CPMA 团体标准《高温合金注射成形件》编制说明

1. 工作简况
2. 任务来源

近年来，航空航天、汽车制造、能源、石油化工及核工业等领域对性能优异的高温合金零件的需求市场不断扩大， 同时金属注射成形工艺制造零部件替代传统工艺制造零部件占比增长。本标准从实际市场需求和产业发展现状出发， 依照粉末冶金产业技术创新战略联盟团体标准制订计划，编制“高温合金注射成形件”。

1. 工作过程

本标准起草单位萍乡市慧成精密机电有限公司、北京科技大学、萍乡学院、上海富驰高科技股份有限公司、有研增材技术有限公司、北京钢研高纳科技股份有限公司成立标准编制小组，成员通过网络数据库等资源，对注射成形高温合金的零件标准和力学性能开展调研工作，同时结合同行业公司及实验室等的生产检测数据和技术条件， 逐步形成标准编制的规程和撰写要点，奠定本标准编制和撰写工作的基础。

1. 主要参加单位和相关人员

本标准主要起草单位：萍乡市慧成精密机电有限公司、北京科技大学、萍乡学院、上海富驰高科技股份有限公司、有研增材技术有限公司、北京钢研高纳科技股份有限公司。

主要成员：黄若、张红钢、曲选辉、章林、钟伟、段满堂、王林山、罗志强。

工作内容：黄若安排了工作计划和进度，并制定了标准的基本原则；张红钢负责资料的调研和标准草案的编写；黄若、曲选辉、章林、钟伟、段满堂、王林山、罗志强、张红钢负责标准内容的讨论，经过多位成员的讨论及技术要求的验证，最终形成了标准的征求意见稿。

1. 标准编制原则和确定主要内容的论据及解决的主要问题
2. 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》和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。本标准遵循技术内容合理、测试方法可行、满足市场需求的原则，使我国金属粉末注射成形高温合金有统一的技术要求、检测方法和验收标准，保持与行业发展先进水平一致。

1. 标准主要内容

这份标准规范了金属注射成形高温合金的生产和质量控制。主要包括范围、引用文件、术语和定义、分类和标记、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存以及随行文件和订货单内容。涵盖了化学成分、力学性能等关键技术要素，以确保产品质量稳定，并规定了严格的检验规则和质量控制措施。

本标准适用于金属注射成形（MIM）工艺生产的高温合金。

1. 标准的主要技术要求

3.1 化学成分

注射成形高温合金制件的化学成分应符合表1的规定。

表 1 注射成形高温合金的化学成分

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 合金牌号 | 化学成分（质量分数）/ % | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ni | Cr | | C | | Nb | | Ti | | Al | | Mo | | B | | Fe |
| MIM-GH4169 | 50.0～55.0 | 17.0～21.0 | | ≤0.08 | | 4.75～5.50 | | 0.65～1.15 | | 0.20～0.80 | | 2.80～3.30 | | ≤0.006 | | 余量 |
| MIM-FHK30 | 19.0～22.0 | 23.0～27.0 | | 0.2～0.5 | | 1.0～1.75 | |  | |  | | ≤0.5 | |  | | 余量 |
| MIM-K418 | 余量 | 12～14 | | 0.08～0.2 | | 1.8～2.8 | | 0.50～1.00 | | 5.5～6.5 | | 3.8～5.2 | | 0.005～0.015 | | ≤2.5 |
| 合金牌号 | 化学成分（质量分数）/ % | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mn | | S | | P | | Si | | Co | | Cu | | Mg | | Zr | |
| MIM-GH4169 | ≤0.35 | | ≤0.015 | | ≤0.015 | | ≤0.35 | | ≤1.00 | | ≤0.30 | | ≤0.010 | |  | |
| MIM-FHK30 | ≤1.50 | | ≤0.015 | | ≤0.040 | | 0.75～1.3 | |  | |  | |  | |  | |
| MIM-K418 | ≤0.25 | | ≤0.015 | | ≤0.015 | | ≤0.50 | | ≤1.00 | | ≤0.50 | |  | | 0.05～0.15 | |

