

国家标准《增材制造用镍粉》

编制说明（送审稿）

一、工作简况

1.1 任务来源

根据《国家标准化委员会关于下达2020年第一批国家标准制修订计划的通知》（国标委发〔2020〕14号）文的要求，国家标准《增材制造用镍粉》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，由西安欧中材料科技有限责任公司负责起草。项目计划编号为：20201524-T-610。按计划要求，本标准应在2022年完成。

1.2 产品概况

纯镍具有高的导电导热性能、低的含气量和蒸汽压以及良好的机械耐腐蚀性、塑性加工和焊接等性能，而被广泛应用于核电工业、石油化工、电子电器、航空航天等领域。

增材制造技术利用激光、电子束等高能束直接熔化金属粉末，可成形全致密的高性能金属零件，大大的减少了材料的切削加工、缩短了加工周期、提高了材料利用率，并有效地弥补了传统加工在生产复杂构件方面的短板。随着增材制造工艺技术的快速发展，可用于增材制造技术的金属粉末类别也不断的增加，增材制造技术的不断创新和完善使得对增材制造的原材料-金属粉末的需求也不断提升。

增材制造用镍粉的常用制备方法有气雾化法、等离子旋转电极法和等离子球化法。三种方法均可制得适用于增材制造(AM)，粉末冶金(PM)等对粒度以及流动性具有严格要求的球形金属粉末。以上三种方法制备的球形镍粉，粒度通常在 15~250 μm 可控，均可满足金属增材制造的需求。

1.3 承担单位情况

西安欧中材料科技有限公司（简称欧中科技）是西北有色金属研究院（集团）下属的专业从事金属球形粉末及制件生产与服务的高新技术企业，成立于 2013 年 12 月，现位于西安经济技术开发区凤城二路 45 号，注册资本壹亿元。

欧中科技通过“引进消化吸收再创新”，组建了具备国际先进水平的国内首条超高转速（30000rpm）等离子旋转电极雾化 SS-PREP 金属球形粉末工业化生产线和国内首条高温合金粉末盘“超高转速 PREP 粉末+热等静压 HIP”短流程生产线，主要致力于钛合金、高温合金

及其他金属球形粉末制备，发动机叶片的精深加工服务，粉末冶金制件、增材制造金属丝材的研发、生产及货物的进出口贸易等。产品涵括 Ti6Al4V、Ti6Al4V ELI、TC11、TA15、Ti₂AlNb、TiAl、Ti17、Ti1023、TC18、Ti80、Pure Nickel、EP741NP、GH4169、GH3536、GH3625、316L、18Ni300、Co28Cr6Mo、AF1410 等 100 多种牌号的金属粉末及丝材和高温合金粉末盘等，主要应用于航空航天、增材制造（3D 打印）、生物医疗等领域。

作为国内高端金属球形粉末材料的领军企业，欧中科技在高端新材料、新技术的研发和推广应用方面具有较强的自主创新能力，依托西安市院士专家工作站和特种金属球形粉末工程研究中心等创新研发平台，先后承担国家省市级各类科研项目 60 余项，其中牵头科技部国家重点研发计划（增材制造与激光制造专项）金属球形粉末材料研发课题和工信部“产业技术基础公共服务能力和行业质量共性技术推广项目”《增材制造（3D 打印）金属粉末质量控制和评价体系应用推广》项目以及《钛合金 PREP 超细粉末材料进口替代》项目；技术人员在国内外核心刊物发表学术论文 50 余篇。欧中科技先后被认定为西安市高新技术企业和全国科技型中小企业，通过了国际质量管理体系（ISO9001）、国际宇航质量管理体系（AS9100）、国际医疗器械质量管理体系（ISO13485）和国军标等质量体系认证。欧中科技主导及参与起草国家标准、行业标准、地方标准及团体标准 20 余项，在起草标准方面具有丰富的经验。

