

国家标准《增材制造 粉末床熔融铝合金》

（讨论稿）

编制说明

1 工作简况

1.1 任务来源

根据《国家标准化管理委员会关于下达 2024 年第一批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2024〕16 号）文的要求，国家标准《增材制造 粉末床熔融铝合金》由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）和全国增材制造标准化技术委员会（SAC/TC 562）归口管理，由中车工业研究院有限公司负责起草。项目计划编号为：20240532-T-610。按计划要求，本标准应在 2025 年完成。

1.2 主要工作过程

1.2.1 起草阶段

根据《国家标准化管理委员会关于下达 2024 年第一批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2024〕16 号）文的要求，2024 年 3 月全国有色金属标准化技术委员会（以下简称“标委会”）在工作会议上进行了任务落实，成立了《增材制造 粉末床熔融铝合金》国家标准制定起草工作组。2024 年 3-6 月期间，工作组对国内外相关标准情况初步分析，在中车工业研究院有限公司、西北工业大学、西安铂力特增材技术股份有限公司、宁波众远新材料科技有限公司、中国航天科工集团三十一所、沈阳飞机工业（集团）有限公司等典型企业和研究机构进行调研和需求分析，初步搭建了标准的范围、框架和部分内容。

2024 年 7 月 8-9 日，由标委会主持在山西省晋中市召开了本标准的讨论会。会上草案组全体参编单位及专家们对本标准的范围、框架和内容等方面进行了深入讨论和修改。此外，对目标任务进行分解，明确成员的任务要求，制定工作计划和进度安排。

项目自运行以来，项目组积极收集粉末床熔融铝合产品的应用信息、生产、检验数据，调研国内外粉末床熔融铝合产品的科研单位、生产企业的基本情况，开展与标准制定相关的测试工作，并对各类信息进行分析汇总，于 2024 年 X 月完成标准的征求意见稿。

1.2.2 征求意见阶段

2024 年 XX 月 XX 日，标委会将征求意见资料在国家标准化管理委员会的“公共信息服务平台”上挂网，向社会公开征求意见。通过在全国标准信息公共服务平台及电子邮件、通讯软件等方式向委员单位公开征求意见，并将征求意见资料在 www.cnsmq.com 网站上挂网。征求意见的单位包括主要生产、经销、使用、科研、检验等单位及高等院校，征求意见单位广泛且具有代表性，征求意见时间大于 2 个月。

截止 2024 年 XX 月 XX 日，收到 XX 家单位的回函，其中 XX 家单位提出了 XX 条意见。为提高标准质量并及时处理征求意见，2024 年 XX 月 XX 日由标委会主持在 XX 省 XX 市召开了《增材制造 粉末

床熔融铝合金》国家标准的征求意见讨论会，来自中车工业研究院有限公司、西北工业大学、西安铂力特增材技术股份有限公司、宁波众远新材料科技有限公司、中国航天科工集团三十一所、沈阳飞机工业（集团）有限公司、西安国宏天易智能科技有限公司、中南大学、广东省科学院新材料研究所、上海航天精密机械研究所等 XX 家单位 XX 余位专家代表参加了会议。与会代表对这些反馈意见进行整理和分析，并对本标准征求意见稿进行进一步的讨论，最终全部采纳了 XX 条、不采纳 XX 条意见和建议（意见处理详见《国家标准征求意见汇总处理表》），于 2024 年 XX 月 XX 日形成标准审定稿。

1.2.3 审定阶段

2024 年 XX 月 XX 日，标委会在 XX 省 XX 市召开了《增材制造 粉末床熔融铝合金》国家标准的送审稿审查会，应出席委员 XX 人，实际出席委员 XX 人（委员出席率 XX%），满足标准审查会的要求。会议在听取标准起草工作组对本标准研制背景、编制说明、征求意见及意见处理情况汇报的基础上，对标准送审稿进行了质询，提出了 XX 条修改意见和建议，全部采纳（见《国家标准送审稿审查意见及结论》）。会议一致同意通过标准审查。

