**Ni-Cr-B-Si 系自熔合金粉**

**编制说明**

**（预审稿）**

**Ni-Cr-B-Si 系自熔合金粉**行业标准编制说明

一、工作简况

1.1 项目来源

根据《工业和信息化部办公厅关于印发2024年第一批行业标准制修订计划的通知》（工信厅科[2024]18号）的要求，由北矿新材科技有限公司负责组织修订《Ni-Cr-B-Si 系自熔合金粉》有色行业标准，项目计划编号为2024-0219T-YS，计划完成年限2025年。

1.2 本标准所涉及的产品简况

自熔性合金指向Fe、Ni、Co基合金中，加入能够形成低熔点共晶的合金元素（主要是B和Si），构成的一类常用的合金喷焊和喷涂材料。自熔性合金粉末具有自熔性、低熔点、适宜的液固相线温度区间、好的固态流动性，在熔融过程中能够自行的脱氧、造渣等特性，并可润湿基材的表面，从而与基材实现冶金结合。

Ni-Cr-B-Si系自熔合金主要以镍作为基体，加入铬元素，起到固溶强化作用和钝化作用，提高耐蚀性能和抗高温氧化性能，富余的铬容易与碳、硼形成碳化铬、硼化铬硬质相从而提高合金硬度和耐磨性。B和Si的加入显著降低合金熔点，扩大固液相线温度区形成低熔共晶物，实现脱氧还原作用和造渣功能，同时能起到涂层的硬化、强化作用，改善操作工艺性能。自熔合金涂层可重新加热到1000℃以上达到熔融状态，不仅能够使涂层与基体之间实现冶金结合，而且还能够消除涂层内的孔隙，改善涂层性能。

Ni-Cr-B-Si系自熔合金具有良好的耐磨性、耐蚀性、耐热性和抗氧化性等综合性能。随着感应重熔、等离子堆焊以及激光熔覆等工艺技术的不断发展，Ni-Cr-B-Si系自熔合金粉末作为优良的耐磨、耐蚀材料在冶金、矿山、煤炭、石油、化工、机械、电力、船舶等众多工业领域中有着广泛而重要的应用。

随着工业应用需求，钼和铜也被加入到Ni-Cr-B-Si合金中，其中铜可显著提高合金在非氧化性酸中的耐蚀性能，钼可提高基体的高温强度，抗气蚀、冲蚀性能，同时还能增强合金在酸中的耐蚀性能。超音速火焰喷涂工艺对15μm～53μm的粉末需求大幅增加，<250μm的粉末在粉末冶金行业中获得应用。

Ni-Cr-B-Si系自熔合金粉末采用雾化工艺制备，将配好的原料，按要求放置在感应熔炼炉中，加热熔化后在一定惰性气体或水的压力下破碎并冷却成合金粉末，制备的合金粉末近球形，具有良好的流动性，粉末的扫描电镜形貌照片如图1所示。



图1 Ni-Cr-B-Si系自熔合金粉形貌照片

我国于上世纪70年代开始研制并生产出雾化Ni-Cr-B-Si系自熔合金粉，突破了多项关键技术，如矿冶科技集团有限公司采用水雾化、气雾化的制粉工艺，产品稳定性好，制备的粉末的化学成分稳定、氧及杂质含量低、批次稳定性好。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，产品已成功应用于钢铁、石油、机械制造等多个行业。目前，以北矿新材科技有限公司、矿冶科技集团有限公司、自贡长城硬面材料有限公司、天津铸金科技开发股份有限公司等为代表的研究院所和企业，已建立了该合金粉末成熟的雾化制粉生产工艺，产品质量实现稳定控制，如矿冶科技集团有限公司的开发的KF-Ni60A、KF-Ni60CuMo，已在钢铁、石油等行业得到越来越广发的应用。

国外，生产Ni-Cr-B-Si系自熔合金粉的工艺较为完善，产品性能稳定，代表性企业有卡斯特林、欧瑞康美科等。未见有该产品的国、内外技术标准文件的报道。

采用喷焊、喷涂、堆焊等工艺制备的Ni-Cr-B-Si系自熔合金涂层具有涂层致密、结合强度高、加工性能好，以及优异的耐磨、耐蚀性能，在钢轧辊、型材轧辊、棒线材轧辊、涡轮发动机叶片、风机叶片、轧辊的主轴、电机主轴、拔丝轮、导轮、输送辊、活塞环、接箍、泵柱塞、玻璃磨具、机床导轨、挤压模等部件的修复和表面强化，在冶金、矿山、煤炭、石油、化工、机械、电力、船舶等工业领域具有广泛应用，可延长零部件使用寿命和修复零部件再利用，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。该产品在《重点新材料首批次应用示范指导目录（2021 年版）中，符合《战略性新兴产业分类（2018）》中3.2.8.5硬面合金与陶瓷粉料与丝材制造“等离子喷涂与热喷镀粉”。