3.2 力学性能

高温合金注射成形件的室温拉伸性能应符合表2的规定，高温拉伸性能应符合表3的规定。

表 2 注射成形高温合金制件的室温拉伸性能

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规定塑性延伸强度  Rp0.2/MPa | | 抗拉强度  Rm/MPa | | 断后伸长率  /% | |
| 烧结态 | 烧结+热处理态 | 烧结态 | 烧结+热处理态 | 烧结态 | 烧结+热处理态 |
| MIM-GH4169 | ≥450 | ≥1030 | ≥830 | ≥1270 | ≥20 | ≥12 |
| MIM-FHK30 | ≥350 | — | ≥540 | — | ≥8 | — |
| MIM-K418 | ≥700 | ≥800 | ≥1100 | ≥1250 | ≥10 | ≥10 |

表 3 注射成形高温合金制件的高温拉伸性能

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 试验温度 | 规定塑性延伸强度  Rp0.2/MPa | | | 抗拉强度  Rm/MPa | | | 断后伸长率  /% | |
| 烧结态 | 烧结+热处理态 | 烧结态 | | 烧结+热处理态 | 烧结态 | | 烧结+热处理态 |
| MIM-GH4169 | 650 | — | ≥865 | — | | ≥1005 | — | | ≥6 |
| MIM-FHK30 | 650 | ≥200 | — | ≥350 | | — | ≥6 | | — |
| MIM-K418 | 800 | — | — | ≥755 | | — | ≥6 | | — |

注：1.如果有必要，供货商和需求方可以对注射成形高温合金制件的高温拉伸性能进行另行约定。

3.3显微硬度

注射成形高温合金制件的显微硬度应符合表4的规定。

表 4 注射成形高温合金制件的显微硬度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 牌号 | 显微硬度 | |
| 烧结态 SS | 烧结+热处理态 SHTS |
| MIM-GH4169 | HV≥200 | HV≥380 |
| MIM-FHK30 | HV5 150～220 | — |
| MIM-K418 | HV1≥300 | HV1≥300 |

1. 主要试验（或验证）情况分析
2. 注射成形高温合金制件的化学成分分析

MIM-GH4169制件的化学成分测试情况如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 化学成分（质量分数）/ % | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ni | Cr | | C | | Nb | | Ti | | Al | | Mo | | B | | Fe |
| MIM-GH4169-1 | 51.34 | 19.34 | | 0.037 | | 5.30 | | 0.86 | | 0.38 | | 3.27 | | 0.003 | | 余量 |
| MIM-GH4169-2 | 50.94 | 18.95 | | 0.041 | | 5.27 | | 0.77 | | 0.54 | | 3.13 | | 0.003 | | 余量 |
| MIM-GH4169-3 | 54.30 | 17.81 | | 0.040 | | 5.40 | | 0.93 | | 0.32 | | 3.29 | | 0.004 | | 余量 |
| 样品编号 | 化学成分（质量分数）/ % | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mn | | S | | P | | Si | | Co | | Cu | |  | |  | |
| MIM-GH4169-1 | 0.23 | | 0.007 | | 0.013 | | 0.30 | | 0.09 | | 0.05 | |  | |  | |
| MIM-GH4169-2 | 0.20 | | 0.002 | | 0.010 | | 0.29 | | 0.09 | | 0.07 | |  | |  | |
| MIM-GH4169-3 | 0.19 | | 0.004 | | 0.012 | | 0.27 | | 0.11 | | 0.02 | |  | |  | |