1.4 参编单位及主要起草人工作情况

参编单位及分工见表 1。

表 1 参编单位及分工

参编单位	分工
西安理工大学	提供粉末性能数据及验证测试
郑州大学	提供粉末性能数据及验证测试
宁波众远新材料科技有限公司	提供测试用纯镍粉，提供粉末性能数据
浙江亚通焊材有限公司	提供测试用纯镍粉，提供粉末性能数据
星尘科技（广东）有限公司	提供粉末性能数据
盘星新型合金材料（常州）有限公司	提供粉末性能数据
北矿新材科技有限公司	提供粉末性能数据
自贡长城硬面材料有限公司	提供粉末性能数据
北京康普锡威科技有限公司	提供粉末性能数据
西安赛隆金属材料有限责任公司	提供粉末性能数据
湖南华曙高科技有限责任公司	提供粉末性能数据
无锡市产品质量监督检验院	进行粉末性能验证测试
江苏威拉里新材料科技有限公司	提供粉末性能数据
西安增材制造国家研究院有限公司	进行粉末性能验证测试

西北工业大学	提供粉末性能数据
华中科技大学	进行粉末性能验证测试
同济大学	进行粉末性能验证测试
中国地质大学	进行粉末性能验证测试
中国航发北京航空材料研究院	进行粉末性能验证测试

标准主要起草人以及分工见表 2。

表 2 标准主要起草人及分工

姓名	单位	分工
	西安欧中材料科技有限公司	负责调研、验证、标准起草
	西安欧中材料科技有限公司	负责标准起草、预审、审定报批工作
	西安欧中材料科技有限公司	负责调研、验证、标准起草
	西安欧中材料科技有限公司	负责全过程的标准审查、协调工作
	西安欧中材料科技有限公司	负责标准审核、协调工作
	有色金属技术经济研究院	参与标准起草，资料收集，组织标准编制
	西安理工大学	参与标准起草，提供相关数据及验证
	郑州大学	参与标准起草，提供实验数据
	西安赛隆金属材料有限责任公司	参与标准起草，提供相关数据
	星辰科技（广东）有限公司	参与标准起草，提供相关数据
	西北工业大学	参与标准起草，提供相关数据
	宁波众远新材料科技有限公司	参与标准起草，提供粉末及相关数据
	盘星新型合金材料（常州）有限公司	参与标准起草，提供相关数据
	自贡长城硬面材料有限公司	参与标准起草，提供相关数据
	浙江亚通焊材有限公司	参与标准起草，提供粉末及相关数据
	北京康普锡威科技有限公司	参与标准起草，提供相关数据
	江苏威拉里新材料科技有限公司	参与标准起草，提供相关数据
	西安增材制造国家研究院有限公司	参与标准起草，提供相关验证
	湖南华曙高科技有限责任公司	参与标准起草，提供相关验证
	华中科技大学	参与标准起草，提供相关验证
	上海材料研究所	参与标准起草，提供相关验证
	同济大学	参与标准起草，提供相关验证
	无锡市产品质量监督检验院	参与标准起草，提供相关验证
	中国航发北京航空材料研究院	参与标准起草，提供相关验证
	中国地质大学	参与标准起草，提供相关验证

1.5 主要工作过程

1.5.1 起草阶段

根据《国家标准化管理委员会关于下达 2020 年第一批国家标准制修订计划的通知》（国标委发[2018]60 号）计划要求，西安欧中材料科技有限公司立即成立了标准编制工作组，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。项目运行以来，项目组积极收集国内外增材制造用镍粉的应用信息，收集增材制造用镍粉的生产、检验数据，调研国内外增材制造用镍粉科研单位、生产企业的基本情况，并对各类信息进行分析汇总，已于 2020 年 5 月完成标准征求意见稿。

1.5.2 征求意见阶段

2020 年 9 月 11 日，由全国有色金属标准化技术委员会主持，在陕西省西安市召开了本标准的讨论会。来自西安增材制造国家研究院有限公司、全国增材制造标准化技术委员会、西北有色金属研究院、广东省材料与加工研究所、同济大学、郑州大学、矿冶科技集团有限公司、星尘科技（广东）有限公司、西北工业大学、宁波众远新材料科技有限公司、盘星新型合金材料（常州）有限公司等 20 多家单位 45 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。

