**热喷涂用镍铬磷合金粉末**

**编制说明**

**（送审稿）**

**热喷涂用镍铬磷合金粉末**行业标准编制说明

一、工作简况

1.1 项目来源

根据《工业和信息化部办公厅关于印发2022年第一批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅科[2023]18号）的要求，由矿冶科技集团有限公司负责组织修订《热喷涂用镍铬磷合金粉末》有色行业标准，项目计划编号为2023-0259T-YS，计划完成年限2024年。

1.2 本标准所涉及的产品简况

有色行业标准YS/T537-2006《镍基喷涂合金粉末》系由原GB8548-87《镍基喷涂合金粉末》于2006年从国家标准调整为有色金属行业标准，该标准历经30多年一直没有进行过修订。经进行国内市场调研，目前该标准制定的系列镍基喷涂合金粉末产品未发现有市场应用，且对国外相关产品的查新，也未发现有类似的喷涂用镍基合金粉末的报道。因此建议有必要对该标准进行全面的修订，拟将原来的标准名称《镍基喷涂合金粉末》修改为《热喷涂用镍铬磷合金粉末》。

腐蚀是材料与周围环境（介质）之间发生作用所引起的破坏或变质，如金属在环境作用下发生锈蚀。金属之所以会发生腐蚀是因为它们在工作环境下化学性质不稳定。自然界中除了铜和金、银、铂等贵金属在常态下是金属态以外，从矿石中提炼出来的其他所有金属，在自然工作环境下它们都是非稳态的。非金属材料也会发生腐蚀，如涂料、塑料和橡胶的膨胀、变形、开裂、老化等。据报告指出，2014年我国全行业腐蚀总成本为21278.2亿元，占国民生产总值（GDP）的3.34%。腐蚀危害遍及日常生活和几乎所有的行业,如冶金、化工、能源、矿山、交通、机械、航空航天、农业、食品、医药、海洋开发、基础设施等。据统计，由于腐蚀引起的工厂的停产、更新设备、产品和原料流失、能源的浪费甚至发生爆炸事件等间接损失远比损耗的金属材料的价值大很多。据统计，油气井下管因腐蚀报废的钢铁约占年产量的30%，管道的腐蚀亦容易造成装置损坏甚至生命危险等重大事故。因此，油气井下管必须进行表面防护处理。

目前，利用喷涂的方式在石油管件表面制备一层致密的防护涂层已成为较常见的防腐蚀方式。由于石油管件工况复杂，腐蚀环境恶劣，管件表面制备的涂层必须足够致密，以防止放生腐蚀。而管件结构多样，形状复杂不易在表面形成致密的涂层。

Ni-P涂镀层具有良好的耐蚀性，腐蚀环境中的应用越来越多。向Ni-P基层中添加Cr原子，不仅能抑制Ni3P的形成，而且还能减小镀层晶粒的尺寸。有结果证明，含铬量仅为0.1%的化学镀Ni-Cr-P合金镀层的耐蚀性明显提高，自腐蚀电流显著减小，耐腐蚀性优于Ni-P二元合金。还有文献提到，Ni-Cr-P合金镀层形成非晶所需的磷含量是低于Ni-P二元合金的，说明了铬的存在是有利于镀层非晶结构的形成，而非晶态合金一般具有磁性良好、不易腐蚀和磨损等优点，铬的共沉积改善了镀层性能的。另外，铬元素均沉积在镀层外表面，且Cr是易钝化的金属，增强了镀层的自钝化倾向，耐蚀性得到了能提高。

但由于电镀对环境影响较大，产生了很多污染，给人们带来了巨大的身心健康威胁，各国政府都严格限制六价铬的使用，三价铬电镀工艺越来越受到人们的青睐，渐渐取代了电镀六价铬。但化学镀Ni-Cr-P合金工艺还处于实验室研究阶段，并没有相关的实践报道，主要还是因为Ni-Cr-P合金镀层研究的难度性，Cr与Ni共沉积比较困难，导致镀层中含铬量过低。据资料报道，已得到的Ni-Cr-P合金镀层含铬量均很低。

