

铝硅合金粉末

编制说明

(讨论稿)

铝硅合金粉末行业标准编制说明

一、工作简况

1.1 项目来源

根据《工业和信息化部关于印发 2020 年第二批行业标准制修订计划的通知》（工信厅科[2020]263 号）的要求，由矿冶科技集团有限公司（原北京矿冶科技集团有限公司）负责组织制定《铝硅合金粉末》有色行业标准，项目计划编号为 2020-1562T-YS，计划完成年限 2022 年。

1.2 本标准所涉及的产品简况

铝硅合金是一种以铝、硅为主成分的锻造和铸造合金。铝硅合金具有密度小、热膨胀系数小和耐磨性好的特点。当硅含量较低时（如 0.7%），铝硅合金具有较好的延展性，常用来做变形合金；硅含量较高时（如 7%），铝硅合金熔体的填充性较好，常用来做铸造合金。在含硅量在 Al-Si 共晶点（硅 11.6%）（如图 1 铝硅二元合金相图所示）处时是一种低熔点共晶体系合金，熔点 577℃，硅的颗粒可明显提高合金的耐磨性，含硅量 11%~13% 的合金以其质轻、低膨胀系数和高耐蚀性能等特点而成为最佳的活塞材料之一。在含硅量超过 Al-Si 共晶点的铝硅合金中，硅的颗粒含量高达 14.5%~25% 时，再加入一定量的 Ni, Cu, Mg 等元素能改善其综合力学性能，可用于汽车发动机中代替铸铁汽缸而减轻重量。

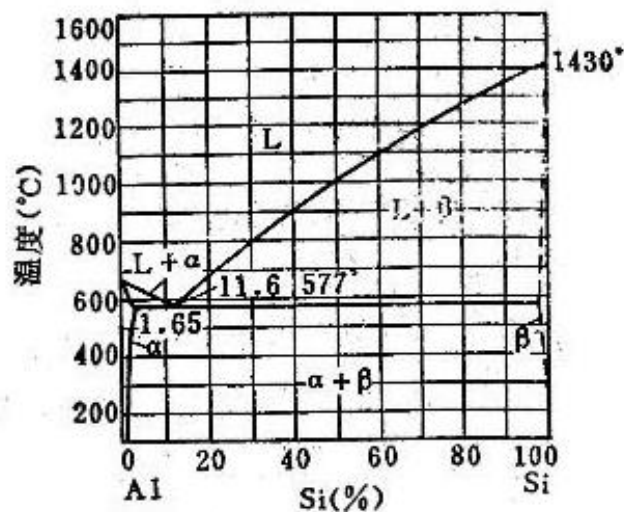


图 1 铝硅二元合金相图

采用气雾化制备工艺生产的共晶铝硅合金粉末是一种用途较广的耐磨涂层材料。铝硅合金粉末制备的涂层具有质量轻、导热性能好、硬度高、耐腐蚀等多个优点，涂层硬度和耐磨性能均优于纯铝涂层。该合金粉末适用于热喷涂和冷喷涂工艺，制备的涂层可用于修复铝、镁及其合金制成的零件。如修复磨损的喷气发动机部件、因制造过程中加工不当的发动机部件的尺寸恢复，在航空、汽车、冶金、机械、等众多工业领域具有广泛的应用前景。

国内，基于航空工业的需求，矿冶科技集团有限公司从上个世纪九十年代末开始研制铝硅粉末涂层材料，采用气雾化制粉工艺成功研制开发出性能优异的铝硅合金粉末。经过多年的发展，该先进的合金粉末涂层材料在生产工艺及在各行业的应用已日趋成熟。目前，矿冶科技集团有限公司等研究院所和企业，已建立了该合金粉末成熟的气雾化制粉生产工艺，产品质量实现稳定控制，如矿冶科技集团有限公司研制开发的 KF-340，并在航空、冶金等行业得到越来越广泛的应用，为我国重要装备的研制生产、关键装备零部件表面强化和再利用发挥了重要的作用。

