

团体标准

T/CCPMA XXXXX-2024 T/CSTM XXXXX-2024

增材制造用铁硅合金粉末

Iron-silicon alloy powders for additive manufacturing

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

粉末冶金产业技术创新战略联盟

中关村材料试验技术联盟

联合发布

前 言

本文件参照 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》，GB/T 20001.10 《标准编写规则 第 10 部分：产品标准》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由粉末冶金产业技术创新战略联盟和中国材料与试验标准化委员会粉末冶金标准化领域委员会（CSTM/FC90）共同提出。

本文件由粉末冶金产业技术创新战略联盟和中国材料与试验标准化委员会粉末冶金标准化领域委员会（CSTM/FC90）共同归口。

本文件为首次发布。

引 言

铁硅合金磁学与力学机械性能优异，是重要的结构与功能器件原料，全球年产能约 1100 万吨，在钢铁、电力、电子、航空等行业占有重要地位。全球磁芯市场规模预计 2026 年将达 118 亿元，年复合增长率约为 1.20 %，铁硅合金也是制造磁芯的重要原料。增材制造具有无需模具、近净成型和易于制备等优势，在复杂几何形状磁芯制造方面潜力巨大。增材制造技术铁硅合金粉末是重要的原材料，很大程度决定了增材制造产品的质量和性能；然而，目前市场上尚缺乏此类产品标准，粉末性能参数的评价指标和评价方法存在较大差异，制约了该材料在增材制造领域的进一步推广。

本文件是国家重点研发计划“国家质量基础设施(NQI)”专项-多维度应力场高准确度定量表征与测量关键技术研究（2021YFF0600500）的研究成果之一，可配合“T/CSTM 01272—2024 增材制造 传感器用激光粉末床熔融制备磁芯”标准使用。本文件旨在规范增材制造用铁硅合金粉末的评价指标和测试方法，为相关产业链的技术开发与市场应用提供统一的技术指导，加速铁硅合金材料在增材制造领域的标准化和规模化应用，也为增材制造用的其它合金粉末提供有益参考。

增材制造用铁硅合金粉末

1 范围

本文件规定了增材制造用铁硅合金粉末的术语和定义、技术要求、试验方法、检验规则、标志、标签、随行文件、包装、运输、贮存及订货内容。

本文件适用于增材制造用铁硅合金粉末。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 223.8 钢铁及合金化学分析方法 氟化钠分离-EDTA 滴定法测定铝含量
- GB/T 223.11 钢铁及合金 铬含量的测定 可视滴定或电位滴定法
- GB/T 223.59 钢铁及合金 磷含量的测定 钼磷钼蓝分光光度法和铋磷钼蓝分光光度法
- GB/T 223.60 钢铁及合金 硅含量的测定 重量法
- GB/T 223.63 钢铁及合金 锰含量的测定 高碘酸钠（钾）分光光度法
- GB/T 223.79 钢铁 多元素含量的测定 X-射线荧光光谱法（常规法）
- GB/T 223.85 钢铁及合金 硫含量的测定 感应炉燃烧后红外吸收法
- GB/T 223.86 钢铁及合金 总碳含量的测定 感应炉燃烧后红外吸收法
- GB/T 1479.1 金属粉末 松装密度的测定 第1部分：漏斗法
- GB/T 1480 金属粉末 干筛分法测定粒度
- GB/T 1482 金属粉末 流动性的测定 标准漏斗法（霍尔流速计）
- GB/T 5162 金属粉末 振实密度的测定
- GB/T 5314 粉末冶金用粉末 取样方法
- GB/T 11261 钢铁 氧含量的测定 脉冲加热惰气熔融-红外线吸收法
- GB/T 16418 颗粒系统术语
- GB/T 19077 粒度分析 激光衍射法
- GB/T 35351 增材制造 术语
- GB/T 39251 增材制造 金属粉末性能表征方法
- GB/T 41978 增材制造 金属粉末空心粉率检测方法

