

# 国家标准《增材制造用镁及镁合金粉》

## 编制说明（征求意见稿）

### 一、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2021年第四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[2021]41号）文的要求，国家标准《增材制造用镁及镁合金粉》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，由有研增材技术有限公司负责起草。项目计划编号为：20214662-T-610。按计划要求，本标准应在2024年1月4日前完成。

#### 1.2 产品概况

镁合金作为最轻质的金属工程结构材料，近年来引起了极大的关注。镁合金具有许多优异的特性，例如密度低，比强度、比刚度高，电磁屏蔽能力强，减震性能好，资源丰富，尺寸稳定，阻尼性、铸造性能、切削加工性能、焊接性能、生物降解能力优良，易回收，无污染，被誉为“21世纪绿色环保工程材料”。镁合金在实现轻量化、节能减排中发挥着重要作用，被广泛应用于汽车、国防、航空航天、电子、机械等领域。此外，越来越多的研究表明镁合金作为新一代绿色生物材料由于其独特的力学相容性和生物相容性在医疗领域尤其在医用植入材料领域，具有巨大优势。

随着镁合金材料向轻量化和医疗植入物领域的发展，对镁合金材料和零件的制造工艺提出了更高层次的要求。传统镁合金较多采用铸造工艺，由于熔化过程中的添加剂和镁合金易被氧化，容易发生铸造缺陷、机械性能差、制造周期长、尺寸精度差以及不能制造复杂结构的制品等问题。激光增材制造技术是基于离散、堆积原理，根据零件的三维模型采用材料逐层堆积形式实现零件的近净成形。增材制造由于具有无需模具、快速响应、材料利用率高、可成型任意复杂构件等优点，已经广泛地应用于航空、航天、汽车、机械、电子、生物医疗等领域。对于镁合金异型复杂构件，激光增材制造作为一种更有效的成形技术目前已应用在医疗和工程材料领域。现已成功开发出了纯镁、AZ91D、ZK61M、WE43等粉末等镁及镁合金产品。本标准的制订能够规范材料成分、物理性能、检验交付、安全防护的全过程，有效提高产品的质量、安全性和可靠性，满足增材制造领域等加工原料的严格要求。本规范制订后将促进增材制造用镁及镁合金发展，同时可推进镁合金增材制造技术的推广应用。

#### 1.3 承担单位情况

有研增材技术有限公司成立于 2021 年 12 月 28 日，是有研粉材集团有限公司子公司，以北京有色金属研究总院国家有色金属复合材料工程技术研究中心为依托，是国家科技部首批“金属熔体分散处理高技术创新团队”挂靠单位。公司研发团队自上世纪 80 年代开始进行快速凝固气雾化技术的研究开发和生产应用工作，是国内最早进行球形金属粉末制备技术研究和应用的团队之一。公司依托自主开发的成套高品质粉末雾化制备技术，开展增材制造、软磁粉末、钎焊粉末和特种功能粉体等球形金属粉末产品的开发与服务。研发团队成员先后承担国家科技攻关、国际合作、国家自然科学基金、军工配套等课题 30 余项，授权和申请相关发明专利 20 余项，制定国家标准 10 余项，研究成果获省部级科技奖励 10 余项。其中，“球形金属粉末雾化制备技术及产业化”项目荣获 2017 年国家科技进步二等奖，“增材制造用低成本球形钛粉制备技术研究及应用”项目荣获 2018 年中国有色金属工业科学技术一等奖。

目前已经建立年产能>3000 吨，气雾化生产线 5 条，高速雾化生产线 12 条。在合金熔炼、雾化器的设计、气雾化制粉工艺、成分控制及粉末后处理等关键技术方面积累了丰富的知识和经验。在粉末性能测试方面拥有直读光谱仪、原子吸收光谱仪、激光粒度分析仪、金相显微镜、扫描电镜、碳硫分析仪、氧含量分析仪、差热分析仪、松装密度和振实密度测试设备、拉伸试验机等多种粉末性能及金属性能测试设备，可进行粉末物理化学性能的多种测试及评价。可针对产品标准制定过程中需要的产品性能检测及验证提供多种检测手段及支持，团队成员参与制修订国家标准 10 余项，拥有丰富的标准制修订经验。