本标准在1985年首次制定国家标准GB/T 5316-1985，后改为行标，现行标准YS/T 527-2014发布于2014年，十年来国内粉末行业取得了长足的进步，从产品成分设计，钼和铜元素被加入到Ni-Cr-B-Si合金中，用以提高材料的耐蚀性能。从应用端，喷涂设备有了很大的变化，伴随超音速火焰喷涂等新技术的普及，涂层制备方法多样化。目前该标准无论从内容还是形式、规范上都不再适应现代化生产产品要求，不能起到有效区别产品质量、规范市场、指导企业生产的作用。因此随着粉末行业及生产技术的不断发展，为了更好的指导该类合金粉末的生产，保证产品质量，对该标准进行修订，以更好的满足行业的需求。

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

北矿新材科技有限公司为矿冶科技集团有限公司所属二级全资子公司，主要从事特种功能粉末、涂层材料、涂层技术、难熔金属材料的研发、生产、销售与服务，主要产品包括用于耐磨、耐高温、抗氧化、耐腐蚀、隔热、密封等用途的热喷涂、喷焊、熔覆等加工的金属粉末、合金粉末、陶瓷粉末、复合粉末等涂层材料；难熔金属材料产品包括钨、钼、铼等制品。产品技术广泛应用于航空、航天、兵器、石油化工、船舶工程、重型机械、冶金等领域，是国内航空发动机关键涂层材料、高纯难熔金属材料的主要供应商和技术创新基地。公司拥有一支200余人的专业化人才队伍，技术研发实力雄厚，曾承担国家重大军工专项、国家重点研发计划、国家自然科学基金等省部级及以上科研课题119项，荣获省部级及以上科技成果奖励27项，拥有授权发明专利152项，被认定为国家高新技术企业、国家技术创新示范企业、国家级“专精特新”小巨人企业等，拥有“北京市企业技术中心”“北京市重点实验室”“科技部国际科技合作基地”等多个创新平台。

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开发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。

上海铸宇材料科技有限公司是一家专业从事耐磨耐腐蚀耐高温特种合金材料制造商，高新技术企业。主要产品有镍基、钴基、铁基、镍（钴、铁）复合碳化钨系列粉末、钴基连铸铸棒、钴基焊条、碳化钨管焊条等。产品广泛应用于氧乙炔喷（堆）焊、超音速喷涂、等离子堆焊、激光熔覆、感应重熔、TIG堆焊、粉末冶金、注射成型、离心浇铸、热等静压、3D打印等工艺。

钢铁研究总院有限公司是我国金属新材料研发基地和行业共性关键技术开发基地，承担了我国冶金行业众多新材料研发任务和共性关键技术研发任务，先后研制了近千种高技术新材料，满足了国家安全重点装备型号建设需求；面向国家重大工程和国民经济重点行业需求，围绕材料品质提升、产品用户技术、冶金工艺及装备技术等领域，开发了一批新产品、新工艺、新技术、新装备，为能源石化、交通建筑、海洋工程、电子机械等提供了强力材料技术支撑，引领支撑了冶金及用户行业转型升级和创新发展。

天津铸金科技开发股份有限公司成立于1989年，专注于高端合金粉体材料的研发和生产工作，先后获得国家专精特新“小巨人”企业、市级制造业单项冠军、国家高新技术企业、省部级级企业技术中心、省部级企业培训中心、天津市第三批战略性新兴产业领军企业等荣誉。

洛阳金鹭硬质合金工具有限公司，成立于2012年，是国有上市公司厦门钨业股份有限公司100%投资的“金鹭”系硬质合金骨干企业。公司注册资金10.5亿元人民币，一期投资13亿元人民币。主要从事钨粉末产品、硬面材料产品、硬质合金顶锤、硬质合金辊环、凿岩工程工具等钨系列产品的生产与销售。

自贡长城表面工程技术有限公司系由自贡硬质合金有限责任公司2009年与瑞士HFTechnologiesAG公司合资建成。公司隶属于中国五矿，是集团公司钨产业布局七大业务板块之一。公司承续自贡硬质合金有限责任公司半个世纪的硬面材料研发与生产技术底蕴，引进吸收国际先进硬面材料生产技术及管理理念，已发展成为集硬面材料研发、生产与应用服务于一体的高新技术企业。公司建成了碳化物基础材料、金属陶瓷热喷涂材料、熔渗材料、堆焊材料等生产线，产品包括硬质合金/金属合金喷涂材料、堆焊材料、熔渗材料、硬质合金耐磨焊条/丝/绳、破碎及球状铸造碳化钨、粗晶碳化钨、硬质合金球粒及增材制造金属合金材料等。

西北有色金属研究院始建于1965年，是上世纪60年代国家在三线重点投资建设的稀有金属材料研究基地和行业技术开发中心，是国家首批转制的242家科研院所之一、全国全面创新改革试点单位，2015年被陕西省委省政府确定为“一院一所”创新发展模式的典型示范单位，2020年被陕西省委省政府定位为“新型科研机构”。

上海铸宇材料科技有限公司是一家专业从事耐磨耐腐蚀耐高温特种合金材料制造商，高新技术企业。主要产品有镍基、钴基、铁基、镍（钴、铁）复合碳化钨系列粉末、钴基连铸铸棒、钴基焊条、碳化钨管焊条等。产品广泛应用于氧乙炔喷（堆）焊、超音速喷涂、等离子堆焊、激光熔覆、感应重熔、TIG堆焊、粉末冶金、注射成型、离心浇铸、热等静压、3D打印等工艺。