2020 年 9 月 10 日至 2020 年 11 月 24 日，全国有色金属标准化技术委员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。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。

2020 年 11 月 24 日，由全国有色金属标准化技术委员会主持，在江苏省徐州市召开了本标准的预审会。来自西安理工大学、同济大学、郑州大学、矿冶科技集团有限公司、全国增材制造标准化技术委员会、西北有色金属研究院、广东省材料与加工研究所、星尘科技（广东）有限公司、西北工业大学、宁波众远新材料科技有限公司、盘星新型合金材料（常州）有限公司等等 20 多家单位 50 余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，提出了修改意见及建议。编制组单位对收集到的意见进行整理，共收到了 4 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，形成标准送审稿。

1.5.3 审查阶段

2021 年 5 月 13 日~5 月 14 日，由由全国有色金属标准化技术委员会主持，在浙江省宁波市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》。会议对西安欧中材料科技有限公司负责起草的行业标准《增材制造用镍粉》（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：2020年XX月XX日至2020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27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镍粉末的生产水平，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

本标准规定的增材制造用镍粉的化学成分见表3。产品 F-N4、F-N6 粉末依据 GB/T 5235《加工镍及镍合金化学成分和产品形状》中规定的 N4、N6 化学成分；并根据增材制造行业及客户对镍粉的成分及应用的要求，增加了粉末氧含量要求，规定 F-N4 氧含量要求为 $\leq 0.06\%$ ，F-N6 氧含量要求为 $\leq 0.10\%$ ；对杂质元素 Pb、Bi、As、Sb、Zn、Cd、Sn 不作要求。

表3 化学成分

牌号	化学成分，%（质量分数）									
	Ni+Co	Cu	Fe	Mn	Mg	Si	C	S	P	O
F-N4	≥ 99.9	≤ 0.015	≤ 0.04	≤ 0.002	≤ 0.01	≤ 0.03	≤ 0.01	≤ 0.001	≤ 0.001	≤ 0.06
F-N6	≥ 99.5	≤ 0.100	≤ 0.10	≤ 0.050	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.005	≤ 0.002	≤ 0.10

注：Ni+Co 为余量

2.2.2 粒度

不同增材制造工艺对粉末粒度分布的要求不同。本标准中粉末分为三类，I类适用于选区

激光熔融增材制造工艺，粒度范围为 15~53 μm ；II类适用于电子束熔化增材制造工艺，粒度范围为 45~150 μm ；III类适用于激光能量沉积增材制造工艺，粒度范围为 30~250 μm 。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。

根据粉末样本及其检测结果，本标准确定了粒度分布的指标如表 4 所示。

表 4 粒度

分类	粉末规格 μm	粒度组成	粒度分布	用途
I类	15~53	>53 μm 不大于 5%	15.0 μm ≤D10≤25.0 μm ; 30.0 μm ≤D50≤45.0 μm ; 50.0 μm ≤D90≤65.0 μm	适用于选区激光熔融工艺
II类	45~150	≤45 μm 不大于 5%, >150 μm 不大于 5%	—	适用于电子束熔化工艺
III类	30~250	≤30 μm 不大于 5%, >250 μm 不大于 5%	—	适用于激光能量沉积工艺

注：需方对产品粒度有特殊要求时在合同中注明由供需双方协商确定。

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。

根据粉末样本及其检测结果，本标准确定了镍粉的松装密度的指标如表 5 所示，其中I类、II类粉末的松装密度不小于 4.60g/cm³，III类粉末的松装密度不小于 5.20g/cm³。

表 5 松装密度

物理性能	I类	II类	III类
松装密度 g/cm ³	≥4.60	≥4.60	≥5.20

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。

根据粉末样本及其检测结果，本标准确定了镍粉的振实密度的指标如表 6 所示，其中I类粉末的振实密度不小于 5.20g/cm³、II类粉末的振实密度不小于 5.70g/cm³，III类粉末的振实密度不小于 6.20g/cm³。