国外，美科公司采用气雾化法生产铝硅合金粉末，产品根据不同粒度分为 Metco52C-NS 和 Amdry355 两个牌号，主要用于铝、镁合金零件修复，目前未见到相应产品标准。

目前该产品作为重要装备或零部件的表面强化和修复用涂层材料，可实现延长零部件使用寿命和零部件再利用，达到节省能源和资源的目的，属绿色再制造高性能涂层材料。由于该类合金粉末产品在供货和产品验收时均依据各自的企业标准或产品技术条件，在产品的制备方法、技术指标、质量控制要求、验收方法等方面没有统一的规范和标准，给供需双方在生产、贸易过程中带来许多不便。

因此，随着该产品的不断发展，为了指导该类合金粉末材料的生产，保证产品质量，规范供需双方贸易过程，大力推广该产品在各行业中的应用，引领相关行业的技术创新和技术进步，制定该产品的行业标准显得日益迫切并具有重要意义，项目的实施将具有很好的经济和社会效益。

1.3 起草单位及主要起草人工作情况

1.3.1 起草单位情况

矿冶科技集团有限公司是隶属于国务院国资委管理的中央企业，属国家首批创新型企业，是我国以金属矿产资源综合利用为核心主业的规模最大的综合性研究与设计机构，在有色金属采矿、选矿、冶炼和金属粉体材料等研究领域可代表国家水平，在国内外同行中有较大的影响。

北矿新材科技有限公司是中央直属大型科技企业北京矿冶科技集团有限公司以其所属金属材料研究设计所和北京钨钼材料厂为基础，与北京市科学技术委员会共同出资设立的集研究、开发、生产、经营四位一体的现代材料科技公司，在涂层材料和绿色电极领域具有显著的产业优势。

1.3.2 起草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给予了大力的支持和帮助。江苏威拉里新材料科技有限公司、浙江亚通焊材有限公司积极参与本标准的调研工作；江苏威拉里新材料科技有限公司、浙江亚通焊材有限公司提供了本单位相应产品的技术参数报告，为标准的编制提供了产品数据以及相关的测试数据、验证等工作。同时标准参与单位针对标准的讨论稿和征求意见稿提出修改意见，确保产品的指标能够满足生产以及实际使用要求。

主要起草人及分工见表 1。

表 1 标准主要起草人及分工

序号	联系人姓名	工作单位	分工
1	胡宇	矿冶科技集团有限公司	负责全过程的标准编制、起草及组织协调，负责标准关键指标的把控
2	马尧	矿冶科技集团有限公司	参与标准起草、资料收集、协调工作
3	许贞元	北矿新材科技有限公司	参与资料收集、调研，提供产品分析测试数据
4	周恒	北矿新材科技有限公司	参与资料收集、调研，提供产品分析测试数据
5	唐跃跃	江苏威拉里新材料科技有限公司	参与资料收集、调研，提供产品数据
6	史金光	浙江亚通焊材有限公司	参与资料收集、调研，提供产品数据

1.4 主要工作过程

1.4.1 起草阶段

2021 年 3 月，全国有色金属标准化技术委员会在江苏苏州组织召开会议，矿冶科技集团有限公司、北矿新材科技有限公司、江苏威拉里新材料科技有限公司、北京科技大学、浙江亚通焊材有限公司、盘星新型合金材料（常州）有限公

司、西北工业大学、西北有色金属研究院、广东省科学院工业分析检测中心、西安欧中材料科技有限公司、西安塞隆金属材料有限责任公司、东睦新材料集团股份有限公司、钢铁研究总院、株洲硬质合金集团有限公司、自贡硬质合金有限责任公司等单位参加了会议，会议对本项目进行了任务落实。