1.3.2 主要修订人工作情况

在标准修订过程中，各参编单位给予了大力的支持和帮助。x公司积极参与本标准的调研工作，提供产品数据以及相关的测试数据、验证等工作；x公司为标准的编制提供了样品、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。主要修订人及分工见表1。

表1 标准主要修订人及分工

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 修订人 | 工作单位 | 分工 |
| 1 |  |  | 负责全过程的标准编制、修订及组织协调，负责标准关键指标的把控 |
| 2 |  |  | 参与标准起草、验证、协调工作 |
| 3 |  |  | 参与产品调研、标准资料收集 |
| 4 |  |  | 提供产品分析测试数据 |
| 5 |  |  | 提供产品分析测试数据 |

1.4 主要工作过程

1.4.1起草阶段

2024年5月21~24日，全国有色金属标准化技术委员会组织在无锡召开了本标准的任务落实会。来自北矿新材科技有限公司、矿冶科技集团有限公司、天津铸金科技开发股份有限公司等家16单位的20名代表参加了会议，会议对本项目进行了任务落实。

北矿新材科技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，修订工作计划和进度安排。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Ni-Cr-B-Si系自熔合金粉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；对国内从事该粉末制造、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Ni-Cr-B-Si粉末的生产制造经验，以旧版标准为基础，于 2024年11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

2024年12月16~19日，全国有色金属标准化技术委员会组织在哈尔滨召开了本标准的讨论会。编制组成员北矿新材科技有限公司、矿冶科技集团有限公司、上海铸宇材料科技有限公司、天津铸金科技开发股份有限公司、西北有色金属研究院、钢铁研究总院有限公司，以及有研粉末新材料（合肥）有限公司、北京钢研高纳科技股份有限公司、广东省科学院新材料研究所、西安欧中材料科技股份有限公司、浙江亚通新材料股份有限公司、有研工程技术研究院有限公司等30家单位的36名代表参加了会议。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。标准编制小组根据专家提出的修改意见与建议进行了修改，形成了标准预审稿。

2025年5月15日，全国有色金属标准化技术委员会组织在运城召开了本标准的预审会。来自等xx家单位的xx名代表参加了会议。与会代表对本标准预审稿进行了认真、细致的讨论，并提出修改意见，标准编制组采纳了相关意见，并对标准进行修改完善，形成标准送审稿及编制说明。

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](http://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2个月。

xx年x月标准制定工作组对收集到的意见进行整理，共收到了x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。

1.4.3 审查阶段

1.4.4 报批阶段

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》给出的规则修订。

本标准在修订过程中，主要以国内Ni-Cr-B-Si自熔系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

采用喷焊、喷涂、堆焊等工艺制备的Ni-Cr-B-Si系自熔合金涂层具有涂层致密、结合强度高、加工性能好，以及优异的耐磨、耐蚀性能，在冶金、矿山、煤炭、石油、化工、机械、电力、船舶等工业领域的工业部件上具有广泛应用。随着新产品、新技术的涌现，2014版标准已不能起到有效区别产品质量、规范市场、指导企业生产的作用，为体现对国内相关热喷涂粉末材料生产企业的技术特点、应用方式、检测手段的支持，更好的指导该类合金粉末的生产，保证产品质量，对该标准进行修订，以更好的满足行业的需求。本标准规定了Ni-Cr-B-Si系自熔合金粉的产品要求，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

根据产品的硬度及化学成分不同为九个牌号，分别为FZNi-25、FZNi-35、FZNi-45、FZNi-45-CuMo、FZNi-55、FZNi-60AA、FZNi-60A、FZNi-60B、FZNi-60A-CuMo。本产品中主元素为Cr、B、Si、C、Fe、Cu、Mo；杂质元素为O，含量过高会对涂层性能产生不利影响，应进行控制。调研到主要厂家9种牌号产品化学成分范围如表2所示。