1.2.4 报批阶段

2024 年 XX 月 XX 日，工作组按照审查意见对标准送审稿做了进一步的修改、整理和完善，于 2025 年 XX 月 XX 日，在全体委员（共 XX 人）范围内进行网上投票。截止 2025 年 XX 月 XX 日，XX 人参与投票，占总数的 XX%，超过总委员数的 3/4；赞成数 XX 票，占回函数的 XX%，超过回函数的 2/3；弃权数 XX 票，占回函数的 XX%；不赞成数 XX 票，占回函数的 XX%，低于回函数的 1/4。符合国家标准管理办法要求，通过投票。因无专家意见，工作组于 2025 年 XX 月 XX 日形成了标准报批稿、编制说明及其他相关文件，报至标委会。

1.3 承担单位情况

中车工业研究院有限公司（简称“中车研究院”）是中车集团直属的以“服务+管理”为主运行模式的特设机构，是一个具有优秀管理能力和研发能力的高端人才队伍。研究院以轨道交通装备为主，重要的前瞻性、基础性、共性技术及行业核心技术研发，且辐射其他领域；承担着产品体系和产品技术平台的规划和建设，为建设中国中车战略性产品“探索一代，预研一代”的产品研发能力为基础，形成“研制一代和装备一代”的产品研发能力为目标，在中国轨道交通技术研发中发挥着统领作用。研究院承担着科技发展战略与规划研究，管理国家研发机构、海外研发中心、研究院分院、各类联合创新机构等科技创新相关组织，承担着科技创新公共资源投资主体职责，为全集团提供技术服务，基于产品的应用技术，解决产品设计和制造问题的关键技术，实现与创新中心的高效无缝对接，具有非常强大的科研实力和广阔的领域资源，是未来规划的引领者，创新活动的组织者，也是公共服务的提供者。

研究院主要技术研究领域涉及先进成形、新材料、新能源、智能制造、智能产品及产品平台等技术研究领域。其中，先进成形技术研究室承担着轨道交通装备关键零部件先进成形、实/试验验证装备基础研究和相关工程技术研究工作，实现先进制造技术全球持续引领的战略性研究平台。目前，团队已围绕先进成形技术方向开展了粉末床熔融高性能铝合金技术、激光定向能量沉积和修复技术、列车车轴激光

熔覆技术、激光增材-微锻一体化技术、搅拌摩擦固态增材和修复技术、电弧熔丝增材技术、数据库建立及标准化技术等研究，建立起了从原理概念提出、基础技术研究到工程应用技术开发的，较为完善的装备研究平台。团队基于轨道交通增材制造和再制造技术战略目标，形成了从增材制造和增材修复专用钢/铝合金材料验证、工艺验证和仿真优化、专用装备样机设计和搭建到样件检验检测的全技术链条和工程验证中心。以上工作至今获得省部级科技一等奖 1 项，二等奖 2 项，地市级一等奖 2 项，二等奖 4 项；发明专利 30 余项，发表学术论文 20 余篇。主持/参与国家项目 2 项，主持中车集团重大专项 2 项，中车重点项目 5 项，院级项目 6 项，项目制项目 2 项。

就铝合金增材制造和增材修复而言，已进一步形成“增材制造/修复高性能铝合金材料设计-粉末制备-设计仿真-成形与修复工艺-工程应用-标准化”的全链条研发、验证和工程技术服务能力。主要技术成果包括：①对标国外先进铝合金产品，从合金成分设计内在因素出发解决卡脖子技术难题，形成了兼具阻裂与强塑性高度匹配材料设计方法、批次稳定的增材制造/增材修复新型高强阻裂铝合金材料。主要包括不同强度等级的高收得率、高球形率、低氧、低空心粉率的粉末和成分均匀的丝材，强度等级覆盖 350-600MPa，延伸率覆盖 25%-5%，贵稀土元素含量覆盖 0.1%-0.8%。其中，增材制造高强度铝合金（CRRC-HAP-01）材料具有完全自主知识产权的新一代低氧含量、高球形度、低空心粉率、高松装密度，抗拉强度 $\geq 550\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 520\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 12\%$ ，且各向疲劳强度 $\geq 220\text{MPa}$ 。目前已批量商业化；开发了 250℃下高温强度超过 200MPa 的 AlCrSc 耐高温铝合金粉末；②攻克了配套复杂结构、可工程化的激光和电弧增材制造/增材修复控形控性成形技术。技术指标：致密度 99%~99.9%，低缺陷、（近）零裂纹，性能优异。其中，粉末床熔融 AlMgSc 制件具优异的高强塑性、细等轴晶、各向同性、高疲劳的性能；铝合金修复件缺陷含量 $\leq 0.5\%$ ，强度 $> 320\text{MPa}$ ，内部质量达铸件检测 I 级指标要求，并形成了修复质量评价技术规范。③成功实现了立足于轨道交通，辐射于航空航天、轨道交通等其他高端装备制造领域多种复杂精密/高附加值损伤工程样件的增材制造/增材修复和工程应用验证。增材制造和修复零件目前已在高铁、机车等轨道交通装备应用考核 1 年，在轨道交通领域中多场景下获得良好的工程应用示范，圆满完成了当前轨道交通领域亟待攻克的重要基础研究任务，并拓展了高性能铝合金增材制造技术在轨道交通领域的应用。此外，平台具备小批量稳定制定产品的能力；④形成了智能化增材制造和再制造数据库管理系统，主笔编撰了中国中车集团标准体系建设专项-增材制造工艺技术部分。主持/参编相关国家标准 5 项、团体标准 6 项及中车集团标准 3 项。上述技术推动着中国中车自主掌握核心关键技术，面向轨道交通领域的实际应用场景及需求，将增材制造和再制造技术不断研发、不断熟化，向商品化、产业化转化，并不断迭代和升级应用，为国内轨道交通以及航空航天等其他高端装备制造技术的高性能轻量化发展和降本增效提供有力支撑。