#### 1.4 参编单位及主要起草人工作情况

整个标准起草过程中各参编单位分工如表 1 所示。

表 1 参编单位及分工

参编单位	分工
有研增材技术有限公司	调研、验证、标准起草及协调工作
广州赛隆增材制造有限责任公司	提供测试用粉末及粉末性能数据
西安赛隆增材技术股份有限公司	提供测试用粉末及粉末性能数据
航天增材科技（北京）有限公司	提供粉末性能验证
钢铁研究总院	提供粉末性能验证
江苏威拉里新材料科技有限公司	提供粉末性能验证



制造用镁及镁合金粉末科研单位、生产企业的基本情况，开展与标准制定相关的测试工作，在此基础上，于2022年8月形成了标准的讨论稿和编制说明。

### 1.5.2 征求意见阶段

2022年8月15日，由全国有色金属标准化技术委员会主持，在广东省广州市召开了本标准的讨论会。来自有研增材技术有限公司、钢铁研究总院、广州赛隆增材制造有限责任公司、西安赛隆增材技术股份有限公司、江苏威拉里新材料科技有限公司等XX多家单位XX余位专家代表参加了会议。与会代表对本标准（征求意见稿）进行了认真、细致的讨论，提出了修改意见及建议。

2022年XX月XX日至2022年XX月XX日，全国有色金属标准化技术委员会将征求意见稿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。同时，全国有色金属标准化技术委员会通过工作群、邮件向委员单位征求意见，并将征求意见稿资料在[www.cnsmq.com](http://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、检验等单位及大专院校，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。

202X年XX月，编制组单位对收集到的意见进行整理，共收到了XX条意见，形成了《标准征求意见稿意见汇总处理表》。标准制定工作组对征求意见稿进行修改，形成标准预审稿。

202X年XX月XX日，由全国有色金属标准化技术委员会主持，在XX召开了本标准的预审会。来自XXX等XX家单位XX位专家代表参加了会议。与会代表对本标准（预审稿）进行了认真、细致的讨论。标准制定工作组根据讨论的意见，形成标准送审稿及编制说明，并提交标委会对标准进行审查。

### 1.5.3 审查阶段

202X年XX月XX日~XX月XX日，由全国有色金属标准化技术委员会主持，在XX组织召开本标准审定会。来自XX等XX家单位的XX位专家代表参加了会议，见《有色金属审定会参加单位及代表签名》。会议对有研增材技术有限公司负责起草的国家标准《增材制造用镁及镁合金粉》（送审稿）进行了认真细致的审定并提出修改意见，见《有色金属标准审定会会议纪要》。标准编制组采纳了审定会意见，对标准送审稿进行了修改完善。

### 1.5.4 报批阶段

标准编制组对标准文本和编制说明进行修改完善，形成标准报批稿报送至全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243），现上报至国家标准化管理委员会审批、发布。

委员投票情况：202X年XX月XX日至202X年XX月XX日，由全国有色金属标准化技术

委员会粉末冶金分标委会组织，在“全国专业标准化技术委员会工作平台”进行了委员投票，本 SC 全体委员人数共有 XX 人，参与投票 XX 人，投票同意本标准通过审查 XX 人，其中，起草人员 X 人。

## 二、标准编制原则和确定主要内容的论据

### 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：标准的结构和编写》给出的规则起草。

2) 本标准反映了当前国内增材制造用镁及镁合金粉的生产水平，便于生产，并且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 确定标准主要内容的论据

#### 2.2.1 化学成分

本标准规定了批量化生产且在增材制造领域广泛使用的纯镁、AZ91D、ZK61M、WE43 五种镁及镁合金粉末，粉末成分参考 GB/T 5153《变形镁及镁合金牌号和化学成分》。产品的化学成分需满足增材制造工艺及产品性能的要求，并对 Zn、Zr、Fe、Mn、Ni、Cu、Si、Mg、C、N、H、O 等主元素及杂质元素含量进行了规定。O 200ppm H N C

镁及镁合金粉末成分分析按照 GB/T 13748(所有部分)《镁及镁合金化学分析方法》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 化学成分统计表