 表2 相关厂家产品化学成分 质量分数/%

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 牌号 | 单位 | 化学成分 |
| Ni | Cr | B | Si | C | Cu | Mo | Fe | O |
| FZNi-25 | YS/T 527-2014 | 余量 | 5.0~10.0 | 1.0~2.0 | 2.0~3.5 | ≤0.2 | - | - | ≤4.0 | ≤0.08 |
| 单位1 | 余量 | 5.0~10.0 | 1.0~2.0 | 2.0~3.5 | ≤0.2 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位2 | 余量 | 5.0~10.0 | 1.0~2.0 | 2.0~3.5 | ≤0.2 | - | - | ≤10.0 | ≤0.10 |
| 单位3 | 余量 | 5.5~10.5 | 1.0~2.0 | 3.0~4.0 | ≤0.3 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位4 | 余量 | 5.0~7.0 | 1.0~2.0 | 2.5~3.5 | ≤0.2 | - | - | ≤5.0 | ≤0.05 |
| FZNi-35 | YS/T 527-2014 | 余量 | 7.0~10.0 | 1.5~2.5 | 2.0~3.5 | ≤0.4 | - | - | ≤4.0 | ≤0.08 |
| 单位1 | 余量 | 7.0~10.0 | 1.5~2.5 | 2.0~3.5 | ≤0.4 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位2 | 余量 | 7.0~10.0 | 1.5~2.5 | 2.0~3.5 | ≤0.4 | - | - | ≤10.0 | ≤0.10 |
| 单位3 | 余量 | 9.0~12.0 | 1.5~2.5 | 3.0~4.0 | ≤0.4 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位4 | 余量 | 7.0~9.0 | 1.5~2.0 | 3.0~4.0 | ≤0.3 | - | - | ≤4.0 | ≤0.05 |
| 单位8 | 余量 | 7.0~13.0 | 1.5~2.5 | 2.0~3.5 | ≤0.4 |  |  | ≤4.0 | ≤0.08 |
| FZNi-45 | YS/T 527-2014 | 余量 | 11.0~15.0 | 2.0~3.0 | 2.0~3.5 | 0.3~0.6 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位1 | 余量 | 11.0~15.0 | 2.0~3.0 | 2.0~3.5 | 0.3~0.6 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位2 | 余量 | 11.0~15.0 | 2.0~3.0 | 2.0~3.5 | 0.3~0.6 | - | - | ≤5.0 | ≤0.10 |
| 单位3 | 余量 | 7.0~8.0 | 2.0~3.0 | 3.0~4.0 | 0.3~0.6 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位4 | 余量 | 7.0~11.0 | 1.5~2.5 | 3.0~4.0 | 0.2~0.5 | - | - | ≤5.0 | ≤0.05 |
| 单位5 | 余量 | 9.0~11.0 | 1.7~2.3 | 3.0~4.0 | 0.2~0.5 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位8 | 余量 | 11.0~15.0 | 1.8~2.8 | 2.5~4.0 | 0.2~0.6 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| FZNi-45-CuMo | 单位1 | 余量 | 10.0~15.0 | 1.5~2.5 | 3.0~4.5 | 0.3~0.6 | 2~4 | 2~4 | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位2 | 余量 | 9.0~14.0 | 1.5~3.0 | 2.0~4.5 | 0.3~0.6 | 2~4 | 2~4 | ≤5.0 | ≤0.08 |
| FZNi-55 | YS/T 527-2014 | 余量 | 14.0~17.0 | 2.5~4.0 | 3.5~5.0 | 0.5~0.9 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位3 | 余量 | 14.0~17.0 | 2.5~4.0 | 3.5~5.0 | 0.5~0.9 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位4 | 余量 | 14.0~17.0 | 2.5~3.5 | 3.5~4.5 | 0.5~0.8 | - | - | ≤5.0 | ≤0.05 |
| 单位6 | 余量 | 14.0~16.0 | 2.0~3.0 | 4.0~5.0 | 0.5~0.6 | - | - | 3.0~5.0 | ≤0.03 |
| 单位5 | 余量 | 14.0~18.0 | 2.5~4.0 | 3.5~5.0 | 0.4~0.9 | 2.0~3.0 | 2.0~3.0 | ≤5.0 | ≤0.10 |
| 单位8 | 余量 | 12.0~18.0 | 2.5~3.5 | 3.5~4.5 | 0.3~0.7 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| FZNi-60AA | YS/T 527-2014 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~5.0 | 3.0~5.5 | 0.5~1.1 | - | - | ≤3.0 | ≤0.08 |
| 单位1 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~5.0 | 3.0~5.5 | 0.7~1.1 | - | - | ≤3.0 | ≤0.08 |
| 单位2 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~5.0 | 3.0~5.5 | 0.7~1.1 | - | - | ≤3.0 | ≤0.08 |
| 单位3 | 余量 | 16.0~17.0 | 2.5~4.0 | 3.0~5.0 | 0.5~1.0 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位4 | 余量 | 15.0~18.0 | 3.0~4.0 | 3.5~5.0 | 0.5~1.0 | - | - | ≤5.0 | ≤0.05 |
| 单位8 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.5~5.5 | 0.5~1.1 | - | - | ≤3.0 | ≤0.08 |
| FZNi-60A | YS/T 527-2014 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.0~5.0 | 0.5~1.1 | - | - | ≤5.0. | ≤0.08 |
| 单位1 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.0~5.0 | 0.7~1.1 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位2 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.0~5.0 | 0.7~1.1 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位3 | 余量 | 16.0~17.0 | 3.0~4.5 | 3.0~5.0 | 0.5~1.0 | - | - | ≤8.0 | -　 |
| 单位4 | 余量 | 15.0~18.0 | 3.0~4.0 | 3.5~5.0 | 0.5~1.0 | - | - | ≤8.0 | ≤0.05 |
| 单位5 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.5~5.5 | 0.5~1.1 | - | - | ≤5.0 | ≤0.10 |
| 单位7 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.0~5.0 | 0.5~1.1 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位8 | 余量 | 12.0~18.0 | 2.5~4.5 | 3.5~5.5 | 0.5~1.0 | - | - | ≤5.0. | ≤0.08 |
| FZNi-60B | YS/T 527-2014 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.0~5.0 | 0.5~1.1 | - | - | >5.0~15.0 | ≤0.08 |
| 单位1 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.0~5.0 | 0.7~1.1 | - | - | >5.0~15.0 | ≤0.08 |
| 单位2 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.0~5.0 | 0.7~1.1 | - | - | >5.0~15.0 | ≤0.08 |
| 单位4 | 余量 | 15.0~18.0 | 3.0~4.0 | 3.5~5.0 | 0.5~1.0 | - | - | 10.0~15.0 | ≤0.05 |
| 单位7 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.0~5.0 | 0.5~1.1 | - | - | >5.0~15.0 | ＞5.0~15.0 |
| 单位8 | 余量 | 15.0~17.0 | 3.0~4.0 | 3.0~5.0 | 0.6~1.0 | - | - | >10.0~15.0 | ≤0.08 |
| FZNi-60A-CuMo | 单位1 | 余量 | 13.0~19.0 | 2.5~5.0 | 3.0~5.0 | 0.35~1.2 | 1.0~3.5 | 1.0~3.0 | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位2 | 余量 | 15.0~20.0 | 3.0~4.5 | 3.0~5.0 | 0.3~1.2 | 1.0~4.0 | 1.0~3.0 | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 单位3 | 余量 | 15.0~18.0 | 2.9~3.5 | 3.5~4.5 | 0.3~0.7 | 2.0~3.0 | 2.0~3.0 | ≤4.0 | 　- |
| 单位4 | 余量 | 16.0~19.0 | 3.0~4.0 | 3.5~5.0 | 0.4~1.0 | 2.0~3.0 | 2.0~3.0 | ≤5.0 | ≤0.05 |
| 单位5 | 余量 | 15.0~17.0 | 2.5~4.0 | 3.5~5.0 | 0.4~0.7 | 2.0~4.0 | 2.0~4.0 | 1.5~4.0 | ≤0.08 |
| 单位8 | 余量 | 15.0~17.0 | 3.0~4.0 | 3.5~4.5 | 0.5~1.0 | 2.0~3.0 | 2.0~3.0 | ≤5.0 | ≤0.08 |
| 注：单位1—北矿新材科技有限公司；单位2—矿冶科技集团有限公司；单位3-自贡长城表面工程技术有限公司；单位4-天津铸金科技开发股份有限公司；单位5-洛阳金鹭硬质合金工具有限公司；单位6-西北有色金属研究院；单位7-钢铁研究总院有限公司；单位8-上海铸宇材料科技有限公司。 |