MIM-FHK30制件的化学成分测试情况如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 化学成分（质量分数）/ % | | | | | | | | | |
| Ni | Cr | C | Nb | Mo | Mn | S | P | Si | Fe |
| MIM-FHK30-1 | 20.90 | 26.00 | 0.25 | 1.23 | 0.12 | 0.65 | 0.0079 | 0.011 | 0.78 | 余量 |
| MIM-FHK30-2 | 20.70 | 26.80 | 0.25 | 1.56 | 0.15 | 0.75 | 0.0085 | 0.012 | 0.83 | 余量 |
| MIM-FHK30-3 | 19.30 | 25.40 | 0.26 | 1.34 | 0.17 | 0.72 | 0.0085 | 0.010 | 0.87 | 余量 |

MIM-K418制件的化学成分测试情况如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 化学成分（质量分数）/ % | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ni | Cr | | C | | Nb | | Ti | | Al | | Mo | | B | | Fe |
| MIM-K418-1 | 余量 | 13.35 | | 0.12 | | 2.20 | | 0.80 | | 5.86 | | 4.22 | | 0.010 | | 1.15 |
| MIM-K418-2 | 余量 | 12.54 | | 0.13 | | 2.35 | | 0.97 | | 5.81 | | 4.39 | | 0.014 | | 1.15 |
| MIM-K418-3 | 余量 | 13.22 | | 0.11 | | 2.10 | | 0.82 | | 6.06 | | 4.26 | | 0.011 | | 1.14 |
| 样品编号 | 化学成分（质量分数）/ % | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mn | | S | | P | | Si | | Co | | Cu | | Zr | |  | |
| MIM-K418-1 | 0.15 | | 0.0085 | | 0.011 | | 0.14 | | 0.09 | | 0.02 | | 0.080 | |  | |
| MIM-K418-2 | 0.18 | | 0.0079 | | 0.012 | | 0.23 | | 0.09 | | 0.06 | | 0.110 | |  | |
| MIM-K418-3 | 0.23 | | 0.0082 | | 0.014 | | 0.24 | | 0.11 | | 0.05 | | 0.150 | |  | |

1. 注射成形高温合金的室温拉伸性能分析

注射成形高温合金烧结件的室温拉伸性能根据相关标准进行测试，测试结果如下所示。

MIM-GH4169烧结态的力学性能测试结果如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 屈服强度 MPa | 抗拉强度 MPa | 延伸率 % |
| MIM-GH4169 -1 | 460 | 854 | 25.4 |
| MIM-GH4169- 2 | 457 | 852 | 23.0 |
| MIM-GH4169- 3 | 463 | 864 | 20.3 |

MIM-GH4169烧结+热处理态的力学性能测试结果如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 屈服强度 MPa | 抗拉强度 MPa | 延伸率 % |
| MIM-GH4169 -4 | 1124 | 1304 | 12.7 |
| MIM-GH4169- 5 | 1067 | 1283 | 12 |
| MIM-GH4169- 6 | 1045 | 1297 | 12.3 |

MIM-FHK30烧结态的力学性能测试结果如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 屈服强度 MPa | 抗拉强度 MPa | 延伸率 % |
| MIM-FHK30- 1 | 389 | 600 | 10 |
| MIM-FHK30- 2 | 363 | 553 | 10 |
| MIM-FHK30- 3 | 364 | 566 | 12 |

MIM-K418烧结态的力学性能测试结果如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 屈服强度 MPa | 抗拉强度 MPa | 延伸率 % |
| MIM-K418- 1 | 824 | 1108 | 10.5 |
| MIM-K418- 2 | 780 | 1121 | 11.7 |
| MIM-K418- 3 | 711 | 1154 | 12.2 |

MIM-K418烧结+热处理态的力学性能测试结果如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 屈服强度 MPa | 抗拉强度 MPa | 延伸率 % |
| MIM-K418- 4 | 884 | 1308 | 10.5 |
| MIM-K418- 5 | 890 | 1321 | 11.7 |
| MIM-K418- 6 | 871 | 1314 | 12.2 |