而采用热喷涂技术制备Ni-Cr-P涂层简单易行，由于P元素的加入，显著降低了材料的熔化温度，流动性极好，半熔融态的合金涂覆层易流入缺陷处进行修复，因此特别适用于氧乙炔火焰喷涂，易在表面形成致密的涂层。同时，镍基合金加工性能极好，是目前石油管件表面防护及修复再制造较为理想的涂层材料之一，能延长工件使用寿命和工业部件修复再利用。

镍铬磷合金粉末采用气雾化工艺制备，即将配好的原料，按要求放置在感应熔炼炉中，加热熔化后在一定气惰性气体压力下雾化成合金粉末，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 镍铬磷合金粉末形貌照片

我国于本世纪初开始研制并生产出惰气雾化镍铬磷合金粉，突破了多项关键技术，如矿冶科技集团有限公司采用惰气雾化的制粉工艺，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，产品已成功应用于机械制造、石油采集勘探等多个行业。目前，以矿冶科技集团有限公司、浙江亚通焊材有限公司、湖南省冶金材料研究院等为代表的研究院所和企业，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Ni25Cr10P，已在石油采集等行业得到越来越广发的应用

国外，生产镍铬磷合金粉末的工艺较为完善，产品性能稳定，代表性企业有赫格纳斯、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。

采用热喷涂工艺制备的镍铬磷合金粉末涂层具有涂层致密、结合强度高、加工性能好，以及优异的耐蚀性能，在石油、化工、机械、冶金等工业领域具有广泛应用，涂层可用作石油化工机械管道等部件基体上喷涂制备耐蚀涂层及修复，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。该产品符合《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”。目前，该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，修订该产品的行业标准显得日益迫切并具有重要意义。

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。

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 主要修订人人工作情况

在标准修订过程中，各参编单位给予了大力的支持和帮助。江苏威拉里新材料科技有限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；浙江亚通焊材有限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 | 联系人姓名 | 工作单位 | 分工 |
| 1 |  | 矿冶科技集团有限公司 | 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 |  | 北矿新材科技有限公司 | 参与标准修订、资料收集、协调工作 |
| 3 |  | 江苏威拉里新材料科技有限公司 | 参与资料收集、调研，提供产品分析测试数据 |
| 4 |  | 浙江亚通焊材有限公司 | 参与资料收集、调研，提供产品分析测试数据 |
| 5 |  | 天津铸金科技开发股份有限公司 | 参与资料收集、调研，提供产品数据、验证 |

1.4 主要工作过程

1.4.1起草阶段

2023年6月26~27日，全国有色金属标准化技术委员会在辽宁沈阳组织召开会议，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、中南大学粉末研究院、国标（北京）检验认证有限公司、西北有色金属研究院、广东省科学院工业分析检测中心、钢铁研究总院等单位的三十余名专家代表参加了会议，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，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热喷涂用镍铬磷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；对国内从事热喷涂用镍铬磷合金粉末制造、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热喷涂用镍铬磷合金粉末的生产制造经验，以公司现有相关质量文件和热喷涂用镍铬磷合金粉末企业标准为基础，于 2024年1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1月17~18日，全国有色金属标准化技术委员会组织在海南省琼海市召开了本标准的讨论会。来自矿冶科技集团有限公司、北矿新材科技有限公司、安泰环境工程技术有限公司、成都易态科技有限公司、承德天大钒业有限责任公司、崇义章源钨业股份有限公司、钢研纳克检测技术股份有限公司、广东省科学院工业分析检测工业等34家单位42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。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。

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预审会。来自矿冶科技集团有限公司、北矿新材科技有限公司、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。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月标准修订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和意见汇总处理表。标准修订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

xx年xx月xx日，行业标准《热喷涂用镍铬磷合金粉末》审定会由全国有色金属标准化技术委员会主持，于xx召开线上线下工作会议。来自矿冶科技集团有限公司、北矿新材科技有限公、北xx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》。具体修改意见见《有色金属行业标准审定会会议纪要》。

与会专家经过讨论后一致认为：本标准的修订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。本标准的修订将对热喷涂用镍铬磷合金粉末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，形成行业标准报批稿上报。

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），现上报至工信部审批、发布。

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，主要以国内喷涂用热喷涂用镍铬磷合金粉末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