1.4 参编单位及主要起草人工作情况

各参编单位及标准主要起草人分工见表 1。

表 1 参编单位及分工

序号	主要起草人	参编单位	分 工
1			

2			
3			
4			
5			
6			
...			

2 标准编制原则和主要内容

2.1 标准编制原则

1) 本标准按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。综合考虑生产企业的能力和用户的需求、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) 本标准反映了当前国内商业化粉末床熔融铝合金产品的生产水平，便于生产，并符合增材制造行业的市场应用需求，具有指导作用，并能规范市场。

2.2 标准主要内容

2.2.1 范围

本文件规定了以 AlSi7Mg、AlSi10Mg 及 AlMgSiMnScZr 为主的粉末床熔融铝合金的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存、随行文件和订货单内容。

本文件适用于粉末床熔融工艺制造的铝合金产品。

2.2.2 术语和定义

本标准中术语和定义参考 GB/T 35351 的规定。

2.2.3 产品等级

本标准中涉及的粉末床熔融铝合金产品按 GB/T 35022 要求分为三个等级：H—工程用重要零件（安全优先）；M—非安全优先的功能零件；L—设计或原型阶段零件。不同等级产品的性能测试项目按 GB/T 35022 要求进行。

2.2.4 技术要求和检验规则

2.2.4.1 原材料

本标准中产品的原材料为增材制造用 AlSi7Mg、AlSi10Mg 及 AlMgSiMnScZr 铝合金粉。其化学成分、粒度分布、松装密度、振实密度、流动性、平均球形度、空心粉率和表面质量等技术指标应符合 GB/T xxx《增材制造用铝合金粉》的规定，质量由供方保证。

2.2.4.2 基板

产品成形过程中选用的基板应符合 GB/T 3880 的要求。

2.2.4.3 热处理

为降低增材制造过程中的热应力、通过调控组织改变产品的性能，产品需进行热处理。热处理方法按GB/T 39247《增材制造 金属制件热处理工艺规范》的规定进行。参编单位产品的化学成分测试结果统计如表2所示。

表 2 热处理工艺制度

材料牌号	热处理工艺制度
AlSi7Mg	(200~300)°C±10°C，保温（1~2）h，空气冷却。
AlSi10Mg	按 GB/T 39247 中 6.6.3 的规定进行。
AlMgSiMnScZr	(280~350)±10°C，保温（4~10）h，空气冷却。
	热等静压 HIP：（280~350）±10°C，150-180MPa，保温（1~4）h，炉冷到 100°C，空气冷却。

2.2.4.4 供应状态

产品供应前应经过粉末清理、基材分离、支撑去除、热处理和表面处理。供应状态可为沉积态、去应力退火态或热等静压态。需方对最终成形零件供应状态有特殊要求时，应由供需双方协商确定，并在订货单中注明。

2.2.4.5 化学成分

材料在粉末床熔融过程中，Mg 等部分元素因激光产生烧损现象，导致产品成分与原材料成分产生偏差，元素的烧损程度影响产品的致密度及性能。因此，需要对产品的化学成分进行规定。产品的化学成分测试方法依据 GB/T XXX《增材制造用铝合金粉》的规定进行。参编单位产品的化学成分测试结果统计如表 3 所示。