3 术语和定义

GB/T 35351界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

粒度 particle size

颗粒物料的尺度。

[来源：GB/T 16418—2008，2.2.1.1]

3.2

粒度分布 particle size distribution

不同粒度级的颗粒在物料中所占的百分比。

[来源：GB/T 16418—2008，2.2.1.2]

3.3

表观体积 apparent volume

颗粒的固体材料包括开孔、闭孔以及缝隙的总体积。

[来源：GB/T 16418—2008，2.2.4.3]

3.4

松装密度 bulk density

以自然的方法填满已知体积的容器，其颗粒质量除以该容器的容积。

[来源：GB/T 16418—2008，2.2.4.7]

3.5

振实密度 tap density

以一定方法将颗粒填充到容器中，让容器按一定规律振动后，容器中颗粒质量除以振动后颗粒的表观体积。

[来源：GB/T 16418—2008，2.2.4.8]

3.6

球形度 degree of sphericity

颗粒接近球体的程度。

[来源：GB/T 16418—2008，2.2.2.16]

3.7

空心粉 hollow particle

内部含有封闭或半封闭气孔的金属粉末。

[来源：GB/T 41978—2022，3.1]

3.8

夹杂物 inclusion

金属粉末中含有非成分及性能所要求的物质，有金属夹杂、非金属夹杂、混合夹杂。

[来源：GB/T 39251—2020，3.2]

3.9

流动性 flowability

粉体在重力作用下能够在容器中流动和通过孔隙的能力。

[来源：GB/T 16418—2008，2.2.5.1，有修改]

4 技术要求

4.1 化学成分

产品的化学成分应符合表 1 的规定。

表 1 化学成分

牌号	化学成分（质量分数）/%								
	主要元素		杂质元素						
	Fe	Si	C	Mn	P	S	Cr	Al	O
FeSi3.5	余量	3.20~3.80	≤0.03	≤0.05	≤0.02	≤0.02	≤0.10	≤0.02	≤0.08
FeSi6.5	余量	6.20~6.80	≤0.03	≤0.08	≤0.02	≤0.02	≤0.10	≤0.02	≤0.08

4.2 粒度

产品按粒度分为三类，应符合表 2 的规定。

表 2 粒度

类别	规格(μm)	牌号	粒度组成	粒度分布	用途	
I类	15~53	FeSi3.5	>53 μm 不大于 10 %	$D_{10} \geq 10 \mu\text{m}$, $25 \mu\text{m} \leq D_{50} \leq 45 \mu\text{m}$, $D_{90} \leq 65 \mu\text{m}$	适用于激光粉末床熔 融增材制造领域	
		FeSi6.5	>53 μm 不大于 10 %	$D_{10} \geq 10 \mu\text{m}$, $25 \mu\text{m} \leq D_{50} \leq 45 \mu\text{m}$, $D_{90} \leq 65 \mu\text{m}$		
II类	20~63	FeSi3.5	>63 μm 不大于 10 %	$D_{10} \geq 15 \mu\text{m}$, $30 \mu\text{m} \leq D_{50} \leq 50 \mu\text{m}$, $D_{90} \leq 75 \mu\text{m}$		
		FeSi6.5	>63 μm 不大于 10 %	$D_{10} \geq 15 \mu\text{m}$, $30 \mu\text{m} \leq D_{50} \leq 50 \mu\text{m}$, $D_{90} \leq 75 \mu\text{m}$		
III类	53~150	FeSi3.5	>150 μm 不大于 10 %	$D_{10} \geq 40 \mu\text{m}$, $65 \mu\text{m} \leq D_{50} \leq 100 \mu\text{m}$, $D_{90} \leq 175 \mu\text{m}$		适用于激光定向能量 沉积增材制造领域
		FeSi6.5	>150 μm 不大于 10 %	$D_{10} \geq 40 \mu\text{m}$, $65 \mu\text{m} \leq D_{50} \leq 100 \mu\text{m}$, $D_{90} \leq 175 \mu\text{m}$		