表 6 振实密度

物理性能	I类	II类	III类
振实密度 g/cm ³	≥5.20	≥5.70	≥6.20

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 s/50g，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。

根据粉末样本及其检测结果，本标准确定镍粉的流动性指标如表 7 所示。

表 7 流动性

物理性能	I类	II类	III类
霍尔流速 s/50g	≤22.0	≤22.0	≤22.0

2.2.6 标志、包装、运输、贮存

增材制造用镍粉在包装、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。此外镍粉末可能会因碰撞、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；
- b) 产品名称；
- c) 牌号；
- d) 生产批号；
- e) 粒度(类别)；
- f) 净重；
- g) 本文件编号；
- h) “易燃”、“防潮”、“防火”、“防止吸入”等标识；

2) 包装

产品应采用塑料袋双层真空塑封包装，或以洁净的塑料桶、金属桶为容器单元，采用惰性气体保护封装，包装过程中应严格控制环境避免污染。产品包装重量为 5kg，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，且不易破损、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，对本标准涉及粉末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

增材制造用镍粉化学成分的统计如表 8 所示。

表 8 化学成分统计表

牌号	化学成分，%（质量分数）									
	Ni+ Co	Cu	Fe	Mn	Mg	Si	C	S	P	O
F-N4	≥99.9	≤0.015	≤0.04	≤0.002	≤0.01	≤0.03	≤0.01	≤0.001	≤0.01	≤0.06
批次 1	Bal	<0.005	<0.005	<0.001	<0.001	<0.010	0.001	0.0007	0.004	0.006
批次 2	Bal	0.002	0.002	-	0.001	0.001	0.003	0.0004	0.006	0.010
批次 3	Bal	0.006	0.010	-	0.001	-	0.008	0.0006	0.008	0.008
批次 4	Bal	0.008	0.010	0.001	0.001	0.008	0.004	0.0008	0.004	0.023
批次 5	Bal	0.015	0.040	0.002	0.006	0.012	0.006	0.0007	0.007	0.005
批次 6	Bal	0.003	0.006	0.003	0.001	0.003	0.002	≤0.0010	0.005	0.018
批次 7	Bal	0.005	0.005	-	-	-	0.003	0.0003	0.008	0.040
批次 8	Bal	<0.005	0.003	<0.001	<0.001	<0.010	0.006	0.0003	≤0.01	0.008
批次 9	Bal	0.005	0.010	-	0.001	0.002	0.005	≤0.0010	≤0.01	0.023
批次 10	Bal	<0.005	<0.005	<0.001	<0.001	<0.010	0.001	0.0007	≤0.01	0.005
批次 11	Bal	0.001	0.007	0.002	0.003	0.003	0.005	0.0005	0.006	0.030
批次 12	Bal	0.003	0.004	0.001	0.004	0.003	0.005	0.0008	0.006	0.027
F-N6	Ni+ Co	Cu	Fe	Mn	Mg	Si	C	S	P	O
	≥99.5	≤0.100	≤0.10	≤0.050	≤0.10	≤0.10	≤0.10	≤0.005	≤0.002	≤0.10
批次 1	Bal	0.020	0.016	0.002	0.010	0.014	0.018	0.001	0.001	0.008
批次 2	Bal	0.019	0.018	0.003	0.010	0.013	0.018	0.002	0.00	0.010
批次 3	Bal	0.018	0.017	0.003	0.008	0.014	0.017	0.001	0.001	0.009
批次 4	Bal	0.002	0.020	0.030	-	0.012	0.002	0.002	0.001	0.013
批次 5	Bal	0.060	0.080	0.035	0.050	0.050	0.080	0.004	≤0.002	0.040
批次 6	Bal	0.015	0.008	0.004	0.007	0.006	0.068	0.004	≤0.002	0.024