1. 注射成形高温合金的显微硬度分析

MIM-GH4169烧结态的显微硬度测试结果如下：

|  |  |
| --- | --- |
| 样品编号 | 硬度 HV |
| MIM-GH4169 - 1 | 210 |
| MIM-GH4169- 2 | 206 |
| MIM-GH4169- 3 | 214 |

MIM-GH4169烧结+热处理态的显微硬度测试结果如下：

|  |  |
| --- | --- |
| 样品编号 | 硬度 HV |
| MIM-GH4169 - 4 | 389 |
| MIM-GH4169- 5 | 397 |
| MIM-GH4169- 6 | 401 |

MIM-FHK30烧结态的显微硬度测试结果如下：

|  |  |
| --- | --- |
| 样品编号 | 显微硬度 HV5 |
| MIM-FHK30- 1 | 158 |
| MIM-FHK30- 2 | 152 |
| MIM-FHK30- 3 | 170 |

MIM-K418烧结态的显微硬度测试结果如下：

|  |  |
| --- | --- |
| 样品编号 | 显微硬度 HV1 |
| MIM-K418- 1 | 335 |
| MIM-K418- 2 | 349 |
| MIM-K418- 3 | 336 |

MIM-K418烧结+热处理态的显微硬度测试结果如下：

|  |  |
| --- | --- |
| 样品编号 | 显微硬度 HV1 |
| MIM-K418- 4 | 340 |
| MIM-K418- 5 | 359 |
| MIM-K418- 6 | 357 |

1. 知识产权情况说明

本标准不涉及专利问题。

1. 产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果

高温合金因其高强度、耐高温性等特点而在航空、航天等领域广泛应用。MIM作为一种新型近净成形技术，因其以较低成本大批量生产复杂结构、高维度、高精度零部件，是一种理想的制备高温合金的加工工艺。目前随着低空经济的发展，MIM 高温合金将会出现井喷式发展，形成百亿级别市场。标准化的技术要求与测试方法将为生产、使用和贸易三方提供最基本的技术依据，在本标准的基础之上，促进相关产品的设计、检测与应用，带动市场的健康发展。

1. 国内外标准（包括国际标准和国外先进标准）对比

产品标准与相关标准主要参数对比表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 材料牌号及状态 | 力学性能 | 本标准 | AMS 5917 | GB/T 8492-2024 | YB/T 5248 -93 | 对比结果 |
| Inconel 718 | ZGR40Cr25Ni20Si2 | K418 |  |
| MIM-GH4169 烧结+热处理态 | 屈服强度 | ≥1030 MPa | 1080±18 MPa |  |  | 相当 |
| 抗拉强度 | ≥1270 MPa | 1295±20 MPa |  |  | 相当 |
| 延伸率 | ≥12 | 12.8±4 |  |  | 相当 |
| MIM-FHK30烧结态 | 屈服强度 | ≥350 MPa |  | ≥230 MPa |  | 优于 |
| 抗拉强度 | ≥540 MPa |  | ≥450 MPa |  | 优于 |
| 延伸率 | ≥8 |  | ≥10 |  | 相当 |
| MIM-K418 烧结态 | 屈服强度 | ≥700 MPa |  |  | ≥686 MPa | 相当 |
| 抗拉强度 | ≥1100 MPa |  |  | ≥755 MPa | 优于 |
| 延伸率 | ≥10 |  |  | ≥6 | 优于 |

1. 与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性

本标准与现行相关的法律、法规、规章及行业相关标准并无矛盾或冲突。对于促进该领域技术进步、引导行业健康有序发展非常及时和必要。

1. 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

1. 贯彻标准的要求和措施建议

本标准根据我国实际生产使用情况制定， 整体内容达到国际先进水平， 建议作为行业推荐性标准发布实施。

1. 替代或废止现行相关标准的建议

无

1. 其它应予说明的事项

无

CPMA 团体标准《高温合金注射成形件》

编制工作组