矿冶科技集团有限公司在接到项目下达的任务后立即与参编单位成立标准编制工作组，对目标任务进行了分解，明确成员的任务要求，制定工作计划和进度安排。由于该标准为首次制定，项目运行以来，工作组成员查阅了大量的国内外相关文献资料，收集、整理、对比分析了相关企业的技术资料，同时也对公司内部生产的铝硅合金粉末相关产品检测分析报告、用户使用状况等进行了相关资料的收集整理；对国内从事铝硅合金粉末制造、研发以及生产单位进行了调研，了解其工艺、产能、规格及质量控制水平等基本情况，并对相应结果进行汇总、分析。结合调研情况和公司近年来在铝硅合金粉末的生产制造经验，以公司现有相关质量文件和铝硅合金粉末企业标准为基础，于 2021 年 12 月底完成标准讨论稿。本标准讨论稿完成后，在编制组及公司内部进行了多次交流，广泛征求意见，对本标准讨论稿进行了认真的修改和完善，最后形成了该标准的征求意见稿。

1.4.2 征求意见阶段

2022 年 月 日- 日，全国有色金属标准化技术委员会组织在 xxx 召开本标准的讨论会。编制组成员矿冶科技集团有限公司、北矿新材科技有限公司、XXX、XXX 以及 XXX、XXX、XXX、XXX、XXX 等 XX 家单位 XX 位专家代表参加了会议。与会代表对本标准征求意见稿进行了认真、细致的讨论，提出了以下修改意见及建议：

1、XXXXXXXXXXXX

2、XXXXXXXXXXXX

XX 年 XX 月 XX 日至 XX 年 XX 月 XX 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。征求意见的单位主要包括生产、经销、使用、科研、检验等单位以及科研院校，征求意见单位广泛且具有代表性，征求意见时间大于 X 个月。

XX 年 XX 月标准制定工作组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。

1.4.3 审查阶段

XX 年 XX 月 XX 日，由全国有色金属标准化技术委员会主持在 XXX 召开了本标准的预审会。来自全国有色金属标准化技术委员会、矿冶科技集团有限公司、北矿新材料科技有限公司、XXX、XXX 以及 XXX、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，具体修改意见如下：

- 1、XXXXXXXXXXXX
- 2、XXXXXXXXXXXX

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。

XXX 年 XX 月 XX 日，行业标准《铝硅合金粉末》审定会由全国有色金属标准化技术委员会主持，于 XX 召开。来自矿冶科技集团有限公司、北矿新材料科技有限公、XXX、XXX 以及 XXX、XXX 等 XX 家单位 XX 位专家代表参加了会议，见《有色金属标准审定会参加单位及代表签名》。对标准送审稿进行了认真、细致的讨论，见《有色金属行业标准审定会会议纪要》。具体修改意见如下：

- 1、XXXXXXXXXXXX
- 2、XXXXXXXXXXXX

与会专家经过讨论后一致认为：本标准的制定遵循了满足用户需求、技术内容合理、检验方法可行的原则，充分考虑了生产企业、使用单位及相关各方的意见和建议。本标准的制定将对铝硅合金粉具有较强的规范和指导作用，达到了国内先进水平。建议编制组单位按以上修改意见修改后，形成国家标准报批稿上报。

1.4.4 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：2022 年 XX 月 XX 日至 2022 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。

二、标准编制原则和确定标准主要内容的论据

2.1 标准编制原则

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》给出的规则起草。

本标准在编制过程中，主要以国内喷涂用铝硅合金粉的生产和应用研究为基础，遵循满足市场需求、技术内容合理、检测方法可行的原则，既能够反映国内各生产企业的技术水平，便于生产，又提高可操作性，便于应用。其技术要求中技术指标取值范围根据相关企业技术发展水平及测试数据进行确定。本标准符合喷涂工艺的市场应用需求，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

随着航空发动机等工业部件在近些年的快速发展，铝硅合金粉末作为重要的高性能耐蚀、耐磨涂层材料，在航空、冶金、机械等工业领域具有广泛的应用。其标准的制定能够推进该产品向具有高性能粉末质量控制技术要求不断发展。为体现对国内相关热喷涂粉末材料生产企业的技术特点及检测手段的支持，本标准规定了铝硅合金粉末的产品要求，试验方法、检验规则及标志、包装、运输、贮存、随行文件和合同（或订货单）等内容，使之能够适应热喷涂工艺等的应用，满足相关行业工艺技术及设备不断发展的需求。

