

T/CSEA

中国表面工程协会团体标准

T/CSEA 27—2023

等离子物理气相沉积用 热障涂层粉体材料 技术条件

Technical specification of powder for Thermal Barrier Coating with Plasma
Spraying-Physical Vapor Deposition

（报批稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2023 - 2 - 7 发布

2023 - 3 - 1 实施

中国表面工程协会 发布

前 言

本文件按照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》的规定起草。

本文件由中国表面工程协会热喷涂分会提出。

本文件由中国表面工程协会归口。

本文件起草单位：北京金轮坤天特种机械有限公司、北京航空航天大学、航天材料及工艺研究所。

本文件主要起草人：何箐、郭洪波、倪立勇、由晓明、魏亮亮、邹晗、文波、张雨生、王世兴。

等离子物理气相沉积用 热障涂层粉体材料技术条件

1 范围

本文件规定了等离子物理气相沉积用热障涂层粉体材料的技术要求、质量保证,标志、包装、运输、贮存和质量证明书。

本文件适用于等离子物理气相沉积用热障涂层粉体材料。

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 1479.2 金属粉末 松装密度的测定 第2部分:斯柯特容量计法

GB/T 4984 含锆耐火材料化学分析方法

GB/T 13747.16 锆及锆合金化学分析方法 第16部分:氯量的测定 氯化银浊度法和离子选择性电极法

GB/T 18115.1 稀土金属及其氧化物中稀土杂质化学分析方法 第1部分:镧中铈、镨、钕、钐、铈、铽、镱、铟、铪、铌、钽和铪量的测定

GB/T 19077 粒度分析 激光衍射法

GB/T 21649.1 粒度分析 图像分析法 第1部分:静态图像分析法

GB/T 21782.5 粉末涂料 第5部分:粉末空气混合物流动性的测定

YB/T 5320 金属材料定量相分析 X射线衍射K值法

YS/T 568.1 氧化锆、氧化钪化学分析方法 氧化锆和氧化钪含量的测定 苦杏仁酸重量法

YS/T 568.2 氧化锆、氧化钪化学分析方法 铁量的测定 磺基水杨酸分光光度法

YS/T 568.3 氧化锆、氧化钪化学分析方法 硅量的测定 钼蓝分光光度法

YS/T 568.4 氧化锆、氧化钪化学分析方法 铝量的测定 铬天青S-氯化十四烷基吡啶分光光度法

YS/T 568.6 氧化锆、氧化钪化学分析方法 钛量的测定 二安替吡啶甲烷分光光度法

YS/T 568.8 氧化锆、氧化钪化学分析方法 氧化锆中铝、钙、镁、锰、钠、镍、铁、钛、锌、钼、钒、钪量的测定 电感耦合等离子体发射光谱法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

8YSZ

质量分数6%~8%氧化钇(Y_2O_3)部分稳定的氧化锆(ZrO_2)热障涂层材料。

3.2

RE-YSZ

离子半径不同的双组元稀土氧化物掺杂改性的YSZ热障涂层材料。

3.3

GdYbZrO

单稀土元素铈掺杂改性锆酸钪热障涂层材料($(\text{Gd}_{0.9}\text{Yb}_{0.1})_2\text{Zr}_2\text{O}_7$)。

3.4

压溃强度 compressive strength

通过施加径向力而测定的粉体的破裂强度,其压溃强度表征了团聚球形粉体整体的溃散强度。

3.5

流化因子 fluidization factor

在无空气流动的条件下，将规定质量的粉末涂料置于规定容器中。在标准大气压力和温度条件下，用洁净的干燥空气流化，测定流化中和流化后粉末的高度。用测量法计算流化因子Φ，用于表征粉末输送和喷涂的特性。

$$\phi = \frac{h_1}{h_0} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Φ——流化因子

h₀——粉末静止高度，单位为毫米（mm）；

h₁——粉末流化高度，单位为毫米（mm）。

【来源于 GB/T 21782.5】

4 技术要求

4.1 产品分类

产品可包括常规8YSZ、RE-YSZ、GdYbZrO和超高温热障涂层材料锆酸钪（Gd₂Zr₂O₇）。

4.2 成分组成

4.2.1 粉体中粘结剂含量

粉体中粘结剂应具有增强粉体内聚强度和压溃强度作用，粘结剂含量宜为（1~2）wt.%。

4.2.2 粉体化学成分

常规8YSZ热障涂层粉体材料化学成分见表 1，多元稀土氧化物掺杂改性YSZ（RE-YSZ）热障涂层粉体材料化学成分见表 2，超高温热障涂层粉体材料化学成分见表 3，粘结剂含量不计。