4.3 松装密度

产品的松装密度应符合表 3 的规定。

表 3 松装密度

牌号	松装密度 (g/cm ³)		
	I类	II类	III类
FeSi3.5	≥4.20	≥4.28	≥4.40
FeSi6.5	≥4.20	≥4.28	≥4.38

4.4 振实密度

产品的振实密度应符合表 4 的规定。

表 4 振实密度

牌号	振实密度 (g/cm ³)		
	I类	II类	III类
FeSi3.5	≥4.50	≥4.58	≥4.70
FeSi6.5	≥4.50	≥4.58	≥4.68

4.5 球形度

产品的球形度应不低于 90 %。

4.6 空心粉率

产品的空心粉率应不大于 1 %。

4.7 夹杂物率

产品的夹杂物率应不大于 5 颗/200 g。

4.8 流动性

产品的流动性应符合表 5 的规定。

表 5 流动性

牌号	流动性 (s/50 g)		
	I类	II类	III类
FeSi3.5	≤35.0	≤35.0	≤30.0
FeSi6.5	≤35.0	≤35.0	≤30.0

4.9 外观质量

产品外观呈浅灰色，应无目视可见团聚、结块及夹杂物。

4.10 其他

如需方对产品有特殊要求，由供需双方协商确定并在订货单中注明。

5 试验方法

5.1 化学成分

产品的化学成分测定按照 GB/T 223.8、GB/T 223.11、GB/T 223.59、GB/T 223.60、GB/T 223.63、GB/T 223.79、GB/T 223.85、GB/T 223.86、GB/T 11261 的规定进行。

5.2 粒度

产品的粒度组成测定按照 GB/T 1480 的规定进行，产品的粒度分布测定按照 GB/T 19077 的规定进行。

5.3 松装密度

产品的松装密度测定按 GB/T 1479.1 的规定进行。

5.4 振实密度

产品的振实密度测定按 GB/T 5162 的规定进行。

5.5 球形度

产品的球形度测定按 GB/T 39251 的规定进行。

5.6 空心粉率

产品的空心粉率测定按 GB/T 41978 的规定进行。

5.7 夹杂物率

产品的夹杂物率测定按 GB/T 39251 的规定进行。

5.8 流动性

产品的流动性测定按 GB/T 1482 的规定进行。

5.9 外观质量

产品的外观质量测定按 GB/T 39251 的规定进行。

6 检验规则

6.1 检查和验收

产品由供方或第三方进行检验，保证产品质量符合本文件及订货单的规定，并填写随行文件。

需方可对收到的产品按本文件的规定进行检验。如检验结果与本文件及订货单的规定不符时，应在收到产品之日起 3 个月内以书面形式向供方提出，由供需双方协商解决。如需仲裁，仲裁取样在需方，由供需双方共同进行。

6.2 组批

产品应成批提交验收，每批应由同一生产工艺、同一牌号、同一类别的产品组成。

6.3 检验项目及取样

产品的检验项目及取样应符合表 6 的规定。

表 6 检验项目及取样

检验项目	取样规定	取样数量	技术要求对应的章条号	试验方法对应的章条号
化学成分	按 GB/T 5314 的规定进行	1 份/批	4.1	5.1
粒度		1 份/批	4.2	5.2
松装密度		1 份/批	4.3	5.3
振实密度		1 份/批	4.4	5.4
球形度		1 份/批	4.5	5.5
空心粉率		1 份/批	4.6	5.6
夹杂物率		1 份/批	4.7	5.7
流动性		1 份/批	4.8	5.8
外观质量	逐袋/桶	逐袋/桶	4.9	5.9