2.2.1 化学成分

本标准选取目前应用较为广泛且制备和应用成熟的共晶铝硅合金粉末，目前批量化生产产品化学组分为 AlSi12。产品中主元素为 Al、Si，通过调研相关单位生产的铝硅合金粉末化学成分报告以及实际应用需求设置恰当合理的化学成分范围。另外，杂质元素为 Fe、Cu、Zn、O，这些杂质的存在对涂层性能产生不利影响，应进行控制。铝硅合金粉末的化学成分分为主元素成分和杂质元素成分，如表 2 所示。

表 2 化学成分 (质量分数%)

主元素	杂质元素
-----	------

Al	Si	Fe	Cu	Zn	O
余量	11.0~13.0	<0.8	<0.3	<0.6	<0.3

产品化学成分分析方法。Si 元素含量分析按照 GB/T 20975.5《铝及铝合金化学分析方法第 5 部分：硅含量测定》进行测定，Fe、Cu、Zn 元素含量分析按照 GB/T 20975.25《铝及铝合金化学分析方法第 25 部分：元素含量的测定电感耦合等离子体原子发射光谱法》进行测定，O 含量分析按照 GB/T11261《钢铁氧含量的测定脉冲加热惰气熔融-红外线吸收法》进行测定。

2.2.2 粒度组成

铝硅合金粉采用感应熔炼+惰性气体雾化工艺制备，喷涂工艺、喷涂设备的不同，产品的粒度规格及组成有一定差别。根据等离子喷涂、冷喷涂不同工艺技术要求，参考矿冶科技集团有限公司、北矿新材科技有限公司、江苏威拉里新材料科技有限公司、浙江亚通焊材有限公司提供的产品数据，以及标准会议上生产单位、用户、科研院所的充分讨论，本标准规定了两种铝硅合金粉粒度规格，第一种为 45 μm ~106 μm ，适用于等离子喷涂工艺，第二种为小于等于 45 μm ，适用于冷喷涂工艺，同时，若需方对粒度有其他要求，可由工序双方协商确定。粒度组成要求如表 3 所示。

表 3 粒度要求

粒度规格	粒度组成	推荐用途
45 μm ~106 μm	<45 μm 不大于 15% >106 μm 不大于 5%	适用于等离子喷涂工艺
\leq 45 μm	>45 μm 不大于 5%	适用于冷喷涂工艺
注：需方对粒度范围有特殊要求时，由供需双方协商确定。		

铝硅合金粉粒度检测按照 GB/T 1480《金属粉末粒度组成的测定 干筛分法》。

2.2.3 松装密度

粉末松装密度是粉末在规定条件下自由充满标准容器后所测得的堆积密度，即粉末松散填装时单位体积的质量，是粉末的一种工艺性能。松装密度是粉末多种性能的综合体现，可以反映出粉末的密度、颗粒形状、颗粒密度和表面状态、粉末的粒度及粒度分布等。粉末颗粒形状越规则、颗粒表面越光滑、颗粒越致密，粉末的松装密度会越大。通常情况，松装密度随颗粒尺寸的减小、颗粒非球状系数的增大以及表面粗糙度的增加而减小。

本标准结合矿冶科技集团有限公司、北矿新材科技有限公、江苏威拉里新材料科技有限公司、浙江亚通焊材有限公司提供的铝硅合金粉末松装密度的技术指标，本标准对松装密度做出以下规定：

- a) 对于粒度规格为 $45\mu\text{m}\sim 106\mu\text{m}$ 的产品，要求松装密度不小于 $1.1/\text{cm}^3$ ；
- b) 对于粒度规格为小于等于 $45\mu\text{m}$ 的产品，要求松装密度不小于 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。