表 3 化学成分

牌号	化学成分（质量分数）/%																
	主元素					杂质元素，不大于											
AlSi7Mg	Al	Mg	Si	Sc	Zr	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Pb	Zn	Sn	Be	O	N	H
	余量	0.45~0.75	6.50~7.50	-	-	0.25	0.30	0.20	0.05	0.05	0.05	0.012	0.05	0.01	0.065	0.05	0.005
单位 1																	
单位 2																	
单位 3																	
单位 4																	
单位 5																	
单位 6																	
单位 7																	
...																	
最大值 Max																	
最小值 Min																	
平均值																	
标准差 s																	
变异系数 Cv																	
样本数 n																	
批数																	
AlSi10Mg	主元素					杂质元素，不大于											
	Al	Mg	Si	Sc	Zr	Mn	Fe	Ni	Cu	Pb	Zn	Sn	Ti	Be	O	N	H
	余量	0.17~0.50	9.0~11.0	-	-	0.10	0.20	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.15	-	0.10	0.10	0.05
单位 1																	
单位 2																	
单位 3																	
单位 4																	
单位 5																	

单位 6																	
单位 7																	
...																	
AlMgSiScZr	主元素						杂质元素，不大于										
	Al	Mg	Si	Sc	Zr	Mn	Fe	Ni	Cu	Pb	Zn	Sn	Ti	Be	O	N	H
	余量	4.0~9.0	0.02~1.0	0.4~1.0	0.2~0.8	0.2~0.8	0.55	0.10	0.05	0.05	0.10	-	0.10	-	0.10	0.01	0.008
单位 1																	
单位 2																	
单位 3																	
单位 4																	
单位 5																	
单位 6																	
...																	
最大值 Max																	
最小值 Min																	
平均值																	
标准差 s																	
变异系数 Cv																	
样本数 n																	
批数																	

2.2.4.5 相对密度

粉末床熔融铝合金产品的相对密度是致密度的体现，尤其是影响产品力学性能的重要因素。相对密度的获取首先测定其真实密度。真实密度的测定依据GB/T 3850《致密烧结金属材料与硬质合金 密度测定方法》的规定进行。如需方对相对密度另有要求，可供需双方协商，并在合同中注明。

参编单位产品的相对密度的实测结果统计如表 4 所示。

表 4 相对密度

产品等级		相对密度/%		
		AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMnScZr
H	单位 1			
	单位 2			
	单位 3			
	...			
M	单位 1			
	单位 2			
	单位 3			
	...			
L	单位 1			
	单位 2			
	单位 3			
	...			

2.2.4.6 尺寸及允许偏差

产品的尺寸采用精度的量具测量，测试方法依据 GB/T 1182《产品几何技术规范（GPS） 几何公差形状、方向、位置和跳动公差标注》和 GB/T 1800.1《产品几何技术规范（GPS） 极限与配合第 1 部分：公差、偏差和配合的基础》的规定进行。允许偏差及检验位置方法由供需双方协商确定。

2.2.4.6 显微组织

产品的显微组织直接影响着产品的质量和性能。显微组织的检测依据 GB/T 3246《变形铝及铝合金制品组织检测方法》的规定进行。参编单位产品的显微组织实测结果统计如表 5 所示

表 5 显微组织

产品等级			显微组织		
			AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMnScZr
H 要求	单位 1	XY			
		XZ			
	单位 2	XY			
		XZ			
M 推荐	单位 1	XY			
		XZ			
	单位 2	XY			
		XZ			
L 无要求	单位 1	XY	-	-	-
		XZ	-	-	-
	单位 2	XY	-	-	-
		XZ	-	-	-

2.2.4.7 力学性能

2.2.4.7.1 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力，它是衡量材料软硬的重要指标。产品的硬度主要包括布氏硬度和维氏硬度，其测试方法分别按 GB/T 231.1《金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法》和 GB/T 4340.1《金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法》的规定进行。参编单位产品的硬度实测结果统计如表 6 所示。

表 6 硬度

产品等级		维氏硬度 HV			布氏硬度 HB		
		AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMnScZr	AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMnScZr
H	单位 1						
	单位 2						
	单位 3						
	...						
M	单位 1						
	单位 2						
	单位 3						
	...						
L	单位 1						
	单位 2						
	单位 3						
	...						