从上表中可以看出，各批次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要求是科学合理的。

2.3.2 粒度

F-N4、F-N6 粉末粒度组成测试数据统计如表 9、表 10、表 11 所示，从表中可以看出 I 类粉末粒度组成中 $>53\mu\text{m}$ 的质量百分比介于 2.12%~3.61% 之间；II 类粉末粒度组成中 $\leq 45\mu\text{m}$ 的质量百分比介于 1.38%~2.88% 之间， $>150\mu\text{m}$ 的质量百分比介于 3.19%~4.61% 之间；III 类粉末粒度组成中 $\leq 30\mu\text{m}$ 的质量百分比介于 0.10%~0.27% 之间，III 类粉末粒度组成中 $>250\mu\text{m}$ 的质量百分比介于 0.02%~0.14% 之间。从表中可以看出，各批次粉末的粒度组成均满足标准设定值，标准中规定的粉末粒度组成要求是科学合理的。

表 9 I 类 F-N4、F-N6 粒度组成统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求： $>53\mu\text{m}$ 不大于 5.00%	批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求： $>53\mu\text{m}$ 不大于 5.00%
1	F-N4	15~53	$>53\mu\text{m}$: 2.56%	1	F-N6	15~53	$>53\mu\text{m}$: 2.79%
2			$>53\mu\text{m}$: 3.58%	2			$>53\mu\text{m}$: 2.82%
3			$>53\mu\text{m}$: 2.15%	3			$>53\mu\text{m}$: 3.11%
4			$>53\mu\text{m}$: 2.80%	4			$>53\mu\text{m}$: 2.80%
5			$>53\mu\text{m}$: 2.90%	5			$>53\mu\text{m}$: 2.76%
6			$>53\mu\text{m}$: 2.42%	6			$>53\mu\text{m}$: 3.09%
7			$>53\mu\text{m}$: 3.19%	7			$>53\mu\text{m}$: 2.84%
8			$>53\mu\text{m}$: 2.44%	8			$>53\mu\text{m}$: 2.12%
9			$>53\mu\text{m}$: 3.07%	9			$>53\mu\text{m}$: 3.61%

表 10 II 类 F-N4、F-N6 粒度组成统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求： $\leq 45\mu\text{m}$ 不大于 5.00%， $>150\mu\text{m}$ 不大于 5.00%	批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求： $\leq 45\mu\text{m}$ 不大于 5.00%， $>150\mu\text{m}$ 不大于 5.00%
1	F-N4	45~150	$\leq 45\mu\text{m}$: 1.38%， $>150\mu\text{m}$: 4.05%	1	F-N6	45~150	$\leq 45\mu\text{m}$: 2.23%， $>150\mu\text{m}$: 3.95%
2			$\leq 45\mu\text{m}$: 1.67%， $>150\mu\text{m}$: 4.22%	2			$\leq 45\mu\text{m}$: 1.89%， $>150\mu\text{m}$: 3.64%
3			$\leq 45\mu\text{m}$: 2.49%， $>150\mu\text{m}$: 3.27%	3			$\leq 45\mu\text{m}$: 2.88%， $>150\mu\text{m}$: 3.19%
4			$\leq 45\mu\text{m}$: 2.03%， $>150\mu\text{m}$: 3.87%	4			$\leq 45\mu\text{m}$: 2.47%， $>150\mu\text{m}$: 4.61%
5			$\leq 45\mu\text{m}$: 1.44%， $>150\mu\text{m}$: 3.91%	5			$\leq 45\mu\text{m}$: 2.31%， $>150\mu\text{m}$: 4.27%

表 11 III 类 F-N4、F-N6 粒度组成统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求： $\leq 30\mu\text{m}$ 不大于 5.00%， $>250\mu\text{m}$ 不大于 5.00%	批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求： $\leq 30\mu\text{m}$ 不大于 5.00%， $>250\mu\text{m}$ 不大于 5.00%
1	F-N4	30~250	$\leq 30\mu\text{m}$: 0.12%， $>250\mu\text{m}$: 0.02%	1	F-N4	30~250	$\leq 30\mu\text{m}$: 0.10%， $>250\mu\text{m}$: 0.02%
2			$\leq 30\mu\text{m}$: 0.16%， $>250\mu\text{m}$: 0.03%	2			$\leq 30\mu\text{m}$: 0.15%， $>250\mu\text{m}$: 0.03%