根据各家给定的产品化学成分范围结合2014版标准，确定各牌号的化学成分如表3所示。

表3 产品的化学成分

质量分数/%

|  |  |
| --- | --- |
| 牌号 | 化学成分 |
| Ni | Cr | B | Si | C | Cu | Mo | Fe | O |
| FZNi-25 | 余量 | 5.0～10.0 | 1.0～2.0 | 2.0～3.5 | ≤0.2 | - | - | ≤4.0 | ≤0.08 |
| FZNi-35 | 余量 | 7.0～10.0 | 1.5～2.5 | 2.0～3.5 | ≤0.4 | - | - | ≤4.0 | ≤0.08 |
| FZNi-45 | 余量 | 11.0～15.0 | 2.0～3.0 | 2.0～3.5 | 0.3～0.6 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| FZNi-45-CuMo | 余量 | 9.0～15.0 | 1.5～3.0 | 2.0～4.5 | 0.3～0.6 | 2.0～4.0 | 2.0～4.0 | ≤5.0 | ≤0.08 |
| FZNi-55 | 余量 | 14.0～17.0 | 2.5～4.0 | 3.5～5.0 | 0.5～0.9 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| FZNi-60AA | 余量 | 15.0～20.0 | 3.0～5.0 | 3.0～5.5 | 0.7～1.1 | - | - | ≤3.0 | ≤0.08 |
| FZNi-60A | 余量 | 15.0～20.0 | 3.0～4.5 | 3.0～5.5 | 0.7～1.1 | - | - | ≤5.0 | ≤0.08 |
| FZNi-60B | 余量 | 15.0～20.0 | 3.0～4.5 | 3.0～5.5 | 0.7～1.1 | - | - | >5.0~15.0 | ≤0.08 |
| FZNi-60A-CuMo | 余量 | 13.0～20.0 | 2.5～5.0 | 3.0～5.0 | 0.3～1.2 | 1.0～4.0 | 1.0～4.0 | ≤5.0 | ≤0.08 |