代号	化学成分，%（质量分数）																	其他	
	Mg	Zn	Zr	Mn	Si	Cu	Ni	Al	Be	Fe	Y	Li	RE	O	H	C	N	单个	总计
	纯镁	≥ 99.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	0.01	0.05	0.05	—
单位 1	≥ 99.95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01	0.000 3	0.008	0.005	—	—
单位 2																			
单位 3																			
代号	Mg	Zn	Zr	Mn	Si	Cu	Ni	Al	Be	Fe	Y	Li	RE	O	H	C	N	其他	
AZ91D	余量	0.45- 0.9	—	0.17- 0.40	0.08	0.02	0.001	8.5-9 .5	0.000 5-0.0	0.004	—	—	—	0.02	0.01	0.05	0.05	≤ 0.01	—

03																			
单位1	余量	0.45	—	0.21	0.042	0.005	0.0015	9.02	0.001	0.0032	—	—	—	0.008	0.0002	0.007	0.004	—	—
单位2	余量	0.4278	—	0.19	0.0030	0.0006	0.0030	8.90	0.00098	0.0012	—	—	—	—	—	—	—	—	—
单位3	余量	0.65	—	0.23	0.038	0.003	0.00098	9.08	—	0.0021	—	—	—	—	—	—	—	—	—
代号	Mg	Zn	Zr	Mn	Si	Cu	Ni	Al	Be	Fe	Y	Li	RE	O	H	C	N	其他	
	单个	总计	≤0.01	≤0.1	≤0.05	≤0.05	≤0.005	≤0.05	≤0.01	≤0.05	—	—	—	0.02	0.01	0.05	0.05	≤0.01	≤0.30
单位1	余量	5.45	0.62	0.040	0.0021	0.0010	0.0010	0.00096	—	0.0021	—	—	—	0.0065	0.0008	0.013	0.006	—	—
单位2	余量	5.20	0.33	0.0055	0.0007	0.0010	0.0030	0.0006	—	0.0035	—	—	—	—	—	—	—	—	—
单位3																			
代号	Mg	Zn	Zr	Mn	Si	Cu	Ni	Al	Be	Fe	Y	Li	RE	O	H	C	N	其他	
	单个	总计	≤0.2	0.3-1.0	≤0.15	≤0.01	≤0.03	≤0.005	—	—	≤0.01	3.7-4.3	≤0.20	2.4-4.4	0.02	0.01	0.05	0.05	≤0.3
单位1	余量	0.01	0.65	0.011	0.0068	0.015	0.0021	—	—	0.0089	3.89	—	4.01	0.0045	0.0005	0.012	0.009	—	—
单位2	余量	0.01	0.51	0.0032	0.0040	0.0037	0.0043	—	—	0.0071	4.01	—	3.04	—	—	—	—	—	—
单位3	余量																		

注：产品的化学成分可根据用户的特殊要求进行调整。

根据表 3 中各参编单位产品化学成分检测结果，本标准规定的增材制造用镁及镁合金粉末化学成分如表 4 所示。

表 4 化学成分

代号	化学成分，%（质量分数）																	其他	
	Mg	Zn	Zr	Mn	Si	Cu	Ni	Al	Be	Fe	Y	Li	RE	O	H	C	N	单个	总计
	纯镁	≥99.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	0.01	0.05	0.05	—
AZ91D	余量	0.45-0.9	—	0.17-0.40	0.08	0.02	0.001	8.5-9.5	0.0005-0.003	0.004	—	—	—	0.02	0.01	0.05	0.05	≤0.01	—

ZK61M	余量	5.0-6 .0	0.3-0 .9	≤0.1	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.005	≤ 0.05	≤ 0.01	≤ 0.05	-	-	-	0.02	0.01	0.05	0.05	≤ 0.01	≤ 0.30
WE43	余量	≤0.2	0.3-1 .0	≤ 0.15	≤ 0.01	≤ 0.03	≤ 0.005	-	-	≤ 0.01	3.7-4 .3	≤ 0.20	2.4-4 .4	0.02	0.01	0.05	0.05	≤0.3	-

### 2.2.2 粒度

目前镁及镁合金粉末增材制造工艺主要是粉末床熔融和定向能量沉积，根据增材制造工艺本标准将粉末分为三类，I类粒度范围为15~53 μm，适用于粉末床熔融（选区激光熔融）增材制造；II类粒度范围为50~150 μm，适用于粉末床熔融（电子束熔化）增材制造；III类粒度范围为30~250 μm，适用于定向能量沉积增材制造。