2.2.4.7.2 拉伸

在工程应用中，拉伸性能是结构静强度设计的主要依据。产品的室温拉伸测试依据 GB/T 228.1《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》的规定进行。参编单位产品的拉伸实测结果统计如表 7 所示。

表 7 室温拉伸

性能 材料 产品等级	取样 方向	抗拉强度 R_m /MPa			规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ /Mpa			断后伸长率 A /%			断面收缩率 Z /%		
		AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMn ScZr	AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMn ScZr	AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMn ScZr	AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMn ScZr
H	XY	≥ 260	≥ 280	≥ 520	≥ 180	≥ 200	≥ 490	≥ 8	≥ 8	≥ 8	≥ 10	≥ 10	≥ 10
	Z	≥ 240	≥ 260	≥ 510	≥ 170	≥ 190	≥ 480	≥ 8	≥ 8	≥ 8	≥ 10	≥ 10	≥ 10
M	XY												
	Z												
L	XY												
	Z												
注：如需方对拉伸性能有特殊要求，可由供需双方协商确定。													

性能试样的取向定义如图 1 所示。

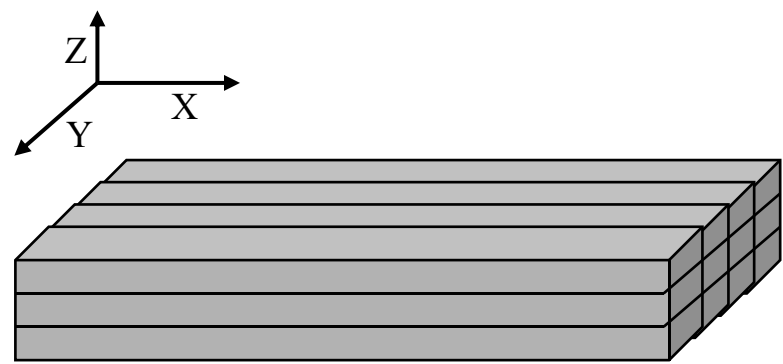


图 1 性能试样取向定义示意图

2.2.4.7.3 冲击

韧性是金属材料重要的性能指标之一，体现了金属材料的强度、塑性，韧性越好，金属材料越不易发生脆性断裂。韧性包括断裂韧性和冲击韧性。冲击韧性是金属材料在受到冲击载荷作用下在断裂过程中吸收的能量，反映金属材料的韧脆程度。产品的室温冲击韧性测试依据 GB/T 229《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》的规定进行。参编单位产品的室温冲击实测结果统计如表 8 所示。

表 8 冲击

产品等级			A/J		
			AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMnScZr
H 要求	单位 1	XY			
		XZ			
	单位 2	XY			
		XZ			
M 要求	单位 1	XY			
		XZ			
	单位 2	XY			
		XZ			
L 推荐	单位 1	XY			
		XZ			
	单位 2	XY			
		XZ			

2.2.4.7.4 高周疲劳

金属疲劳是材料、构件在循环应力或循环应变作用下，在一处或几处逐渐产生局部永久性累积损伤，经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程。当材料和结构受到多次重复变化的载荷作用后，应力值虽然始终没有超过材料的强度极限，甚至比弹性极限还低的情况下极可能发生破坏，这种在交变载荷重复作用下材料和结构破坏现象，叫金属疲劳。机械部件的破坏很大比例是由疲劳引起的，它是机械构件的致命杀手，是部件失效的主要原因之一。产品的室温高周疲劳（ $kt=1$ ）测试按 HB 5287《金属材料轴向加载疲劳试验方法》的规定进行。参编单位产品的室温高周疲劳实测结果统计如表 9 所示。

表 9 室温高周疲劳强度

产品等级			试验条件： $kt=1$ ， ... 疲劳强度/MPa		
			AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMnScZr
H 要求	单位 1	XY			
		XZ			
	单位 2	XY			
		XZ			
M 无要求	单位 1	XY	-	-	-
		XZ	-	-	-
	单位 2	XY	-	-	-
		XZ	-	-	-
L 无要求	单位 1	XY	-	-	-
		XZ	-	-	-
	单位 2	XY	-	-	-
		XZ	-	-	-