产品Cr含量的测定按YS/T 539.4《镍基合金粉化学分析方法 第4部分：铬量的测定 过硫酸铵氧化滴定法》的规定进行，B含量的测定按YS/T 539.1《镍基合金粉化学分析方法 第1部分：硼含量的测定 酸碱滴定法》的规定进行，Si含量的测定按YS/T 539.3《镍基合金粉化学分析方法 第3部分：硅含量的测定 钼蓝分光光度法》的规定进行，Fe含量的测定按YS/T 539.6《镍基合金粉化学分析方法 第6部分：铁量的测定 三氯化钛-重铬酸钾滴定法》的规定进行，Cu含量的测定按YS/T 539.5《镍基合金粉化学分析方法 第5部分：铜含量的测定 硫代硫酸钠碘量法》的规定进行，Mo含量的测定按YS/T 539.9《镍基合金粉化学分析方法 第9部分：杂质元素含量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法》的规定进行，同时Cr、B、Si、Fe、Cu含量测定也可参考该标准测试，O含量的测定按YS/T 539.8《镍基合金粉化学分析方法 第8部分：氧量的测定 脉冲加热惰气熔融-红外线吸收法》的规定进行。

2.2.2 熔融温度和沉积层硬度

 参考主要生产单位产品数据， 新增牌号的熔融温度和沉积层硬度如表4所示。

表4

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 单位 | 熔融温度，℃ | 沉积层硬度，HRC |
| FZNi-45-CuMo | 单位1 | 980～1100 | 40～50 |
| 单位2 | 1000～1130 | 40～50 |
| FZNi-60A-CuMo | 单位1 | 940～1070 | 55～63 |
| 单位2 | 960～1080 | 55～63 |
| 单位3 | - | 55～65 |
| 单位4 | - | 55～65 |
| 单位5 | - | 56～65 |
| 注：单位1—北矿新材科技有限公司；单位2—矿冶科技集团有限公司；单位3-自贡长城表面工程技术有限公司；单位4-天津铸金科技开发股份有限公司；单位5-洛阳金鹭硬质合金工具有限公司。 |

产品的熔融温度和沉积层硬度应符合表5的规定。

表5

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 牌号 | 熔融温度，℃ | 沉积层硬度，HRC |
| FZNi-25 | 1050～1120 | 20～30 |
| FZNi-35 | 1010～1080 | 30～40 |
| FZNi-45 | 980～1050 | 40～50 |
| FZNi-45-CuMo | 980～1130 | 40～50 |
| FZNi-55 | 970～1070 | 50～60 |
| FZNi-60AA | 980～1060 | 55～65 |
| FZNi-60A | 970～1040 | 55～65 |
| FZNi-60B | 970～1040 | 55～65 |
| FZNi-60A-CuMo | 940～1080 | 55～65 |

产品熔融温度测定按YS/T-533《自熔合金粉末固-液相线温度区间测定方法》的规定进行。积层硬度测定按GB/T 230.1《金属材料洛氏硬度试验 第1部分：试验方法》的规定进行，试样制备应符合表6的规定。

表6

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 沉积层制备工艺 | 基材 | 试样尺寸，mm | 沉积层厚度，mm |
| 加工前 | 加工后 |
| 火焰喷焊、等离子堆焊、激光熔覆或感应重熔 | 25号或45号碳素钢 | Φ30×20（直径×高度） | ≥2 | ≥1.8 |

2.2.3 粒度组成

参考主要相关生产单位提供的产品15μm～53μm、＜250μm粒度组成数据如表7所示，以及标准会议上生产单位、用户、科研院所的充分讨论，其他粒度分布延续2014版标准，粒度组成要求如表8所示。

表7

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 产品规格 | 单位 | 粒度组成 |
| 15μm～53μm | 单位1 | ≥53μm：1.6%；15μm～53μm：90.8%；<15μm：7.6% |
| 单位2 | ≥53μm：2.5%；15μm～53μm：89.5%；<15μm：8.0% |
| 单位3 | ≥53μm：＜5.0%；15μm～53μm：≥92.0%；<15μm：＜3.0% |
| 单位4 | ≥53μm：＜5.0%；15μm～53μm：≥80.0%；<15μm：＜15.0% |
| 单位5 | ≥53μm：＜5.0%；15μm～53μm：≥94.0%；<15μm：＜1.0% |
| 单位6 | ≥53μm：4.8%；15μm～53μm：85.7%；<15μm：9.5% |
| ＜250μm | 单位1 | ≥250μm：2.12%； <250μm：97.88% |
| 单位2 | ≥250μm：3.65%； <250μm：96.35 % |
| 单位4 | ≥250μm：＜3.0%； <250μm：＞97.0 % |
| 注：单位1—北矿新材科技有限公司；单位2—矿冶科技集团有限公司；单位3-自贡长城表面工程技术有限公司；单位4-天津铸金科技开发股份有限公司；单位5-洛阳金鹭硬质合金工具有限公司；单位6-西北有色金属研究院。 |

表8

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 产品规格 | 粒度组成 | 应用 |
| 45μm～106μm | <45μm不大于10%，≥106μm不大于3% | 火焰喷焊、感应重熔、激光熔覆 |
| 53μm～106μm | <53μm不大于10%，≥106μm不大于3% | 感应重熔、等离子堆焊 |
| 38μm～90μm | <38μm不大于10%，≥90μm不大于3% | 一步法火焰喷焊 |
| 15μm～53μm | ＜15μm不大于15%，≥53μm不大于5% | 超音速火焰喷涂 |
| ＜250μm | ≥250μm不大于5% | 粉末冶金 |
| 注：需方对粒度规格有特殊要求时，由供需双方协商确定。 |