粒度检测按照 GB/T 1480《金属粉末 干筛分法测定粒度》和 GB/T 19077《粒度分布 激光衍射法》的规定执行。

参编单位产品的筛分粒度组成及粒度分布的实测结果统计如表5、表6所示。

表5 筛分粒度组成统计表

类别	粉末规格 (μm)	代号	要求：>53 μm 不大于 10%					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I类	15~53	纯镁	8.7%					
		AZ91D	6.5%					
		ZK61M	7.5%					
		WE43	8.1%					
类别	粉末规格 (μm)	代号	要求：<50 μm 不大于 5%，>150 μm 不大于 5%					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
II类	50~150	纯镁	<50 μm :2.4%, >150 μm :3.2%					
		AZ91D	<50 μm :3.1%, >150 μm :4.5%					
		ZK61M	<50 μm :1.1%, >150 μm :2.3%					
		WE43	<50 μm :2.4%, >150 μm :2.5%					
类	粉末规格	代号	要求：<30 μm 不大于 5%，>250 μm 不大于 5%					

别	( $\mu\text{m}$ )		单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
III 类	30~250	纯镁	<30 $\mu\text{m}$ m :3.1%, >250 $\mu\text{m}$ :4.2%					
		AZ91D	<30 $\mu\text{m}$ m :2.2%, >250 $\mu\text{m}$ :1.2%					
		ZK61M	<30 $\mu\text{m}$ m :2.6%, >250 $\mu\text{m}$ :1.5%					
		WE43	<30 $\mu\text{m}$ m :4.3%, >250 $\mu\text{m}$ :2.7%					

表 6 激光粒度分布统计表

类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: $10\mu\text{m} \leq D_{10}$ , $25\mu\text{m} \leq D_{50} \leq 45\mu\text{m}$ , $D_{90} \leq 65\mu\text{m}$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I 类	15~53	纯镁	$D_{10}$ : 20.20, $D_{50}$ : 37.51, $D_{90}$ : 53.90					
		AZ91D	$D_{10}$ : 21.72, $D_{50}$ : 37.23, $D_{90}$ : 57.62					
		ZK61M	$D_{10}$ : 18.20, $D_{50}$ : 34.26, $D_{90}$ : 52.89					
		WE43	$D_{10}$ : 22.48, $D_{50}$ : 39.12, $D_{90}$ : 59.98					
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: $60\mu\text{m} \leq D_{50} \leq 105\mu\text{m}$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
II 类	50~150	纯镁	$D_{50}$ : 85.23					
		AZ91D	$D_{50}$ : 78.27					
		ZK61M	$D_{50}$ : 83.58					
		WE43	$D_{50}$ : 90.21					
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: $53\mu\text{m} \leq D_{50} \leq 200\mu\text{m}$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
III 类	30~250	纯镁	$D_{50}$ : 107.39					
		AZ91D	$D_{50}$ : 99.28					
		ZK61M	$D_{50}$ : 121.26					

		WE43	D <sub>50</sub> : 139.22				
--	--	------	--------------------------	--	--	--	--

根据表 5 及表 6 中各参编单位产品粒度组成及粒度分布检测结果，本标准确定了粒度组成及粒度分布的指标如表 7 所示。

表 7 粒度

类别	粒度范围	筛分粒度要求	激光粒度要求	用途
I 类	0~53 μm	>53 μm 不大于 10%	25 μm ≤ D <sub>50</sub> ≤ 45 μm	适用于粉末床熔融（选区激光熔融）增材制造领域
II 类	50 μm~150 μm	≤50 μm 不大于 5%， >150 μm 不大于 5%	60 μm ≤ D <sub>50</sub> ≤ 105 μm	适用于粉末床熔融（电子束熔化）增材制造领域
III 类	30 μm~250 μm	≤30 μm 不大于 5%， >250 μm 不大于 5%	53 μm ≤ D <sub>50</sub> ≤ 200 μm	适用于定向能量沉积增材制造领域

注：需方对粒度另有要求时，供需双方协商确定。

### 2.2.3 松装密度

松装密度是粉末自由填充单位容积的质量，增材制造过程粉末相当于自由填充的状态，因此松装密度的大小会影响增材制造制件的致密度。松装密度检测按照 GB/T1479.1《金属粉末 松装密度的测定 第 1 部分：漏斗法》的规定执行。