6.4 检验结果判定

6.4.1 产品的化学成分、粒度、松装密度、振实密度、球形度、空心粉率、夹杂物率、流动性检验不合格时，允许从该批产品中另取双倍数量的样品对不合格项目进行重复检验，若重复检验仍有任一结果不合格时，判该批产品不合格。

6.4.2 产品的外观质量检验不合格时，判该批产品不合格。

7 标志、标签和随行文件

7.1 标志和标签

7.1.1 产品标志

在检验合格的产品上应做如下标志（或贴标签）：

- a) 牌号；
- b) 批号。

7.1.2 包装标志

- a) 供方名称或商标、生产厂地址；
- b) 产品名称；
- c) 牌号；
- d) 批号；
- e) 规格；
- f) 净重；
- g) 生产、检验日期；
- h) 本文件编号；
- i) 包装上应有明显的“防潮”、“防热”标志或字样。

7.2 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（包括制粉工艺及原材料的特点）；
 - 对产品质量所负的责任；
 - 产品获得的质量认证及带供方技术监督部门检印的各项分析检验结果。
- b) 产品合格证，内容如下：
 - 检验项目及其结果或检验结论；
 - 批量、批号；
 - 检验日期；
 - 检验员签名或盖章。
- c) 产品质量控制过程中的检验报告及成品检验报告；
- d) 产品使用说明：正确搬运、使用、贮存方法等；
- e) 其他。

8 包装、运输和贮存

8.1 包装

产品包装应以塑料袋真空包装，或采用洁净且密封性良好的塑料桶或金属桶为容器充惰性气体保护包装。产品包装重量建议为 5 kg 或 10 kg，也可根据需方要求进行包装。

包装过程中应严格控制避免污染。

8.2 运输

产品应在有遮挡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。

8.3 贮存

产品应密封存放在通风干燥处，远离火源，严禁与氧化剂、酸类、碱类等腐蚀剂物质一起存放，应避免阳光直晒。

9 订货内容

按照本文件订货的合同或订单应包括下列内容：

- a) 本文件编号；
- b) 产品名称；
- c) 牌号；
- d) 规格；
- e) 净重；
- f) 包装方式；
- g) 其他特殊要求。

附录 A
(规范性)
粉末检验记录表

增材制造用铁硅合金粉末检验记录表见表 A.1。

表 A.1 增材制造用铁硅合金粉末检验记录表

检验单位				检验时间		_____年__月__日			
牌号				粉末规格 (μm)					
检测用仪器及型号									
检验 结果	化学成分 (质量分数) / %								
	主要元素		杂质元素						
	Fe	Si	C	Mn	P	S	Cr	Al	O
	粒度组成		粒度分布 (μm)						
			D ₁₀		D ₅₀		D ₉₀		
	松装密度/ (g/cm ³)	振实密度/ (g/cm ³)	球形度	空心粉率	夹杂物率	流动性	外观质量		
	检验结论								
检验人员									

附录 B
(资料性)
起草单位和主要起草人

本文件起草单位：中国矿业大学、北京理工大学、钢研纳克检测技术股份有限公司、美光(江苏)三维科技有限公司、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、北京科技大学、中南大学、徐州工程学院、安徽工业大学。

本文件主要起草人：刘海顺、徐春广、杨卫明、韩陈康、殷春浩、张建卫、李帅、霍军涛、张响、魏明、裴宁、焦杨、祝昌军、张雷、薛志强、侯龙。

参 考 文 献

- [1] GB/T 35021 增材制造 工艺分类及原材料
 - [2] GB/T 35022 增材制造 主要特性和测试方法 零件和粉末原材料
 - [3] GB/T 43110 增材制造用金属铬粉
 - [4] GB/T 43484 增材制造 激光粉末床熔融用高温合金粉末
 - [5] T/CSTM 01203 增材制造用 AlSi10Mg 铝合金粉末
 - [6] ASTM F3049-14 Characterizing Properties of Metal Powders Used for Additive Manufacturing Processes
-