3			≤30μm: 0.15%, >250μm: 0.02%	3			≤30μm: 0.14%, >250μm: 0.02%
4			≤30μm: 0.27%, >250μm: 0.10%	4			≤30μm: 0.19%, >250μm: 0.10%
5			≤30μm: 0.22%, >250μm: 0.14%	5			≤30μm: 0.12%, >250μm: 0.09%

F-N4、F-N6 粉末粒度分布测试数据统计如表 12 所示，I类粉末的 D10 介于 17.8~22.0μm 之间，D50 介于 32.3~39.5μm 之间，D90 介于 51.5~57.2μm 之间。故标准所规定I类镍粉的粒度分布要求是科学合理的。

表 12 I类粉末粒度分布统计表

批次	牌号	要求: 15μm≤D10≤25μm, 30μm≤D50≤45μm, 50μm≤D90≤65μm
1	F-N4	D10=20.0; D50=36.5; D90=53.2
2		D10=18.5; D50=37.2; D90=54.8
3		D10=17.8; D50=39.5; D90=57.2
4		D10=22.0; D50=34.5; D90=52.4
5		D10=21.0; D50=34.0; D90=55.0
6		D10=21.0; D50=36.0; D90=57.0
7		D10=21.6; D50=38.4; D90=53.7
8		D10=21.5; D50=34.6; D90=54.2
9		D10=19.6; D50=32.3; D90=53.1
批次	牌号	要求: 15μm≤D10≤25μm, 30μm≤D50≤45μm, 50μm≤D90≤65μm
1	F-N6	D10=18.6; D50=34.8; D90=51.9
2		D10=22.0; D50=35.6; D90=55.8
3		D10=21.8; D50=33.8; D90=54.6
4		D10=18.9; D50=34.5; D90=52.4
5		D10=20.0; D50=33.5; D90=51.5
6		D10=19.7; D50=35.8; D90=55.6

2.3.3 松装密度

F-N4、F-N6 粉末松装密度测试数据统计如表 13、表 14、表 15 所示，I 类粉末松装密度介于 4.81~5.09g/cm³，II 类粉末松装密度介于 4.82~5.28g/cm³，III类粉末松装密度值介于 5.40~5.51g/cm³；故标准规定 I 类粉末松装密度不小于 4.60g/cm³；II 类粉末松装密度不小于 4.60g/cm³；III类粉末松装密度不小于 5.20g/cm³ 是科学合理的。

表 13 I 类粉末松装密度统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: ≥4.60g/cm ³	批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: ≥4.60g/cm ³
1	F-N4	15~53	5.15	1	F-N6	15~53	5.09
2			4.83	2			4.98
3			4.88	3			4.86
4			4.89	4			4.87
5			4.83	5			4.81

6			4.88	6			4.88
7			4.95	7			4.91
8			4.82	8			4.86
9			4.87	9			4.87

表 14 II类粉末松装密度统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: $\geq 4.60\text{g/cm}^3$	批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: $\geq 4.60\text{g/cm}^3$
1	F-N4	45~150	5.28	1	F-N6	45~150	5.20
2			4.91	2			4.89
3			4.89	3			4.92
4			4.86	4			4.91
5			4.82	5			4.89

表 15 III类粉末松装密度统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: $\geq 5.20\text{g/cm}^3$	批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: $\geq 5.20\text{g/cm}^3$
1	F-N4	30~250	5.48	1	F-N6	30~250	5.47
2			5.46	2			5.47
3			5.48	3			5.48
4			5.40	4			5.50
5			5.51	5			5.47