参编单位产品松装密度的实测结果统计如表 8 所示。

表 8 松装密度统计表

类别	粉末规格 (μm)	代号	要求：不小于 0.7g/cm <sup>3</sup>					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I 类	15~53	纯镁	0.81					
		AZ91D	0.85					
		ZK61	0.82					
		WE43	0.87					
类别	粉末规格 (μm)	代号	要求：不小于 0.8g/cm <sup>3</sup>					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
II 类	50~150	纯镁	0.88					
		AZ91D	0.91					
		ZK61M	0.90					
		WE43	0.93					
类别	粉末规格 (μm)	代号	要求：不小于 0.8g/cm <sup>3</sup>					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6

III类	30~250	纯镁	0.96					
		AZ91D	1.01					
		ZK61M	0.99					
		WE43	1.02					

根据表 8 中各参编单位产品松装密度检测结果,本标准确定了镁及镁合金粉的松装密度: I 类应不小于  $0.7\text{g}/\text{cm}^3$ , II类和III类应不小于  $0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 。

#### 2.2.4 振实密度

振实密度是粉末在容器中经过机械振动达到较理想排列状态的粉末集体密度,振实密度相对于松装密度主要是粉末多种物理性能的综合体现,如:粉末粒度及其分布、颗粒形状及其表面粗糙度、比表面积等。

参编单位产品振实密度的实测结果统计如表 9 所示。

表 9 振实密度统计表

类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: 不小于 $0.9\text{ g}/\text{cm}^3$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I 类	15~53	纯镁	0.95					
		AZ91D	1.02					
		ZK61M	0.97					
		WE43	1.03					
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: 不小于 $1.1\text{ g}/\text{cm}^3$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
II 类	50~150	纯镁	1.13					
		AZ91D	1.18					
		ZK61M	1.15					
		WE43	1.2					
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: 不小于 $1.1\text{ g}/\text{cm}^3$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
III类	30~250	纯镁	1.27					
		AZ91D	1.32					
		ZK61M	1.31					
		WE43	1.35					

根据表 9 中各参编单位产品振实密度检测结果,本标准确定了镁及镁合金粉的振实密度:

I 类应不小于  $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ ，II 类和 III 类应不小于  $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

### 2.2.5 流动性

流动性是指以一定量粉末流过规定孔径的标准漏斗所需要的时间，通常采用霍尔流速漏斗，流动性单位为  $\text{s}/50\text{g}$ ，表征粉末流动的难易程度，数值越小流动性越好。粉末的粒度、湿度、静电以及粉末是否为球形均会影响粉末的流动特性。无论对于粉末床熔融还是定向能量沉积的增材制造工艺，粉末的流动性均会影响增材制造过程和制件性能。流动性检测按照 GB/T 1482《金属粉末流动性的测定 标准漏斗法(霍尔流速计)》的规定执行。

参编单位产品流动性的实测结果统计如表 10 所示。

表 10 流动性统计表

类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求：不大于 $150.0\text{s}/50\text{g}$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I 类	15~53	纯镁	65.2					
		AZ91D	61.3					
		ZK61M	63.8					
		WE43	59.2					
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求：不大于 $150.0\text{s}/50\text{g}$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
II 类	50~150	纯镁	62.1					
		AZ91D	60.6					
		ZK61M	61.5					
		WE43	56.3					
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求：不大于 $150.0\text{s}/50\text{g}$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
III 类	30~250	纯镁	79.2					
		AZ91D	74.3					
		ZK61M	76.1					
		WE43	70.6					

根据表 10 中各参编单位产品流动性检测结果，本标准确定了 I 类镁及镁合金粉末的流动性应不大于  $150.0\text{s}/50\text{g}$ ，II 类粉末的流动性应不大于  $150.0\text{s}/50\text{g}$ ，III 类粉末的流动性应不大于  $150.0\text{s}/50\text{g}$ 。

### 2.2.6 空心粉率

在雾化制粉过程中，雾化气体可能进入金属液滴中，在冷却过程中气体来不及排出残留

在粉末中形成空心粉。空心粉中的气体在增材制造过程中无法完全逸出，会残留在产品中，降低产品的疲劳性能。

空心粉率是表征金属粉末性能的指标之一，目前，空心粉率的检测方法和指标要求还没有统一的标准，如需方对产品的空心粉率有特殊要求时检测方法及指标由供需双方协商确定。

各参编单位粉末产品的空心粉率检测数据统计如表 11 所示。空心粉率指标可由供需双方商议确定。

表 11 空心粉率统计表

类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求：不大于 5%					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I 类	0~53	纯镁	1.2%					
		AZ91D	2.1%					
		ZK61M	1.8%					
		WE43	1.5%					
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求：不大于 5%					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
II 类	50~150	纯镁	2.5%					
		AZ91D	2.6%					
		ZK61M	2.3%					
		WE43	1.9%					
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求：不大于 5%					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
III 类	30~250	纯镁	2.7%					
		AZ91D	2.9%					
		ZK61M	2.5%					
		WE43	2.3%					