铝硅合金粉松装密度的检测按照 GB/T 1479.1《金属粉末 松装密度的测定 第1部分：漏斗法》的规定执行。

2.2.4 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。粉末的流动性均会影响喷涂工艺和涂层性能。

本标准结合矿冶科技集团有限公司、北矿新材科技有限公、江苏威拉里新材料科技有限公司、浙江亚通焊材有限公司提供的铝硅合金粉末流动性的技术指标。同时考虑到不同喷涂工艺的设备的送粉器和粉末实际情况，其对等离子喷涂工艺用粉末（粒度规格为 $45\mu\text{m}\sim 106\mu\text{m}$ ）的流动性做出要求，而冷喷涂工艺是一种利用压缩空气加速金属粒子到临界速度（超音速），使金属粒子撞扁在基体表面并牢固附着的一种喷涂技术，因此对粉末流动性无要求。所以本标准只规定粒度规格为 $45\mu\text{m}\sim 106\mu\text{m}$ 粉末产品的流动性要求不大于 $100\text{s}/50\text{g}$ 。

铝硅合金粉流动性的检测按照 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。

2.2.5 外观质量

铝硅合金粉的外观质量可以直观反映出粉末品质，以及是否因保存不当导致受潮或其他杂物的污染。本标准规定铝硅合金产品外观呈灰色，颜色均一，无目视可见夹杂物。

2.3 主要试验（或验证）情况分析

2.3.1 化学成分

各验证单位生产的铝硅合金粉的化学成分检测结果如表 4 所示。

表4 铝硅合金粉末化学成分测试结果

质量分数/%

元素 单位	产品批号	粒度规格	Al	Si	Fe	Cu	Zn	O
单位1	21121640	45 μm ~106 μm	余量	11.56	0.17	0.03	<0.1	0.12
单位1	21053140	45 μm ~106 μm	余量	11.98	0.21	0.02	0.011	0.11
单位2	17010940	45 μm ~106 μm	余量	11.84	0.28	0.16	0.014	0.09
单位2	201229A	$\leq 45\mu\text{m}$	余量	11.40	0.28	<0.01	<0.025	0.16
单位2	190322A	$\leq 45\mu\text{m}$	余量	12.12	0.30	<0.01	0.046	0.15
单位3	202106-PRD-11	45 μm ~106 μm	余量	12.05	0.25	<0.05	0.030	0.10
单位3	202010-PRD-47	$\leq 45\mu\text{m}$	余量	11.80	0.40	<0.05	0.021	0.12
单位4	220215	45 μm ~106 μm	余量	11.46	0.70	0.009	0.03	0.0146

注：单位1—矿冶科技集团有限公司；单位2—北矿新材科技有限公司；单位3-江苏威拉里新材料科技有限公司；单位4-浙江亚通焊材有限公司。

从上表中可以看出，矿冶科技集团有限公司以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，在本标准指导下，能够保障铝硅合金粉末产品质量稳定性，表明标准中规定的化学成分控制要求科学合理。

2.3.2 粒度

各验证单位生产的铝硅合金粉的粒度组成如表5所示。

表5 铝硅合金粉末粒度组成测试结果

序号	单位	粒度规格	产品批号	测试结果
1	单位1	45 μm ~106 μm	20031240	+106 μm : 0.2%; -106+45 μm : 95.4%; -45 μm : 4.4%
2	单位1	45 μm ~106 μm	21053140	+106 μm : 1.6%; -106+45 μm : 91.4%; -45 μm : 7.0%
3	单位1	45 μm ~106 μm	21121640	+106 μm : 0.2%; -106+45 μm : 95.2%; -45 μm : 4.6%
4	单位2	45 μm ~106 μm	17010940	+106 μm : 2.4%; -106+45 μm : 96.8%; -45 μm : 0.8%
5	单位2	$\leq 45\mu\text{m}$	17010940	+45 μm : 0%, -45 μm : 100%
6	单位2	$\leq 45\mu\text{m}$	190322A	+45 μm : 0.4%, -45 μm : 99.6%
7	单位3	$\leq 45\mu\text{m}$	202010-PRD-47	+45 μm : 1.0%, -45 μm : 99.0%
8	单位3	45 μm ~106 μm	202003-PRD-13	+106 μm : 0.8%; -106+45 μm : 94.1%; -45 μm : 5.1%
9	单位4	45 μm ~106 μm	220215	+106 μm : 3.4%; -106+45 μm : 95.8%; -45 μm : 0.8%