镍铬磷是目前石油管件表面防护及修复再制造较为理想的涂层材料之一，采用火焰喷涂制备的涂覆层易流入缺陷处进行修复，易在表面形成致密的涂层，涂层加工性能极好，，能延长工件使用寿命和工业部件修复再利用。热喷涂用镍铬磷粉末标准的修订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，本标准规定了镍铬磷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

根据元素含量不同镍铬磷产品分为两个牌号FH-NiCr25P10和FH-NiCr20P8。本产品中主元素为Cr、P，通过调研相关单位生产的热喷涂镍铬磷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、Si、O，这些杂质的存在对涂层性能产生不利影响，应进行控制。

国内相关厂家提供的热喷涂用镍铬磷合金粉末的化学成分如表2所示，本标准规定的化学成分如表3 所示。

 表2 相关厂家热喷涂用镍铬磷合金粉末化学成分 质量分数/%

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 单位 | 牌号 | 产品批号 | Ni | Cr | P | O | Si | Fe |
| 1 | 单位1 | FH-NiCr25P10 | S23051200 | 余量 | 23.56 | 10.31 | 0.068 | 0.06 | 0.08 |
| 2 | 单位1 | FH-NiCr20P8 | S23070800 | 余量 | 19.35 | 8.66 | 0.059 | 0.04 | 0.04 |
| 3 | 单位2 | FH-NiCr25P10 | B21101100 | 余量 | 25.64 | 9.66 | 0.043 | 0.32 | 0.55 |
| 4 | 单位2 | FH-NiCr25P10 | B22060900 | 余量 | 26.21 | 10.21 | 0.034 | 0.36 | 0.32 |
| 5 | 单位2 | FH-NiCr20P8 | B19042300 | 余量 | 21.37 | 8.12 | 0.036 | 0.14 | 0.26 |
| 6 | 单位2 | FH-NiCr20P8 | B19070600 | 余量 | 20.12 | 7.86 | 0.043 | 0.24 | 0.33 |
| 7 | 单位3 | FH-NiCr25P10 | W202310001 | 余量 | 25.87 | 10.17 | 0.048 | 0.36 | 0.48 |
| 8 | 单位3 | FH-NiCr20P8 | W202311002 | 余量 | 20.21 | 8.11 | 0.039 | 0.31 | 0.43 |
| 9 | 单位4 | FH-NiCr25P10 | FQ2308001 | 余量 | 24.78 | 10.03 | 0.051 | 0.38 | 0.47 |
| 10 | 单位4 | FH-NiCr20P8 | FQ2307001 | 余量 | 20.16 | 8.07 | 0.047 | 0.21 | 0.38 |
| 11 | 单位5 | FH-NiCr25P10 | ZJN220614 | 余量 | 24.62 | 10.21 | 0.028 | 0.13 | 0.47 |
| 12 | 单位5 | FH-NiCr20P8 | ZJN230501 | 余量 | 19.55 | 7.94 | 0.031 | 0.16 | 0.39 |
| 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；单位5-天津铸金科技开发股份有限公司。 |

 表3 产品的化学成分

|  |  |
| --- | --- |
| 牌号 | 元素含量，质量分数% |
| 主元素 | 杂质元素 |
| Ni | Cr | P | Fe | Si | O |
| FH-NiCr20P8 | 余量 | 18.0～22.0 | 7.0~9.0 | <0.8 | <0.5 | <0.08 |
| FH-NiCr25P10 | 余量 | 23.0～27.0 | 9.0～11.0 | <0.8 | <0.5 | <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，P元素含量的测定参考YS/T 539.12 《镍基合金粉化学分析方法 第12部分：磷量的测定 正丁醇-三氯甲烷萃取分光光度法》进行测定，Fe元素含量的测定参考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》进行测定，Si含量的测定参考YS/T 539.3《镍基合金粉化学分析方法 第3部分：硅量的测定　高氯酸脱水称量法》进行测定，O含量的测定按YS/T 539.13《镍基合金粉化学分析方法 第13部分：氧量的测定 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

热喷涂用镍铬磷合金粉末采用感应熔炼+惰性气体雾化工艺制备，主要喷涂方法为火焰喷涂，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，粉末粒度规格为45μm～106μm，粒度组成要求如表4所示。