2.2.4.7.5 断裂韧性

断裂韧性是指在弹塑性条件下，当应力场强度因子增大到某一临界值，裂纹便失稳扩展而导致材料断裂，这个临界或失稳扩展的应力场强度因子。断裂韧性是结构材料最重要的力学性能之一。增材制造铝合金材料和产品作为先进制造技术的新产物，对断裂韧性的要求更高更严格。产品的断裂韧性测试按 GB/T 42914《铝合金产品断裂韧性试验方法》的规定进行。参编单位产品的室温断裂韧性实测结果统计如表 10 所示。

表 10 室温断裂韧性

产品等级			$K_{IC}/MPa \cdot m^{1/2}$		
			AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMnScZr
H 要求	单位 1	L-T			
		T-L			
	单位 2	L-T			
		T-L			
M 无要求	单位 1	L-T	-	-	-
		T-L	-	-	-
	单位 2	L-T	-	-	-
		T-L	-	-	-
L 无要求	单位 1	L-T	-	-	-
		T-L	-	-	-
	单位 2	L-T	-	-	-
		T-L	-	-	-

2.2.4.7.6 疲劳裂纹扩展速率

疲劳裂纹扩展一般由疲劳裂纹扩展速率 da/dN 表征。疲劳裂纹扩展速率是指在疲劳载荷作用下，裂纹长度 a 随循环次数 N 的变化率，反映裂纹扩展的快慢。疲劳裂纹扩展速率是金属材料及构件含有裂纹体后进行安全服役评价及疲劳寿命评估的一项重要联系性能指标，是损伤容限设计方法的基础，尤其对压力容器的损伤容限设计时，应用广泛。产品的疲劳裂纹扩展速率测试按 GB/T 6398《金属材料 疲劳试验 疲劳裂纹扩展方法》的规定进行。参编单位产品的室温疲劳裂纹扩展速率测试结果统计如表 11 所示。

表 11 室温疲劳裂纹扩展速率

产品等级			$da/dN/mm \cdot cycle^{-1}$		
			AlSi7Mg	AlSi10Mg	AlMgSiMnScZr
H 要求	单位 1	L-T			
		T-L			
	单位 2	L-T			
		T-L			
M 无要求	单位 1	L-T	-	-	-
		T-L	-	-	-
	单位 2	L-T	-	-	-
		T-L	-	-	-
L 无要求	单位 1	L-T	-	-	-
		T-L	-	-	-
	单位 2	L-T	-	-	-
		T-L	-	-	-

2.2.4.7.6 弹性模量和泊松比

弹性模量（ $E=\sigma_{\text{纵向}}/\epsilon_{\text{纵向}}$ ）是指单向应力状态下应力除以该方向的应变（材料在弹性变形范围内，即在比例极限内），作用于材料上的纵向应力与纵向应变的比例常数。衡量材料产生弹性变形的难易程度，用 E 表示，单位 GPa。E 越大，材料刚度越大，在一定应力作用想，发生弹性变形越小。泊松比（ $\nu=-\epsilon_{\text{横向}}/\epsilon_{\text{纵向}}$ ）是指材料在单向受拉或受压时，横向应变与轴向应变比值的绝对值，也叫横向变形系数。泊松比反映材料横向变形的弹性常数，用ν表示。在材料弹性变形阶段，ν是一个常数。金属材料的泊松比一般在 0.25-0.35 之间。产品的弹性模量和泊松比测试按 GB/T 22315《金属材料 弹性模量和泊松比试验方法》的规定进行。参编单位产品的弹性模量和泊松比测试结果统计如表 12 所示。

表 12 弹性模量和泊松比

产品等级			AlSi7Mg		AlSi10Mg		AlMgSiMnScZr	
			弹性模量 E/GPa	泊松比ν	弹性模量 E/GPa	泊松比ν	弹性模量 E/GPa	泊松比ν
H要求	单位 1	XY						
		XZ						
	单位 2	XY						
		XZ						
M无要求	单位 1	XY	-	-	-			
		XZ	-	-	-			
	单位 2	XY	-	-	-			
		XZ	-	-	-			
L无要求	单位 1	XY	-	-	-			
		XZ	-	-	-			
	单位 2	XY	-	-	-			
		XZ	-	-	-			