## 2.2.8 标志、包装、运输、贮存

增材制造用镁及镁合金粉在包装、运输和贮存过程中可能会吸附空气中的氧、氮等气体元素而降低品质，且易吸附水汽而受潮导致粉末性能受到影响。此外粉末可能会因碰撞、挤压等原因发生起火、爆炸。因此本标准对产品的标志、包装、运输、贮存做出如下规定：

## 1) 标志

产品每个最小包装单位上应有标识，注明：

- a) 供方名称及商标；
- b) 产品名称；
- c) 牌号和类别；
- d) 粒度范围；
- e) 生产批号；
- f) 净重、毛重；
- g) 包装日期；
- h) 本文件编号；
- i) “易燃”、“防火”、“防潮”、“向上”、“禁止翻滚”等标识。

## 2) 包装

产品应以采用真空包装，包装过程中应严格控制环境避免污染。产品包装质量分为 1 kg、2 kg、5 kg、10 kg 四种规格，也可以根据需方需要进行包装。包装容器应保证其在运输过程中的完整性，且不应破损、受潮或者使产品接触到外来污染物质。

## 3) 运输

产品应在有遮盖物的环境下进行运输，运输过程应防止雨淋受潮、严禁剧烈碰撞和机械挤压，搬运过程应轻装轻卸、切勿倒置，严禁接近火种及火源。

## 4) 贮存

粉末应密封存放于通风干燥处，远离火源，严禁与氧化剂、酸类、碱类等腐蚀性物质一起存放，并避免阳光直晒。

## 2.3 主要试验（或验证）情况分析

针对本标准涉及产品，按本标准规定的方法，参编单位对本标准涉及产品的主要技术指标进行了验证，验证数据汇总如下。

### 2.3.1 化学成分

各验证单位对批次产品的化学成分检测结果统计数据如表 13 所示。

表 13 化学成分验证结果统计表

代号	单位	化学成分，%（质量分数）																			
		Mg	Zn	Zr	Mn	Si	Cu	Ni	Al	Be	Fe	Y	Li	RE	O	H	C	N	其他		
		单个	总计																		
纯镁	单位 1																				
	单位 2																				
	单位 3																				
AZ91D	单位 1																				
	单位 2																				
	单位 3																				
ZK61M	单位 1																				
	单位 2																				
	单位 3																				
WE43	单位 1																				
	单位 2																				
	单位 3																				
注：单位 1-XXXXXXXXXX，单位 2-XXXXXXXXXXXXXXXXXX，单位 3-XXXXXXXXXXXXXXXXXX																					

从上表中可以看出，有研增材技术有限公司及其他生产厂家所生产的粉末的化学成分均可满足标准设定值，标准中规定的化学成分是科学合理的。

## 2.3.2 粒度

### 2.3.2.1 筛分粒度组成

各验证单位对纯镁、AZ91D、ZK61M、WE43 粉末产品粒度组成进行了验证，验证数据统计如表 14 所示，检测结果基本一致，且符合标准中的规定。

表 14 筛分粒度组成统计表

类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求： $>53\ \mu\text{m}$ 不大于 10%					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I 类	0~53	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						
		AZ91D						
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求： $\leq 50\ \mu\text{m}$ 不大于 5%， $>150\ \mu\text{m}$ 不大于 5%					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
II 类	50~150	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求： $\leq 50\ \mu\text{m}$ 不大于 5%， $>150\ \mu\text{m}$ 不大于 5%					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
III 类	30~250	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						