对于粒度规格15μm～53μm的产品不小于53μm的粉末粒度组成的测定按GB/T 1480的规定进行，小于15μm的粉末粒度组成的测定按GB/T19077的规定进行。其余产品规格的粉末粒度组成的测定按GB/T 1480的规定进行。

2.2.4 外观质量

产品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。本标准规定产品外观呈灰色，颜色均一，无目视可见夹杂物和结团现象。产品外观质量采用目视检查。

2.3 主要试验（或验证）情况分析

2.3.1 化学成分

各验证单位主要粉末的化学成分检测结果如表9所示

表9

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 单位 | Cr | B | Si | C | Cu | Mo | Fe | O | Ni |
| FZNi-25 | 单位3 | 6.82 | 1.23 | 3.48 | 0.17 | - | - | 2.80 | 0.01 | 余量 |
| FZNi-25 | 单位2 | 7.21 | 1.31 | 2.76 | 0.09 | - | - | 3.21 | 0.06 | 余量 |
| FZNi-35 | 单位5 | 9.68 | 1.62 | 3.26 | 0.17 | - | - | 3.62 | 0.06 | 余量 |
| FZNi-35 | 单位2 | 8.92 | 1.89 | 2.98 | 0.24 | - | - | 3.42 | 0.07 | 余量 |
| FZNi-45 | 单位2 | 13.53 | 2.34 | 3.13 | 0.34 | - | - | 4.65 | 0.04 | 余量 |
| FZNi-45 | 单位5 | 14.11 | 2.03 | 3.39 | 0.36 | - | - | 4.32 | 0.06 | 余量 |
| FZNi45CuMo | 单位1 | 11.41 | 2.03 | 2.94 | 0.45 | 3.01 | 3.21 | 3.52 | 0.03 | 余量 |
| FZNi45CuMo | 单位2 | 13.21 | 2.45 | 3.21 | 0.49 | 2.89 | 3.11 | 4.41 | 0.06 | 余量 |
| FZNi-55 | 单位5 | 15.75 | 2.89 | 4.11 | 0.59 | - | - | 2.69 | 0.06 | 余量 |
| FZNi-55 | 单位3 | 16.1 | 2.99 | 3.87 | 0.65 | - | - | 3.46 | 0.01 | 余量 |
| FZNi-55 | 单位1 | 15.86 | 3.12 | 3.87 | 0.59 | - | - | 4.42 | 0.03 | 余量 |
| FZNi-60AA | 单位1 | 17.21 | 3.87 | 4.01 | 0.88 | - | - | 2.58 | 0.03 | 余量 |
| FZNi-60AA | 单位5 | 16.56 | 3.21 | 3.63 | 0.83 | - | - | 2.60 | 0.06 | 余量 |
| FZNi-60A | 单位3 | 15.92 | 3.86 | 4.12 | 0.93 | - | - | 4.09 | 0.06 | 余量 |
| FZNi-60A | 单位3 | 15.87 | 3.26 | 4.09 | 0.86 | - | - | 4.98 | 0.01 | 余量 |
| FZNi-60A | 单位5 | 16.53 | 3.15 | 4.51 | 0.87 | - | - | 4.57 | 0.06 | 余量 |
| FZNi-60A | 单位4 | 19.55 | 3.26 | 4.18 | 0.79 | - | - | 4.73 | 0.05 | 余量 |
| FZNi-60B | 单位1 | 16.55 | 3.67 | 3.98 | 0.91 | - | - | 14.32 | 0.03 | 余量 |
| FZNi-60B | 单位3 | 15.72 | 3.41 | 3.78 | 0.98 | - | - | 13.32 | 0.01 | 余量 |
| FZNi-60B | 单位3 | 16.22 | 3.14 | 3.64 | 0.90 | - | - | 12.91 | 0.07 | 余量 |
| FZNi-60B | 单位5 | 16.70 | 3.14 | 4.30 | 0.89 | - | - | 14.58 | 0.06 | 余量 |
| FZNi-60B | 单位4 | 16.12 | 3.49 | 4.46 | 0.86 | - | - | 14.12 | 0.04 | 余量 |
| FZNi-60A-CuMo | 单位1 | 15.74 | 2.91 | 4.18 | 0.65 | 2.19 | 2.31 | 3.32 | 0.01 | 余量 |
| FZNi-60A-CuMo | 单位3 | 15.74 | 2.91 | 4.18 | 0.65 | 2.19 | 2.31 | 3.32 | 0.01 | 余量 |
| FZNi-60A-CuMo | 单位5 | 16.02 | 3.13 | 4.28 | 0.64 | 2.74 | 2.69 | 3.95 | 0.06 | 余量 |
| 注：单位1—北矿新材科技有限公司；单位2—矿冶科技集团有限公司；单位3-洛阳金鹭硬质合金工具有限公司；单位4-钢铁研究总院有限公司；单位5-上海铸宇材料科技有限公司。 |

