度，计算最大偏差值 $<0.05\text{mm}$ 。



图 3 测试用刮刀结构

表 4 刮刀精度测试数据

测量位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量高度 (mm)	0	0.02	-0.01	0.01	0.03	0.02	-0.01	0.02	0.02	0.01

铺粉厚度误差

测试工具：光栅尺

测试方法：升降自带光栅检测功能

光栅尺精度检测：测试层厚 50 μ m，测试间隙补偿 200，层延时 500，测试次数 7000，层报警 2，累计报警差值 15，100mm 合理误差 5 μ m。

层数	运动前编码器	运动后编码器	运动前光栅	运动后光栅	层编码差值	层光栅差值	理论累计行程	累计编码器	累计光栅行程	累计光栅行程差
895	44750.0	44800.0	5926.0	5975.5	50.0	49.5	44800.0	44800.0	44801.5	1.5
894	44699.9	44750.0	5875.5	5926.0	50.0	50.5	44750.0	44750.0	44752.0	2.0
893	44650.0	44699.9	5825.5	5875.5	50.0	50.0	44700.0	44699.9	44701.5	1.5
892	44599.9	44649.9	5776.0	5825.5	50.0	49.5	44650.0	44649.9	44651.5	1.5
891	44549.9	44599.9	5726.0	5776.0	50.0	50.0	44600.0	44599.9	44602.0	2.0
890	44499.9	44549.9	5675.5	5726.0	50.0	50.5	44550.0	44549.9	44552.0	2.0
889	44450.0	44499.9	5626.0	5675.5	50.0	49.5	44500.0	44499.9	44501.5	1.5
888	44400.0	44450.0	5576.0	5626.0	50.0	50.0	44450.0	44450.0	44452.0	2.0
887	44350.0	44400.0	5525.5	5576.0	50.0	50.5	44400.0	44400.0	44402.0	2.0
886	44299.9	44349.9	5476.0	5525.5	50.0	49.5	44350.0	44349.9	44351.5	1.5
885	44249.9	44299.9	5426.0	5476.0	50.0	50.0	44300.0	44299.9	44302.0	2.0
884	44199.9	44249.9	5375.5	5426.0	49.9	50.5	44250.0	44249.9	44252.0	2.0
883	44149.9	44199.9	5326.0	5376.0	50.0	50.0	44200.0	44199.9	44202.0	2.0

图 4 铺粉误差测试

1.4 验证用例 4： 风场测试方法及误差

测试工具：美纹纸、笔、钢尺、风速仪

测试方法：使用美纹纸根据表格纵向位置粘贴，使用钢尺和比划分测试点位置，设备除氧风机启动后，降低舱内压力值，通过手套箱使用风速仪记录风场测试点数值，纵向 AVEDEV 数值 ≤ 0.2 为及格，横向 AVEDEV 数值 ≤ 0.3 为及格。

