

ICS 25.220.70

CCS N 11

团 体 标 准

T/CMES XXXX—2026

丝网印刷法制备曲面薄膜温度传感器工艺 规范

Process specification for preparing curved film temperature
sensors using screen printing method

(征求意见稿)

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

中国机械工程学会标准征求意见稿

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律法规或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不得以任何形式或手段复制、再版或使用本标准及其章节（包括电子版、影印件、发布在互联网及内部网络等）以及用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

前 言.....	III
引 言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 丝网印刷.....	1
3.2 衬底.....	1
3.3 去离子水.....	2
3.4 前驱体粉体.....	2
4 一般要求.....	2
4.1 人员.....	2
4.2 环境.....	2
4.3 材料.....	2
4.4 基底的处理.....	2
5 工艺控制.....	2
5.1 工艺设备.....	2
5.2 粉体制备.....	2
5.3 工艺步骤.....	3
5.4 性能检测.....	3
6 安全要求.....	3
6.1 操作人员规范.....	3
6.2 离开时注意事项.....	3
7 说明事项.....	4
7.1 订购文件中应明确的内容.....	4
7.2 术语和定义.....	4
7.3 型号命名.....	4

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的有关要求编写，本文件由中国机械工程学会提出并归口。

本文件起草单位：西安交通大学；北京宇航系统工程研究所；四川燃气涡轮研究院；大连理工大学，西昌卫星发射中心。

本文件起草人：张仲恺、雷嘉明、陈伦涛、刘兆钧、田边、吴晨、方续东、赵立波、蒋庄德、刘彬、张雪峰、徐林栋、钟明、李杨、刘军山、吴梦希、李宜，陈少将、吴纯治。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国机械工程学会不负责对其任何该类专利的鉴别。本文件首次制定。

中国机械工程学会标准征求意见稿

引 言

高温测试技术作为研判高温装备工作性能与安全性的关键技术，在钢铁冶金、航空航天与石油化工等领域有着十分迫切的应用需求。国外在该领域也对我国进行了长期的技术封锁和产品垄断，诸多领域难以对高温作业场景的进行可靠测试与监控。应用于高温环境的曲面薄膜温度传感器能为相关需求单位提供强有力的科学理论和数据支持，使需求单位可以基于测试结果优化设计方案，从而为我国高温装备重要零部件的改进提供重要参考数据。进一步规范丝网印刷法制备曲面薄膜温度传感器工艺技术，建立一套相关标准对曲面薄膜温度传感器制备工艺的术语、材料及相应的制备过程等进行统一规范，对于指导丝网印刷制备曲面薄膜温度传感器技术的普及和应用具有重要意义。

中国机械工程学会标准征订

丝网印刷法制备曲面薄膜温度传感器工艺规范

1 范围

本文件规定了曲面上超高温测量薄膜温度传感器的制备要求、工艺控制、安全要求等。

本文件适用于曲面基底表面薄膜热电偶温度传感器的丝网印刷制备及工艺控制，其适用测温范围为室温至 2000 °C。其他类型曲面薄膜温度传感器的制备可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本文件的引用而成为本指导性技术文件的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本指导性技术文件，然而，鼓励根据本指导性技术文件达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本指导性技术文件。

GB/T 36085-2018 纳米技术 纳米粉体材料测试参考样品研制指南

GB/T 7665 传感器通用术语

GB/T 7666 传感器命名法及代码

3 术语和定义

GB/T 36085-2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了上述文件中的某些术语和定义。

界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 36085-2018 中的某些术语和定义。

3.1

丝网印刷 Screen printing

在丝网印版的一端加入油墨，用刮刀在加入油墨的部位施加一定压力，并同时朝丝网印版的另一端移动。此时油墨在刮刀的带动下经过网版上的图案时会透过网版印在下面的承印物上，而没有经过图案的部位油墨则不会透过网版。当刮刀移动到另一端时，油墨经过了整个网版，并在有图案的部分透过网孔印在了承印物上，因此形成了和网版一致的图案。

[来源：GB/T 36085-2018，3.1]

3.2

衬底 Substrate

耐高温陶瓷片，如氧化铝、氮化铝、氮化硅、碳化硅陶瓷。

[来源：GB/T 36085-2018，3.2]

3.3

去离子水 Deionized water

通过离子交换树脂除去水中的离子态杂质而得到的近于纯净的水。

[来源；GB/T 36085-2018，3.3]

3.4

前驱体粉体 Precursor powder

采用化学工艺制备得到的粉体，用于丝网印刷和流延工艺在曲面上制备陶瓷薄膜。一般要求具有较小的粒径，以保证制备的浆料具有较好的分散性和成膜的相对致密性。

[来源；GB/T 36085-2018，3.4]

4 一般要求

4.1 人员

从事陶瓷薄膜制备的操作人员必须经过相关实验设备培训和考核。

4.2 环境

整个工艺流程在洁净间中进行，温度 $22^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $45\% \pm 10\%$ ，纯水净化水系统的出口纯水电阻率达到 $18\text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ ，细菌数 ≤ 2 个/100ml， $0.2\mu\text{m}$ 以上微粒数 ≤ 2 个/ml， $\text{TOC} \leq 30\mu\text{g/l}$ ， $\text{SiO}_2 \leq 3\mu\text{g/l}$ 。