注：单位1—矿冶科技集团有限公司；单位2—北矿新材科技有限公司；单位3-江苏威拉里新材料科技有限公司；单位4-浙江亚通焊材有限公司。

从表中可以看出粉末规格为-106+45 μm 的粒度组成中 $>106\mu\text{m}$ 的质量百分比在0.2%到3.4%之间， $<45\mu\text{m}$ 的质量百分比在0.8%到7.0%之间；粉末规格为-45 μm 的粒度组成中 $>45\mu\text{m}$ 的质量百分比在0%到1.0%之间，均满足标准控制

要求值。

2.3.3 松装密度

各验证单位生产的铝硅合金粉的松装密度结果如表 6 所示。

表 6 铝硅合金粉末松装密度

序号	单位	粒度规格	产品批号	测试结果 (g/cm ³)
1	单位 1	45μm~106μm	21121640	1.21
2	单位 1	45μm~106μm	21053140	1.27
3	单位 2	45μm~106μm	17010940	1.15
4	单位 2	≤45μm	201229A	1.03
5	单位 2	≤45μm	190322A	1.19
6	单位 3	≤45μm	202010-PRD-47	1.20
7	单位 3	45μm~106μm	202003-PRD-13	1.29
8	单位 4	45μm~106μm	220215	1.33

注：单位1—矿冶科技集团有限公司；单位2—北矿新材科技有限公司；单位3-江苏威拉里新材料科技有限公司；单位4-浙江亚通焊材有限公司。

由表 6 可见，不同验证单位检测的不同类别的铝硅合金粉末，其松装密度均可满足标准设定值，标准对粉末松装密度的要求是科学合理的。

2.3.4 流动性

各验证单位生产的铝硅合金粉的松装密度结果如表 7 所示。

表 7 铝硅合金粉末流动性

序号	单位	粒度规格	产品批号	测试结果 (s/50g)
1	单位 1	45μm~106μm	21121640	71.33
2	单位 1	45μm~106μm	21053140	66.31
3	单位 2	45μm~106μm	17010940	79.73
4	单位 3	45μm~106μm	202010-PRD-47	80.40
5	单位 4	45μm~106μm	220215	58.70

注：单位1—矿冶科技集团有限公司；单位2—北矿新材科技有限公司；单位3-江苏威拉里新材料科技有限公司；单位4-浙江亚通焊材有限公司。

由表 7 可见，粒度规格为 45μm~106μm 铝硅合金粉末流动性实测值在 58.70s/50g 至 79.73 s/50g 之间，均满足标准规定的要求。表明标准规定的粉末流动性控制要求科学合理。

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他国际或国外标准。

3.2 国际、国外同类标准水平的对比分析

经查，国外无相同的标准。

3.3 与现有标准及制定中标准协调配套的情况

经查，标准与现有标准及制定中的标准无重复交叉情况。

3.4 涉及国内外专利及处置情况

经查，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

与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

暂无重大分歧意见。

六、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议作为推荐性有色行业标准。

七、贯彻标准的要求和措施建议

标准发布后宣贯实施。

八、废止现行有关标准的建议

无。

九、其他应予说明的事项

无。

十、预期效果

本标准充分考虑了我国目前铝硅合金粉末制备方法和工艺技术水平状况，以及热喷涂行业对该粉末当前及发展的要求，求同存异。标准颁布执行后，将引导热喷涂粉末生产企业和相关加工行业对铝硅合金粉末的质量控制要求有标准可查，有据可依，促进企业的有序竞争和发展。同时，对从国外进口的铝硅合金粉末也可依本标准实施检测。因此，本标准实施后，矿冶科技集团有限公司将积极向国内生产厂家及国内外用户推荐采用本标准。

《铝硅合金粉末》标准编制小组

二〇二二年一月二十六日