2.2.4.8 表面质量

- 2.2.4.8.1 产品的外观呈金属色，表面粗糙度 Ra 的测试依据 GB/T 6061.1《表面粗糙度比较样块》的规定进行。Ra 值应满足设计数模或需方文件要求。
- 2.2.4.8.2 产品表面应无目视可见的缺损、掉块等缺陷。
- 2.2.4.8.3 在不超出尺寸允许偏差的前提下，允许采用喷砂、打磨、机加工等方式改善表面质量。
- 2.2.4.8.4 产品表面应清理干净，不应有毛刺、飞边等。产品非加工表面不允许有表面污染；若产品需要机加工，允许存在不超过机加工余量范围且经机加工可以完全去除的表面污染。
- 2.2.4.8.5 产品表面的缺陷检测依据 GJB 2367A《渗透检验》的规定进行。产品表面不允许有裂纹、穿透性缺陷等缺陷。非加工表面和加工后的表面（螺纹表面除外）上允许存在的缺陷应不超过表 13 的规定。有特殊情况时，供需双方协商确定。直径和深度小于 0.3mm 的缺陷不计。非圆孔洞区各项尺寸的平均值作为直径。

表 13 表面质量

质量 级别	受检面 积mm ²	单个孔洞			成组孔洞			线性缺陷			缺陷边沿距轮 廓边沿、孔沿 的最小距离
		最大 尺寸	最大 深度	最多 数量	最大 尺寸	最大 深度	最多 数量	最大 尺寸	最大 深度	最多 数量	
		mm		个	mm		组	mm		个	
I	25×25	高于Ⅱ级									
Ⅱ		0.5	0.5	4	2.5	0.5	2	1.0	0.5	2	5.0
Ⅲ		1.0	1.0	5	3	1.0	2	1.2	0.8	2	4.0

注：如需方对产品的表面质量有特殊要求，可由供需双方协商确定。

2.2.4.9 内部质量

2.2.4.9.1 产品内部应无裂纹、未熔合等线性缺陷和穿透性缺陷。

2.2.4.9.2 产品的内部质量的检测依据 GB/T 19943《无损检测 金属材料 X 和伽马射线照相检测 基本规则》、GB/T 29069《无损检测 工业计算机层析成像（CT）系统性性能测试方法》或 GB/T 29070《无损检测 工业计算机层析成像（CT）检测 通用要求》的规定进行。产品内部的气孔和缩孔等缺陷应不超过表 14 的规定。不允许存在带尖角的气孔和缩孔，不允许存在链状气孔和密集状气孔。不允许存在 X 射线检查可见的夹杂物。

2.2.4.9.3 因结构盲区或检验设备限制生产的无法检验部位，应在无损检测图纸明确，并由技术部和质量部会签。

表 14 内部质量

缺陷	验收标准
单个缺陷最大尺寸 mm	1.5mm 或 $1/3\delta$ （如果小于 0.2mm 时，取 0.2mm），取最小值
缺陷之间最小距离 mm	4D
任何方向 75mm 内气孔的最大累积长度	6.0mm 或 $1/3\delta$ ，取最小值
未熔合	不允许
裂纹	不允许
注 1：D 为最大缺陷尺寸； 注 2： δ 为制件最终或机械加工后的壁厚。	

2.2.5 标志、包装、运输、贮存、随行文件

2.2.5.1 标志

产品的包装上应有如下标志：

- a) 供方质量部门印记；
- b) 产品名称、牌号；
- c) 供应状态；
- d) 产品净重、数量；
- e) 产品批号。

2.2.5.2 包装

产品采用塑料、纸质、木质及其他回收环保材质的袋/盒/箱等包装方式进行包装，具体由供需双方协商确定。包装容器应保证其在运输过程中的完整性，不易破损、受潮，禁止接触外来污染物。

2.2.5.3 运输

产品应在有遮盖物的条件下进行运输，运输过程应防止雨淋受潮，不应剧烈碰撞和机械挤压，搬运过程应轻装轻卸。

2.2.5.4 贮存

产品应贮存在干燥、阴凉、无腐蚀性物质侵蚀的室内，不应与氧化剂、酸类、碱类一起存放。

2.2.5.5 随行文件

每批产品应附有随行文件，其中除应包括供方信息、产品信息、本文件编号、出厂日期或包装日期外，还宜包括：

- a) 产品质量保证书，内容如下：
 - 产品的主要性能及技术参数；
 - 产品特点（包括制造工艺及原材料特点）；
 - 产品各项分析检验结果。
- b) 产品质量控制过程中的检验报告及成品检验报告；
- c) 产品使用说明：搬运、贮存方法等；
- d) 其他。