表4 热喷涂用镍铬磷合金粉末粒度组成测试结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 单位 | 牌号 | 产品批号 | 测试结果 |
| 1 | 单位1 | FH-NiCr25P10 | S23051200 | ≥106μm：0%；45μm～106μm：92.1%；<45μm：7.9% |
| 2 | 单位1 | FH-NiCr20P8 | S23070800 | ≥106μm：0.3%；45μm～106μm：93.3%；<45μm：6.4% |
| 3 | 单位2 | FH-NiCr25P10 | B21101100 | ≥106μm：3.3%；45μm～106μm：85.5%；<45μm：11.2% |
| 4 | 单位2 | FH-NiCr25P10 | B22060900 | ≥106μm：2.1%；45μm～106μm：84.3%；<45μm：13.6% |
| 5 | 单位2 | FH-NiCr20P8 | B19042300 | ≥106μm：2.5%；45μm～106μm：85.4%；<45μm：12.1% |
| 6 | 单位2 | FH-NiCr20P8 | B19070600 | ≥106μm：1.9%；45μm～106μm：86.5%；<45μm：11.6% |
| 7 | 单位3 | FH-NiCr25P10 | W202310001 | ≥106μm：2.9%；45μm～106μm：86.7%；<45μm：10.4% |
| 8 | 单位3 | FH-NiCr20P8 | W202311001 | ≥106μm：2.4%；45μm～106μm：85.3%；<45μm：12.3% |
| 9 | 单位4 | FH-NiCr25P10 | FQ2308001 | ≥106μm：2.7%；45μm～106μm：85.8%；<45μm：11.5% |
| 10 | 单位4 | FH-NiCr20P8 | FQ2307001 | ≥106μm：2.1%；45μm～106μm：86.3%；<45μm：11.6% |
| 11 | 单位5 | FH-NiCr25P10 | ZJN220614 | ≥106μm：0.8%；45μm～106μm：95.3%；<45μm：3.9% |
| 12 | 单位5 | FH-NiCr20P8 | ZJN230501 | ≥106μm：1.3%；45μm～106μm：94.1%；<45μm：4.6% |
| 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；单位5-天津铸金科技开发股份有限公司。 |

表5 粒度要求

|  |  |
| --- | --- |
| 粒度规格 | 粒度组成 |
| 45μm～106μm | <45μm不大于15%，≥106μm不大于5% |
| 注：需方对粒度范围有特殊要求时，由供需双方协商确定。 |

产品的粒度组成的测定按GB/T 1480的规定进行。

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热喷涂用镍铬磷合金粉末松装密度的技术指标，如表6所示，并根据喷涂工艺实际情况及经验，本标准对松装密度做出以下规定：

 a）对于牌号为FH-NiCr25P10的产品，要求松装密度不小于3.90/cm3；

 b）对于牌号为FH-NiCr20P8的产品，要求松装密度不小于4.00g/cm3。

表6 热喷涂用镍铬磷合金粉末松装密度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 单位 | 牌号 | 产品批号 | 测试结果（g/cm3） |
| 1 | 单位1 | FH-NiCr25P10 | S23051200 | 4.29 |
| 2 | 单位1 | FH-NiCr20P8 | S23070800 | 4.44 |
| 3 | 单位2 | FH-NiCr25P10 | B21101100 | 3.98 |
| 4 | 单位2 | FH-NiCr25P10 | B22060900 | 4.11 |
| 5 | 单位2 | FH-NiCr20P8 | B19042300 | 4.19 |
| 6 | 单位2 | FH-NiCr20P8 | B19070600 | 4.23 |
| 7 | 单位3 | FH-NiCr25P10 | W202310001 | 4.08 |
| 8 | 单位3 | FH-NiCr20P8 | W202311001 | 4.24 |
| 9 | 单位4 | FH-NiCr25P10 | FQ2308001 | 4.16 |
| 10 | 单位4 | FH-NiCr20P8 | FQ2307001 | 4.28 |
| 11 | 单位5 | FH-NiCr25P10 | ZJN220614 | 4.26 |
| 12 | 单位5 | FH-NiCr20P8 | ZJN230501 | 4.42 |
| 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；单位5-天津铸金科技开发股份有限公司。 |