从表中可以看出，有研增材技术有限公司及其他生产厂家所生产的粉末粒度组成均可满足标准设定值，标准中规定的粒度组成是科学合理的。

### 2.3.2.2 激光粒度分布

各验证单位对纯镁、AZ91D、ZK61M、WE43 粉末产品激光粒度组成进行了验证，验证数据统计如表 15 所示，检测结果基本一致，且符合标准中的规定。

表 15 粒度分布统计表（I 类）

类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: $10\mu\text{m}\leq D_{10}$ , $25\mu\text{m}\leq D_{50}\leq 45\mu\text{m}$ , $D_{90}\leq 65\mu\text{m}$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I 类	0~53	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: $60\mu\text{m}\leq D_{50}\leq 105\mu\text{m}$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
II 类	50~150	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: $53\mu\text{m}\leq D_{50}\leq 200\mu\text{m}$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
III 类	30~250	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						

从表中可以看出, 有研增材技术有限公司及其他生产厂家所生产的粉末粒度组成均可满足标准设定值, 标准中规定的粒度组成是科学合理的。

### 2.3.3 松装密度

各验证单位对纯镁、AZ91D、ZK61M、WE43 粉末产品的松装密度进行了验证, 验证数据统计如表 16 所示, 检测结果基本一致, 且符合标准中的规定。

表 16 松装密度统计表

类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: 不小于 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I 类	15~53	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61						
		WE43						
类别	粉末规格	代号	要求: 不小于 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$					

	( $\mu\text{m}$ )		单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
II类	50~150	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: 不小于 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
III类	30~250	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						

从表中可以看出, 有研增材技术有限公司及其他生产厂家所生产的粉末松装密度均可满足标准设定值, 标准中规定的粒度组成是科学合理的。

### 2.3.4 振实密度

各验证单位对纯镁、AZ91D、ZK61M、WE43 粉末产品的振实密度进行了验证, 验证数据统计如表 17 所示, 检测结果基本一致, 且符合标准中的规定。

表 17 振实密度统计表

类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: 不小于 $0.7\text{g}/\text{cm}^3$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I类	15~53	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: 不小于 $0.7\text{g}/\text{cm}^3$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
II类	50~150	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求: 不小于 $0.7\text{g}/\text{cm}^3$					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6

III类	30~250	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						

从表中可以看出，有研增材技术有限公司及其他生产厂家所生产的振实密度均可满足标准设定值，标准中规定的粒度组成是科学合理的。

### 2.3.5 流动性

各验证单位对纯镁、AZ91D、ZK61M、WE43 粉末产品的流动性进行了验证，验证数据统计如表 18 所示，检测结果基本一致，且符合标准中的规定。

表 18 流动性统计表

类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求：不大于 100.0s/50g					
			单位 1	单位 2	单位 3	单位 4	单位 5	单位 6
I 类	0~53	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求：不大于 100.0s/50g					
II 类	50~150	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						
类别	粉末规格 ( $\mu\text{m}$ )	代号	要求：不大于 100.0s/50g					
III类	30~250	纯镁						
		AZ91D						
		ZK61M						
		WE43						

## 三、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它国际或国外标准。

### 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用镁及镁合金粉国家标准，本标准结合当前实际生产水平和应用需求，以及成熟企业的企业标准和技术要求，对增材制造用镁及镁合金粉的化学成分、粒度分布、流动性、松装密度、振实密度进行了规定，可以满足我国增材制造用镁及镁合金粉产品需求。

综上所述，本标准的主要技术指标均达到国内先进水平。

### 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。

## 四、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。

## 五、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

## 六、标准作为强制性或推荐性国家（或行业）标准的建议

本标准建议作为推荐性国家标准。

## 七、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。

## 八、废止现行有关标准的建议

无。

## 九、其他应予以说明的事项

本标准在申请阶段的牵头单位为北京康普锡威科技有限公司，2021 年 12 月 28 年公司增材相关业务及团队成员单独成立了有研增材技术有限公司，因此本标准牵头单位由北京康普锡威科技有限公司变更为有研增材技术有限公司。牵头单位的变更不涉及产品、技术和参编团队成员的变更，特此说明。

## 十、预期效果

本标准实施后，我国镁及镁合金增材制造领域将会更加合理规范，能够促进镁及镁合金在增材制造领域的应用，并整体提高增材制造镁及镁合金制件的品质，达到发达国家的应用水平，满足航空航天、机械、电子、汽车及医疗等关键领域的应用需求。

可积极向生产厂家及国内外用户推荐本标准。

《增材制造用镁及镁合金粉》标准编制组

2022年08月