4.3 材料

基底材料表面不应存在裂纹、夹杂缺陷，尺寸精度、粗糙度等其他表面质量满足设计方提供的技术文件或合同的要求。靶材应具有足够的纯度和洁净度。膜层材料与基底材料应具有良好的浸润性和机械结合力，满足技术要求。玻璃粉的选择采用无铅玻璃粉，软化温度为 1400°C 。

4.4 基底的处理

曲面陶瓷片进行高温热处理。将初始打磨过的基片置于马弗炉中 1500°C 处理 3.5 小时后自然冷却，作为薄膜型热电偶的承载基底。每次使用前，将基片先后用丙酮，酒精，去离子水清洗，干燥后备用。

5 工艺控制

5.1 工艺设备

丝网印刷机台通常由网版、刮刀、油墨、印刷台以及承印物几部分组成。

5.2 粉体制备

前驱体粉体的制备及相关参考样品研制可参照 GB/T 36085-2018 的规定执行，作为丝网印刷用浆料的粉体，一般要求具有较小的粒径，以保证制备的浆料具有较好的分散性和成膜的相对致密性。具体步骤如下(以制备 LaCrO_3 样品 5g 为例)：

- a) 将 8.0839g 硝酸铬($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)和 7.4047g 硝酸镧($\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)混合加入去离子水中，搅拌，形成溶液 A。将 8.4476g 一水合柠檬酸 ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 加入去离子水中，搅拌，形

成溶液 B;

- b) 将溶液 A、溶液 B 混合，并加入 10ml 聚乙二醇。将混合溶液加热到 80℃，在磁力加热搅拌器中搅拌 4h，转速设为 250r/min，得到溶胶。将溶胶放入烘箱中，在 80℃ 下烘至成干凝胶。将干凝胶捣碎放入马弗炉中预烧，烧结条件为 900℃，4h，升温速率为 5℃/min，烧结氛围为空气，得到 LaCrO₃ 浆料粉体。
- c) 将预烧后的粉末捣碎放入装有研磨球的球磨罐中，球磨罐中加入适量无水乙醇混合，其中无水乙醇与粉末重量比为 1.16:1。开始球磨。球磨机转速为 300r/min，球磨 8-24h。球磨后将研磨球和粉末混合液倒入培养皿中，将培养皿放入烘箱中在 80℃ 下烘干；
- d) 将烘干后的物料通过滤网分离研磨球和块状粉体，将快转粉体收集并研磨得到前驱粉体，将块状粉体收集并研磨得到最终粉体

5.3 工艺步骤

- a) 将前驱粉体，乙基纤维素和玻璃粉共同研磨混合均匀。将适量松油醇加入混合均匀后的粉末中，充分搅拌，形成具有一定粘度的浆料。准备基板。将购买的基片先后用丙酮，酒精，去离子水清洗，干燥；
- b) 配制浆料，将前驱粉体、乙基纤维素和玻璃粉按照一定比例放入研钵中研磨，研磨充分后收集，并滴入适量松油醇，搅拌 5 min 形成浆料。浆料中各成分比例如表 1：

表 1 浆料成分比例

项目	前驱粉体	乙基纤维素	玻璃粉	松油醇
添加量/g	10	0.31	0.5	8

乙基纤维素可以提高印刷油墨的粘滞性，适当添加可以提高丝网印刷的图形化效果。玻璃粉作为烧结助剂提高热电偶在高温时的服役特性，而后开始印刷，步骤如下：

- c) 开始丝网印刷。将网版置于基底上，将制得浆料倒入网版一端，然后将刮刀置于浆料部位，并施加一定的压力使网版和基底充分接触，随后轻轻移动刮刀，使之带着浆料向网版的另一端移动，直至把浆料刷过网版上的图案。此时浆料在刮刀的作用下透过网版在下层基底上形成特定图案。所用网版为 250 目的尼龙制丝网；
- d) 将印刷好的图案的基底置于热台上烘干，烘干温度为 110℃，时间为 10min。重复 a、b 步骤，印刷多层，最终形成厚膜样品。将厚膜样品放入马弗炉中进行烧结，烧结条件为 1400℃，保温 4 h，升温速率为 5℃/min，烧结氛围为空气，冷却时自然降温。

5.4 性能检测

- 5.4.1 对薄膜进行 XRD 分析，探究其晶相结构。
- 5.4.2 对薄膜进行 SEM 分析，观察其微观结构。

6 安全要求

6.1 操作人员规范

操作人员应在安全区域，并穿着防护服。
操作人员应在测试过程中佩戴防护眼罩。

6.2 离开时注意事项

- a) 将所用工具放回原处，整理室内卫生；

- b) 在离开之前，应确定拉闸断电，关闭门窗。

7 说明事项

符合本规范的产品可用于航天、航空、船舶、兵器、电子等领域军事装备上曲面薄膜温度传感器的制备。

7.1 订购文件中应明确的内容

订购文件应规定下列内容：

- a) 本文件的编号、名称；
- b) 数量；
- c) 其他要求。

7.2 术语和定义

GB/T 7665 确立的术语和定义适用于本文件。

7.3 型号命名

本文件的型号命名应符合 GB/T 7666 的规定。

参考文献

- [1] GB/T 36085-2018 纳米技术 纳米粉体材料测试参考样品研制指南
- [2] GB/T 7665 传感器通用术语
- [3] GB/T 7666 传感器命名法及代码

中国机械工程学会标准征求意见稿