 热喷涂用镍铬磷合金粉末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。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热喷涂用镍铬磷合金粉末流动性的技术指标，如表7所示，并根据喷涂工艺实际情况及经验，本标准规定产品的流动性要求不大于25s/50g。

表7 热喷涂用镍铬磷合金粉末流动性

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 单位 | 牌号 | 产品批号 | 测试结果（s/50g） |
| 1 | 单位1 | FH-NiCr25P10 | S23051200 | 17.3 |
| 2 | 单位1 | FH-NiCr20P8 | S23070800 | 16.1 |
| 3 | 单位2 | FH-NiCr25P10 | B21101100 | 21.3 |
| 4 | 单位2 | FH-NiCr25P10 | B22060900 | 20.4 |
| 5 | 单位2 | FH-NiCr20P8 | B19042300 | 18.7 |
| 6 | 单位2 | FH-NiCr20P8 | B19070600 | 19.1 |
| 7 | 单位3 | FH-NiCr25P10 | W202310001 | 20.1 |
| 8 | 单位3 | FH-NiCr20P8 | W202311001 | 20.2 |
| 9 | 单位4 | FH-NiCr25P10 | FQ2308001 | 20.4 |
| 10 | 单位4 | FH-NiCr20P8 | FQ2307001 | 21.6 |
| 11 | 单位5 | FH-NiCr25P10 | ZJN220614 | 18.42 |
| 12 | 单位5 | FH-NiCr20P8 | ZJN230501 | 17.85 |
| 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；单位5-天津铸金科技开发股份有限公司。 |

热喷涂用镍铬磷合金粉末流动性的检测按照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

热喷涂用镍铬磷合金粉末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。

2.3 主要试验（或验证）情况分析

2.3.1 化学成分

各验证单位检测的热喷涂用镍铬磷合金粉末的化学成分检测结果如表8所示。

表8 热喷涂用镍铬磷合金粉末成分

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 产品批号 | 单位 | 牌号 | Ni | Cr | P | O | Si | Fe |
| S23051200 | 单位1 | FH-NiCr25P10 | 余量 | 23.56 | 10.31 | 0.042 | 0.06 | 0.08 |
| 单位2 | FH-NiCr25P10 | 余量 | 23.64 | 10.54 | 0.044 | 0.08 | 0.11 |
| 单位3 | FH-NiCr25P10 | 余量 | 23.59 | 10.58 | 0.048 | 0.072 | 0.13 |
| 单位4 | FH-NiCr25P10 | 余量 | 23.61 | 10.47 | 0.036 | 0.08 | 0.07 |
| 单位5 | FH-NiCr25P10 | 余量 | 23.52 | 10.40 | 0.040 | 0.08 | 0.10 |
| S23070800 | 单位1 | FH-NiCr20P8 | 余量 | 19.35 | 8.66 | 0.038 | 0.04 | 0.04 |
| 单位2 | FH-NiCr20P8 | 余量 | 19.56 | 8.43 | 0.035 | 0.05 | 0.05 |
| 单位3 | FH-NiCr20P8 | 余量 | 19.61 | 8.53 | 0.037 | 0.044 | 0.047 |
| 单位4 | FH-NiCr20P8 | 余量 | 19.47 | 8.52 | 0.037 | 0.05 | 0.04 |
| 单位5 | FH-NiCr20P8 | 余量 | 19.43 | 8.36 | 0.033 | 0.04 | 0.05 |
| 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；单位5-天津铸金科技开发股份有限公司。 |

从表8可以看出，不同验证单位采用同一批次、同一类别的热喷涂用镍铬磷合金粉末得到的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 粒度组成