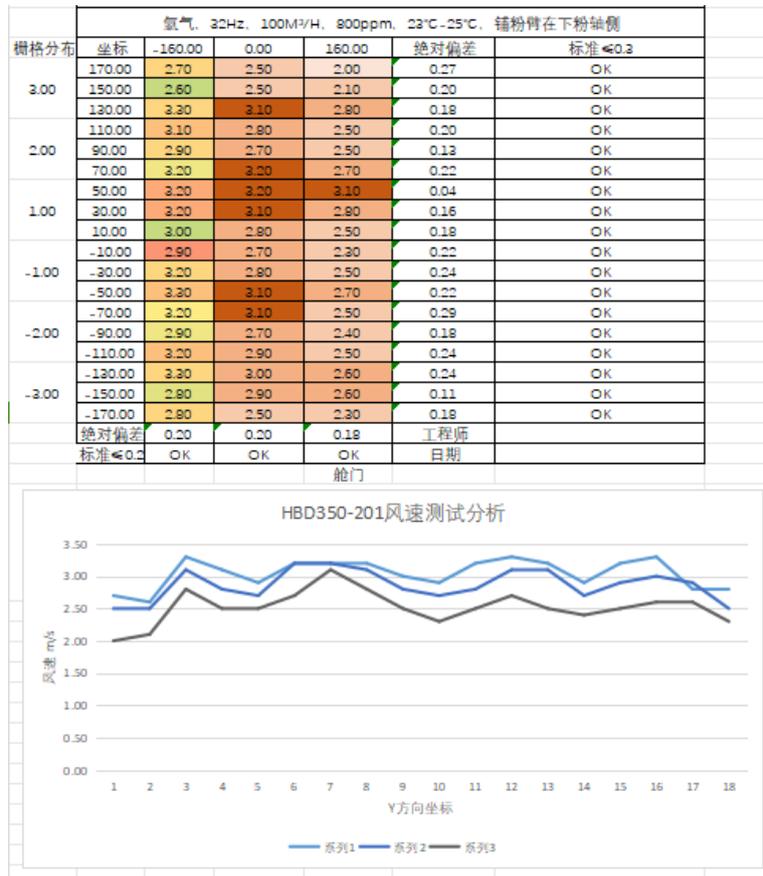


图 5 风场均匀性测试数据

通过验证,说明本标准涉及的指标,设计合理,代表了行业水平。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

本标准所涉及的多光束粉末床熔融设备以其高速成形和卓越的

表面质量而脱颖而出，成为当前增材制造领域最迅速发展和商业化成功的 3D 打印设备之一。国内运用这类设备的几乎 100%都是国产设备，目前国内的出货量已超过万台，且逐年增加，具备高利用率和卓越产品质量的特性。在模具、医疗器械、文创等领域，这一技术有着广泛的发展前景。然而，由于多光束粉末床熔融设备技术近年来取得长足进展，国内生产中却缺乏一个恰当的标准，导致产品质量良莠不齐，为用户的选型、购买、使用带来了困扰，不利于该行业的发展。多年来，多光束粉末床熔融设备的应用已经扩展到增材制造行业的所有制造商，产量也在逐年增加，提升产品质量迫在眉睫。因此，制定标准将有助于该行业有序地发展和竞争。

多光束粉末床熔融技术是我国研究较早、技术及应用较为成熟的增材制造技术之一。该技术主要采用粉末材料，通过多束激光照射、熔融成形，逐层固化最终获得完整的产品。其成形速度快、原型精度高，广泛应用于工业设计、模具开发、生物医疗等领域，具备显著的经济效益和发展潜力。目前，国内的多光束粉末床熔融设备在各个方面均达到了国际先进水平，并且通过多年的快速发展，迫切需要建立一套行之有效的标准和规范，以整合生产厂商和科研院所的研发力量，规范多光束粉末床熔融技术的发展方向，推动国内技术的快速升级和迭代。

在深入分析国内多光束粉末床熔融技术的现有技术水平后，制定多光束粉末床熔融设备技术规范，并进行关键标准的研究与论证，构建完整的多光束粉末床熔融设备的安全要求、技术指标、检测方法，为后续标准的进一步提升奠定基础。对社会效益和产业发展的重要作用概述如下：

(1) 解决目前多光束粉末床熔融设备行业内开发与设计、制造与

验收过程中标准滞后的问题；

(2) 引导多光束粉末床熔融设备制造企业关注标准、规范生产，促进产品质量提升和产业技术进步；

(3) 有助于买卖双方了解多光束粉末床熔融设备产品的质量和性能要求；

(4) 对产品制造、检验等方面进行规范，维护消费者（买方）的权益；

(5) 为相关应用单位和检验单位提供技术参考，确保设备的安全性和先进性；

(6) 推动多光束粉末床熔融设备的蓬勃发展，为增材制造行业的规范提供重要支持，推动我国增材制造产业的进程和在国际竞争中的地位。

六、与国际、国外同类标准水平的对比情况

无国际、国外同类标准。

七、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

本标准与我国的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

在标准制定过程中，尚无出现未采纳的重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

建议按推荐性团体标准发布。

十、贯彻标准的要求和措施建议

标准发布后通过互联网、发布会等公告标准发布信息，组织开展标准的宣贯，介绍标准的特点、产品要求、试验方法和实施情况等，让用户、企业等深入了解该标准，从而使标准得到更好的贯彻和实施。

建议发布后立即实施。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其他

无。

标准编制组

2023年12月20日