2.3.4 振实密度

F-N4、F-N6 粉末产品振实密度测试数据统计如表 16、表 17、表 18 所示，I 类粉末振实密度介于 $5.41\sim 6.10\text{g/cm}^3$ 之间，II 类粉末振实密度介于 $5.97\sim 6.10\text{g/cm}^3$ ，III 类粉末振实密度介于 $6.47\sim 6.52\text{g/cm}^3$ 。故标准规定 I 类粉末振实密度不小于 5.20g/cm^3 ，II 类粉末振实密度不小于 5.70g/cm^3 ，III 类粉末振实密度不小于 6.20g/cm^3 是科学合理的。

表 16 I 类粉末振实密度统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: $\geq 5.20\text{g/cm}^3$	批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: $\geq 5.20\text{g/cm}^3$
1	F-N4	15~53	6.03	1	F-N6	15~53	6.10
2			5.91	2			5.67
3			5.67	3			5.48
4			5.64	4			5.69
5			5.41	5			5.62
6			5.47	6			5.82
7			5.73	7			5.67
8			5.43	8			5.81
9			5.48	9			5.50

表 17 II类粉末振实密度统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: ≥5.70g/cm ³	批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: ≥5.70g/cm ³
1	F-N4	45~150	6.06	1	F-N6	45~150	5.98
2			6.10	2			6.00
3			6.02	3			6.05
4			6.05	4			5.97
5			6.08	5			6.00

表 18 III类粉末振实密度统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: ≥6.20g/cm ³	批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: ≥6.20g/cm ³
1	F-N4	30~250	6.50	1	F-N6	30~250	6.49
2			6.48	2			6.48
3			6.50	3			6.48
4			6.47	4			6.49
5			6.52	5			6.50

2.3.5 流动性

F-N4、F-N6 粉末产品流动性测试数据统计如表 19、表 20、表 21 所示，从统计数据可以看出，I类粉末流动性介于 12.5~19.8s/50g，II类粉末介于 11.3~14.6s/50g，III类粉末介于 11.8~17.1s/50g，故标准规定粉末流动性不大于 22s/50g 是科学合理的。

表 19 I类粉末流动性统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: ≤22.0s/50g	批次	牌号	粉末规格(μm)	要求: ≤22.0s/50g
1	F-N4	15~53	12.5	1	F-N6	15~53	12.8
2			14.5	2			16.5
3			19.8	3			17.4
4			17.5	4			14.9
5			18.5	5			16.7
6			19.6	6			18.2
7			14.2	7			17.5
8			18.5	8			16.2
9			16.8	9			15.8

表 20 II类粉末流动性统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: ≤22.0s/50g	批次	牌号	粉末规格(μm)	要求: ≤22.0s/50g
1	F-N4	45~150	11.3	1	F-N6	45~150	11.6
2			12.8	2			14.7
3			14.6	3			13.6
4			12.8	4			12.7

5			13.1	5			13.5
---	--	--	------	---	--	--	------

表 21 III类粉末流动性统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	要求: ≤22.0s/50g	批次	牌号	粉末规格(μm)	要求: ≤22.0s/50g
1	F-N4	30~250	11.8	1	F-N6	30~250	12.0
2			14.6	2			11.8
3			17.1	3			12.1
4			16.8	4			14.3
5			15.4	5			16.4

2.3.6 空心粉率

F-N4、F-N6 粉末产品空心粉率统计见表 22，从统计数据可以看出，I 类粉末空心率介于 0.00%~0.26%之间，II 类粉末空心粉率介于 0.05%~0.62%之间，III 类粉末空心粉率介于 0.05%~0.40%之间。