各验证单位生产的热喷涂用镍铬磷合金粉末的粒度组成如表9所示。

表9 热喷涂用镍铬磷合金粉末粒度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 产品批号 | 单位 | 牌号 | 测试结果 |
| S23051200 | 单位1 | FH-NiCr25P10 | ≥106μm：0%；45μm～106μm：92.1%；<45μm：7.9% |
| 单位2 | FH-NiCr25P10 | ≥106μm：0.1%；45μm～106μm：91.5%；<45μm：8.4% |
| 单位3 | FH-NiCr25P10 | ≥106μm：0.2%；45μm～106μm：91.7%；<45μm：8.1% |
| 单位4 | FH-NiCr25P10 | ≥106μm：0.2%；45μm～106μm：91.7%；<45μm：8.1% |
| 单位5 | FH-NiCr25P10 | ≥106μm：0%；45μm～106μm：92.5%；<45μm：7.5% |
| S23070800 | 单位1 | FH-NiCr20P8 | ≥106μm：0.3%；45μm～106μm：93.3%；<45μm：6.4% |
| 单位2 | FH-NiCr20P8 | ≥106μm：0.6%；45μm～106μm：91.8%；<45μm：7.6% |
| 单位3 | FH-NiCr20P8 | ≥106μm：0.7%；45μm～106μm：91.9%；<45μm：7.4% |
| 单位4 | FH-NiCr20P8 | ≥106μm：0.5%；45μm～106μm：92.3%；<45μm：7.2% |
| 单位5 | FH-NiCr20P8 | ≥106μm：0.2%；45μm～106μm：91.9%；<45μm：7.9% |
| 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；单位5-天津铸金科技开发股份有限公司。 |

从表中可以看出不同验证单位测试同一批次牌号为FH-NiCr25P10的粉末粒度组成结果，其中大于等于106μm的质量百分比在0%到0.7%之间，小于45μm的质量百分比在6.4%到8.4%之间；牌号为FH-NiCr20P8的粉末粒度组成结果中大于等于106μm的质量百分比在0.3%到0.7%之间，小于45μm的质量百分比在6.4%到7.9%之间，均满足标准控制要求值。

2.3.3 松装密度

表10 热喷涂用镍铬磷合金粉末松装密度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 产品批号 | 单位 | 牌号 | 测试结果（g/cm3） |
| S23051200 | 单位1 | FH-NiCr25P10 | 4.29 |
| 单位2 | FH-NiCr25P10 | 4.23 |
| 单位3 | FH-NiCr25P10 | 4.25 |
| 单位4 | FH-NiCr25P10 | 4.26 |
| 单位5 | FH-NiCr25P10 | 4.31 |
| S23070800 | 单位1 | FH-NiCr20P8 | 4.44 |
| 单位2 | FH-NiCr20P8 | 4.39 |
| 单位3 | FH-NiCr20P8 | 4.42 |
| 单位4 | FH-NiCr20P8 | 4.41 |
| 单位5 | FH-NiCr20P8 | 4.40 |
| 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；单位5-天津铸金科技开发股份有限公司。 |

各验证单位生产的热喷涂用镍铬磷合金粉末的松装密度结果如表10所示。由表10可见，不同验证单位检测的牌号为FH-NiCr25P10产品的松装密度为4.23~4.31g/cm3；FH-NiCr25P10产品的松装密度为4.39~4.44 g/cm3，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**

各验证单位生产的热喷涂用镍铬磷合金粉末的松装密度结果如表11所示。

表11 热喷涂用镍铬磷合金粉末流动性

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 产品批号 | 单位 | 牌号 | 测试结果（s/50g） |
| S23051200 | 单位1 | FH-NiCr25P10 | 17.3 |
| 单位2 | FH-NiCr25P10 | 17.4 |
| 单位3 | FH-NiCr25P10 | 17.4 |
| 单位4 | FH-NiCr25P10 | 17.3 |
| 单位5 | FH-NiCr25P10 | 17.3 |
| S23070800 | 单位1 | FH-NiCr20P8 | 16.1 |
| 单位2 | FH-NiCr20P8 | 16.8 |
| 单位3 | FH-NiCr20P8 | 16.6 |
| 单位4 | FH-NiCr20P8 | 16.5 |
| 单位5 | FH-NiCr20P8 | 16.3 |
| 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；单位5-天津铸金科技开发股份有限公司。 |

由表11可见，不同验证单位检测的牌号为FH-NiCr25P10和FH-NiCr25P10产品的流动性在16.1s/50g至17.4s/50g之间，镍铬磷合金粉末流动性实测值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

本标准颁布实施后，代替YS/T537-2006《镍基喷涂合金粉末》。

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热喷涂用镍铬磷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热喷涂用镍铬磷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，对从国外进口的热喷涂用镍铬磷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。

《热喷涂用镍铬磷合金粉末》标准编制小组

二〇二四年八月