2.2.5 订货单内容

订购本文件所列产品的订货单至少应包括下列内容：

订购本文件所列产品的订货单至少应包括下列内容：

- a) 产品名称；
- b) 产品牌号；
- c) 产品数量；
- d) 性能要求；
- e) 技术图样；
- f) 本文件编号；
- g) 其他。

2.3 主要内容验证情况分析

主要针对标准内容中的技术指标进行试验，验证给出的标准技术指标点合理性。此部分内容后期验证过程中完善。

3 标准水平分析

3.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，国外无类似产品标准，因此本标准不采用其他国际或国外标准。

3.2 与国际标准及国外同类标准水平的对比

本标准是国内首次起草的增材制造粉末床熔融铝合金产品国家标准，本标准结合当前实际生产水平 and 应用需求，以及成熟企业的企业标准和技术要求，对粉末床熔融铝合金的原材料、基板、热处理、化学成分、相对密度、尺寸及允许偏差、显微组织、硬度、拉伸、冲击、高周疲劳、断裂韧度、疲劳裂纹扩展速率、弹性模量和泊松比、表面质量及内部质量等技术指标，以及产品的标志、包装、运输、贮存、随行文件和订货单内容进行了规定，可以满足我国粉末床熔融铝合金产品需求。

综上所述，本标准的主要技术指标均达国内先进水平。

3.3 与现有标准及制定中的标准协调配套情况

本标准的制订与现有的标准及制订中的标准协调配套，无重复交叉现象。

3.4 涉及国内外专利及处置情况

经过检索，本标准不涉及国内外专利。

4 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与有关的现行法律、法规和强制性国家标准具有一致性，无冲突之处。

5 重大分歧意见的处理经过和依据

无

6 标准作为强制性活推荐性国家（或行业）标准的建议

本标准建议作为推荐性国家标准。

7 贯彻标准的要求和措施建议

本标准建议发布后 6 个月实施。

8 废止现行有关标准的建议

无。

9 其他应予以说明的事项

无。

10 预期效果

轻量化、高性能、降本增效是航空、航天、轨道交通、汽车、电子、武器装备等高端装备制造业追求的永恒主题。铝合金由于其极高的比强度和性价比，仍然是目前航空、航天、轨道交通装备中使用最广泛的轻量化材料。铝合金激光增材制造技术能够结合轻量化仿生结构和铝合金高强轻质的特性，获得零部件最优的轻量化效果。因此，面对上述领域高端装备关键零部件对结构轻量化的迫切需求，世界各国纷纷将“轻质高强材料+结构优化设计”作为本世纪先进制造发展的主题。铝合金激光增材制造技术正在成为解决该领域复杂轻量化构件成形难题的有效手段。例如，以探月、火星探测、空间站建设等为代表我国航天事业正蓬勃发展，铝合金激光增材制造较好地满足了航天领域对材质轻量化、结构镂空轻量化及高性能的迫切需求，因而成为下一代运载火箭、卫星等核心零部件成形的关键技术。因此，该技术在航空航天、轨道交通、武器装备等领域的高端装备中具有广阔的应用前景，成为世界各国的潮流，且占有广阔的市场空间，愈来愈多的高端装备设计师愿意采用增材制造思维从设计端驱动基于功能角度设计零部件，随着增材制造技术发展和市场的成熟，大量铝合金零部件将采用增材制造技术，满足高性能、轻量化、低成本、短周期、节能减排等要求。

本标准的制定是为了建立粉末床熔融铝合金产品连续生产（性能已知或可预测）的信心提供必要条

件，系统的建立了产品的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存等内容。本标准将为粉末床熔融铝合金产品的原材料采购商、供应商、生产商及应用方提供技术指引作用，且所用的其他制件现有或变更的标准供以参考。该标准可用来表征粉末床熔融铝合金产品的技术要求，是未来标准单一或单一类别制件标准的起点，不仅可以帮助高端装备设计部和制造部更好的认识和选择增材制造技术，实现轻量化、高复杂结构功能一体化、减震吸能、换/散热等结构的优化设计与制造，实现快速制造、维保修复，推动高端装备减重高效、节能环保、零库存低成本的绿色化目标。对金属增材制造系统及其生产的零件性能具有重要意义。

《增材制造 粉末床熔融铝合金》标准编制组

2023年6月