从表9可以看出，各家提供的样品满足标准中规定的指标要求。各验证单位检测的同批次FZNi-45-CuMo和FZNi-60A-CuMo粉末的化学成分检测结果如表10所示。

表10

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 产品批号 | 单位 | Cr | B | Si | C | Cu | Mo | Fe | O | Ni |
| R20081000 | 单位1 | 11.41 | 2.03 | 2.94 | 0.45 | 3.01 | 3.21 | 3.52 | 0.03 | 余量 |
| 单位2 | 11.21 | 1.98 | 2.86 | 0.41 | 2.97 | 3.12 | 3.87 | 0.04 | 余量 |
| 单位3 | 11.55 | 2.12 | 2.91 | 0.44 | 3.12 | 2.98 | 3.71 | 0.05 | 余量 |
| 单位4 | 11.14 | 1.89 | 2.81 | 0.45 | 3.09 | 3.03 | 3.44 | 0.04 | 余量 |
| 23090500 | 单位1 | 16.32 | 3.81 | 4.02 | 0.71 | 2.51 | 2.31 | 3.56 | 0.04 | 余量 |
| 单位2 | 16.41 | 3.92 | 3.93 | 0.74 | 2.57 | 2.44 | 3.31 | 0.06 | 余量 |
| 单位3 | 15.99 | 3.74 | 3.89 | 0.70 | 2.45 | 2.32 | 3.49 | 0.03 | 余量 |
| 单位4 | 16.07 | 3.88 | 4.11 | 0.75 | 2.39 | 2.29 | 3.45 | 0.04 | 余量 |
| 注：单位1-北矿新材科技有限公司；单位2-矿冶科技集团有限公司；单位3-上海铸宇材料科技有限公司；单位4-天津铸金科技开发股份有限公司。  |

从表10可以看出，不同验证单位采用同一批次、同一类别的粉末化学成分检测结果基本一致，且化学成分均满足标准中规定的指标要求，标准中规定的化学成分是科学合理的。

2.3.2 熔融温度和沉积层硬度

验证单位检测的同批次FZNi-45-CuMo和FZNi-60A-CuMo粉末的熔融温度和沉积层硬度结果如表11所示。

表11

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 单位 | 熔融温度，℃ | 沉积层硬度，HRC |
| FZNi-45-CuMo | 单位1 | 1004~1109 | 44.2 |
| 单位2 | 1024~1130 | 45.6 |
| 单位3 | 996~1116 | - |
| 单位4 | - | 47.2 |
| FZNi-60A-CuMo | 单位1 | 967~1051 | 59.2 |
| 单位2 | 959~1061 | 58.7 |
| 单位3 | 945~1045 | - |
| 单位4 | - | 60.1 |
| 注：单位1—北矿新材科技有限公司；单位2—矿冶科技集团有限公司；单位3-钢铁研究总院有限公司；单位4-天津铸金科技开发股份有限公司。 |

从表11可以看出，不同验证单位采用同一批次的粉末熔融温度和沉积层硬度检测，结果基本一致，且均满足标准中规定的指标要求，标准中规定的熔融温度和沉积层硬度是科学合理的。

2.3.3 粒度组成

验证单位检测的同批次粉末的粒度组成结果如表12所示。

表12

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 产品规格 | 单位 | 粒度组成 |
| 15μm～53μm | 单位1 | ≥53μm：2.1%；15μm～53μm：92.7%；<15μm：5.2% |
| 单位2 | ≥53μm：2.8%；15μm～53μm：89.8%；<15μm：7.4% |
| 单位3 | ≥53μm：1.8%；15μm～53μm：94.1%；<15μm：4.1% |
| 单位4 | ≥53μm：0.9%；15μm～53μm：93.7%；<15μm：5.4% |
| 单位5 | ≥53μm：1.7%；15μm～53μm：92.1%；<15μm：6,2% |
| ＜250μm | 单位1 | ≥250μm：0.4%； <250μm：99.6% |
| 单位2 | ≥250μm：0.5%； <250μm：99.5 % |
| 单位3 | ≥250μm：0.9%； <250μm：99.1 % |
| 单位4 | ≥250μm：0.5%； <250μm：99.5 % |
| 单位5 | ≥250μm：0.2%； <250μm：99.8 % |
| 注：单位1—北矿新材科技有限公司；单位2—矿冶科技集团有限公司；单位3-上海铸宇材料科技有限公司；单位4-天津铸金科技开发股份有限公司；单位5-洛阳金鹭硬质合金工具有限公司。 |

 从表12可以看出，不同验证单位采用同一批次粉末检测的粒度组成结果基本一致，且均满足标准中规定的指标要求，标准中规定的粒度是科学合理的。

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

本标准颁布实施后，代替YS/T537-2014《Ni-Cr-B-Si 系自熔合金粉》。

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Ni-Cr-B-Si 系自熔合金粉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Ni-Cr-B-Si 系自熔合金粉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Ni-Cr-B-Si 系自熔合金粉也可依本标准实施检测。因此，本标准实施后，北矿新材科技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。

《Ni-Cr-B-Si 系自熔合金粉》标准编制小组

二〇二五年四月