表1 常规 8YSZ 热障涂层粉体材料化学成分

热障涂层粉体材料	化学成分（质量分数）%									
	主成分含量			杂质含量						
	ZrO ₂ +HfO ₂ +Y ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	HfO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	Cl ⁻
8YSZ	≥99.5	6.0~8.0	≤2.0	≤0.05	≤0.02	≤0.05	≤0.02	≤0.02	≤0.02	≤0.06

表2 多元稀土氧化物掺杂改性 YSZ（RE-YSZ）热障涂层粉体材料化学成分

热障涂层粉体材料		化学成分（质量分数）%										
		主成分含量				杂质含量						
		ZrO ₂	Y ₂ O ₃	HfO ₂	RE ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	Cl ⁻
RE-YSZ	A类，小离子半径	余量	6.5~10.0	≤2.0	2.5~6.0	≤0.05	≤0.02	≤0.05	≤0.02	≤0.02	≤0.02	≤0.06
	B类，大离子半径				2.5~5.5							

表3 超高温热障涂层粉体材料化学成分

超高温热障涂层粉体材料	化学成分（质量分数）%						
	主成分含量						
	Gd ₂ O ₃		ZrO ₂		Yb ₂ O ₃		HfO ₂
Gd ₂ Zr ₂ O ₇	余量		39.2~41.7		-		≤1.0
GdYbZrO	余量		38.0~42.0		5.0~8.0		≤1.0
超高温热障涂层粉体材料	杂质含量						
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	Cl ⁻
	Gd ₂ Zr ₂ O ₇	≤0.05	≤0.02	≤0.05	≤0.02	≤0.02	≤0.02
GdYbZrO	≤0.05	≤0.02	≤0.05	≤0.02	≤0.02	≤0.02	≤0.06

4.3 外观

粉体应质地均匀，颜色一致，无团聚结块现象。

4.4 物理性能

粉体物理性能分为A、B、C三种规格，物理性能应符合表4的规定。

表4 粉体物理性能

品类	粒度组成			松装密度 / (g/cm ³)	流化因子
	名义粒度范围 / μm	主粒度范围（体积分数）	D50 / μm		
A	1~20	1~15 (μm) ≥90%	6~10	≥1	0.9~1.4
B	1~30	1~25 (μm) ≥90%	8~12	≥1	0.9~1.8
C	5~40	5~35 (μm) ≥90%	15~25	≥1	0.9~2.0