空心粉率指标可由供需双方商议确定。

表 22 粉末空心粉率统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	空心粉率	批次	牌号	粉末规格(μm)	空心粉率
1	F-N4	15~53	0.00%	1	F-N6	15~53	0.05%
2			0.10%	2			0.05%
3			0.05%	3			0.00%
4			0.20%	4			0.18%
批次	牌号	粉末规格 (μm)	空心粉率	批次	牌号	粉末规格(μm)	空心粉率
1	F-N4	45~150	0.10%	1	F-N6	45~150	0.10%
2			0.10%	2			0.05%
3			0.15%	3			0.20%
4			0.36%	4			0.40%
批次	牌号	粉末规格 (μm)	空心粉率	批次	牌号	粉末规格(μm)	空心粉率
1	F-N4	30~250	0.10%	1	F-N6	30~250	0.05%
2			0.20%	2			0.10%
3			0.15%	3			0.12%
4			0.22%	4			0.30%

2.3.7 球形率

F-N4、F-N6 粉末产品球形率统计见表 23，从统计数据可以看出 I 类粉末球形率介于 88.76%~99.80%之间，II 类粉末球形率介于 90.56%~99.95%之间，III 类粉末球形率介于 92.70%~99.94%之间。

球形率指标可由供需双方商议确定。

表 23 粉末球形率统计表

批次	牌号	粉末规格 (μm)	球形率	批次	牌号	粉末规格(μm)	球形率
1	F-N4	15~53	99.80%	1	F-N6	15~53	99.85%
2			99.56%	2			99.23%
3			98.03%	3			94.62%
4			92.10%	4			90.18%
批次	牌号	粉末规格 (μm)	球形率	批次	牌号	粉末规格(μm)	球形率
1	F-N4	45~150	99.95%	1	F-N6	45~150	99.90%
2			98.76%	2			99.00%
3			96.40%	3			95.40%
4			92.28%	4			90.66%
批次	牌号	粉末规格 (μm)	球形率	批次	牌号	粉末规格(μm)	球形率
1	F-N4	30~250	99.94%	1	F-N6	30~250	99.90%
2			99.84%	2			98.90%
3			96.76%	3			97.72%
4			96.82%	4			94.40%

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

经过检索，国外无针对增材制造用镍粉的标准。

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镍粉国家标准，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，对增材制造镍粉的化学成分、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镍粉的产品需求。

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

无。

十、预期效果

本标准实施后，我国镍增材制造领域将会更加合理规范，能够促进镍在增材制造领域的应用，并整体提高增材制造镍制件的品质，达到发达国家的应用水平，满足核电工业、石油化工、电子电器、航空航天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。

《增材制造用镍粉》标准编制组

2021 年 5 月

标准征求意见稿意见汇总处理表

共 1 页 第 1 页

标准项目名称： 增材制造用镍粉

承办人：薛飒

电 话： 13630282763

标准项目负责起草单位：西安欧中材料科技有限公司

2020 年 11 月 22 日填写

序号	标准章 条编号	意见内容	提出单位	处理 意见	备注
1	2	增加 GB/T35351	全国有色稀有金属分标准化技术委员会	采纳	
2	4.1	增加注：Ni 为余量	湖南普林特医疗器械有限公司	采纳	
3	4.6	将“黑色”修改为“灰色”	湖南顶立科技有限公司	采纳	
4	7.1	删除：易燃、防火	上海交通大学	采纳	
5		无意见	中国航发上海商用航空发动机制造有限责任公司		
6		无意见	安徽相邦复合材料有限公司		
7		无意见	广东广晟稀有金属光电新材料有限公司		
8		无意见	宁夏东方钽业股份有限公司		
9		无意见	宝钛集团有限公司		
10		无意见	飞而康快速制造科技有限责任公司		
11		无意见	宝钢特钢有限公司		
12		无意见	株洲普林特增材制造有限公司		
13		无意见	湖南普林特医疗器械有限公司		
14		无意见	珠海天威飞马打印耗材有限公司		
15		无意见	国标（北京）检验认证有限公司		
16		无意见	宝鸡钛业股份有限公司		
17		无意见	西部超导材料科技股份有限公司		

- (1) 发送《征求意见稿》的单位数：17 个；
- (2) 收到《征求意见稿》后，回函的单位数：17 个；
- (3) 收到《征求意见稿》后，回函并有建议或意见的单位数：4 个；
- (4) 没有回函的单位数：0 个。