4.5 晶体结构

8YSZ粉体晶体结构宜为四方相。RE-YSZ粉体宜为四方相和立方相。Gd₂Zr₂O₇和GdYbZrO粉体宜为烧绿石结构或缺陷型萤石结构。

4.6 球形度

粉体应为球形粉体，在轴径比不小于0.7条件下，粉体球形度不应小于85%。

4.7 特殊要求

粉体的化学成分及物理性能可根据使用需求调整。

5 质量保证

5.1 检验分类

检验应为质量一致性检验。

5.2 质量一致性检验

5.2.1 组批

产品应成批提交验收，每批应由同一牌号、同一规格、同一批原料连续生产的产品组成。

5.2.2 检验项目

产品的质量一致性检验项目及取样应符合表5的规定。

表5 质量一致性检验

检验项目		取样数量	取样部位	检验要求的章条号	检验方法的章条号
成分组成	粘结剂含量	20g	粉末按批次，均匀地取出三点试样，混合后，按四分法缩分至试样所需数量	4.2.1	5.3.1.1
	化学成分	20g	粉末按批次，均匀地取出三点试样，混合后，按四分法缩分至试样所需数量	4.2.2	5.3.1.2
外观		50g	任取	4.3	5.3.2
粒度组成		10g	粉末按批次，均匀地取出三点试样，混合后，按四分法缩分至试样所需数量	4.4	5.3.3
松装密度		300g	粉末按批次，均匀地取出三点试样，混合后，按四分法缩分至试样所需数量	4.4	5.3.4
流化因子		100g	粉末按批次，均匀地取出三点试样，混合后，按四分法缩分至试样所需数量	4.4	5.3.5
晶体结构		10g	粉末按批次，均匀地取出三点试样，混合后，按四分法缩分至试样所需数量	4.5	5.3.6
球形度		50g	粉末按批次，均匀地取出三点试样，混合后，按四分法缩分至试样所需数量	4.6	5.3.7

5.2.3 检验结果的判定

5.2.3.1 粉体产品的成分组成、物理性能、晶体结构、球形度检验结果中如有一项不合格时，则从该批产品中另取双倍数量的试样对不合格项复验，复验结果仍不合格，应判该批产品不合格。

5.2.3.2 粉体产品外观质量检验不合格时，判该批粉体产品不合格；但产品含有结块时，允许供方处理后重新组批检验。

5.2.3.3 不合格品处置由供需双方商定，采用报废处理、降级使用、退回供方回收等方式。

5.3 检验方法

5.3.1 成分组成分析

粉体成分应按本文件规定的方法测试分析，或由供需双方商定。

5.3.1.1 粉体粘结剂含量测试可采用下列测试方法：

- a) 采用高温灼烧法进行粉体粘结剂含量测试：称量粉体 50g 置于坩埚中，放入排胶炉中升温至 100±10℃，保温 2h，取出冷却称重标记为 M2；再放入排胶炉中升温至 800±10℃，保温 2h，取出冷却称重标记为 M3；

粉体粘结剂含量（%）= $\frac{M2-M3}{M2} \times 100\%$（2）

- b) 使用气相色谱质谱联用仪、裂解气相色谱质谱联用仪对粉体进行有机组分定性定量分析，确定粘结剂含量。

5.3.1.2 粉体化学成分测试

粉体化学成分测试前应首先进行去除粘结剂预处理，处理条件宜为：800±10℃，2h。

SiO₂、Al₂O₃、ZrO₂+HfO₂、TiO₂、Fe₂O₃、CaO、MgO化学成分测试，应按照GB/T 4984规定的方法进行测定，或按照YS/T 568中相关方法测定粉体的化学成分。

Y₂O₃测试可按照YS/T 568.8 规定的方法进行测定。

Gd₂O₃、Yb₂O₃及其他稀土氧化物测试可按照GB/T 18115.1规定的方法进行测定。

CI测试可按照GB/T 13747.16规定的方法进行测定。

如出现供需双方测试结果不一致时，应采用供需双方协商一致的具有国家相关检测资质的第三方检测机构测定。

5.3.2 外观检验

粉体外观质量采用目视方法检验，照明度不应低于300Lx。

5.3.3 粒度检验

粉体的粒度检验应按GB/T 19077 执行。

5.3.4 松装密度检验

粉体的松装密度检验应按GB/T 1479.2 执行。

5.3.5 流化因子检验

粉体的流化因子检验应按GB/T 21782.5 执行。

5.3.6 晶体结构分析

粉体的晶体结构测试应按YB/T 5320 执行。

5.3.7 球形度检验

粉体球形度检验应按GB/T 21649.1 执行。

6 标志、包装、运输、贮存和质量证明书

6.1 标志

包装外应标明：供方单位名称、产品名称、批次号、质量、生产日期及“防潮”字样或标识。

6.2 包装

产品应采用带密封盖的容器包装，容器内放置干燥剂，单个包装净重量不宜超过50kg或由供需双方确定。

6.3 运输和贮存

产品应密封存放在干燥通风和无酸、碱等腐蚀性环境中，应防污染和吸潮。

6.4 质量证明书

产品应按批提交质量证明书，并应包括下列内容：

- a) 供方单位名称；
- b) 产品名称、牌号、批次号、重量；
- c) 执行标准；
- d) 分析检验结果和检验印章；
- e) 生产日期等。

6.5 其他

用户有特殊要求时，应在合同中约定并按约定执行。