ICS 01.040.25

**J 04**

团体标准

T/CMESXXXX—2024

航天用X射线聚焦金属反射镜加工与检测规范

Specification for manufacturing and measurement of X-ray focusing metal mirror

（征求意见稿）

2023-XX-XX 发布

2023-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。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

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.](http://www.cmes.)org 联系人：袁俊瑞电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

[前言 III](#_Toc166574659)

[引言 IV](#_Toc166574660)

[1 范围 1](#_Toc166574661)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc166574662)

[3 术语和定义 1](#_Toc166574663)

[4 制造加工条件 2](#_Toc166574672)

[4.1 设备洁净度 2](#_Toc166574673)

[4.2 环境条件 2](#_Toc166574674)

[4.3 工具和设备 2](#_Toc166574675)

[5 材料选择 3](#_Toc166574676)

[5.1 芯轴材料 3](#_Toc166574677)

[5.2 反射镜基体材料 3](#_Toc166574678)

[5.3 反射膜材料 3](#_Toc166574679)

[6 加工流程 3](#_Toc166574680)

[6.1 芯轴制造 4](#_Toc166574681)

[6.2 反射镜制造 4](#_Toc166574682)

[7 评价与检测 4](#_Toc166574683)

[7.1 外观评价 5](#_Toc166574684)

[7.2 表面粗糙度检测 5](#_Toc166574685)

[7.3 机械性能检测 5](#_Toc166574686)

[7.4 内应力检测 5](#_Toc166574687)

[7.5 面形检测 5](#_Toc166574688)

[8 合格证明 5](#_Toc166574689)

[8.1 材料合格证明 5](#_Toc166574690)

[8.2 反射镜合格证明 5](#_Toc166574691)

[9 运输和贮存 5](#_Toc166574692)

[9.1 运输 5](#_Toc166574693)

[9.2 贮存 6](#_Toc166574694)

[10 交付 6](#_Toc166574695)

前言

本标准依据T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

本标准起草单位：北京控制工程研究所、中科院高能物理研究所、同济大学、哈尔滨工业大学、国防科技大学、南京航空航天大学、硕美光学科技（苏州）有限公司、上海现代先进超精密制造中心有限公司。

本标准起草人：李连升、左富昌、石永强、黎月明、陈勇、杨彦佶、韩大炜、王波、王占山、沈正祥、戴一帆、胡皓、马韬、朱增伟、刘国淦。

考虑到本标准中的某些条款可能涉及专利，中国机械工程学会不负责对任何该类专利的鉴别。

本标准首次制定。

引言

X射线聚焦光学系统是实现X射线高分辨率探测的关键，在X射线天文观测、脉冲星计时导航、太阳观测、同步辐射、X射线/极紫外光刻等领域具有极为广阔的应用前景。X射线聚焦金属反射镜是X射线聚焦光学系统的核心光学零件，通过制定电铸复制技术加工X射线聚焦金属反射镜的标准，定义表面精密加工、膜层镀制、基体电铸和反射镜分离等加工工序与粗糙度、面形、内应力等性能检测的共性要求，对提高国内X射线聚焦金属反射镜的加工与检测水平至关重要，对我国开展空间X射线探测和地面X射线应用具有重要意义。目前，国内外X射线聚焦金属反射镜加工与检测相关技术标准处于空白状态。

航天用X射线聚焦金属反射镜加工与检测规范

范围

本标准规定了航天用X射线聚焦金属反射镜加工与检测工艺的范围、规范性引用文件、术语和定义、分类和等级、材料、芯轴加工与测试、镀反射膜、电铸镍、反射镜脱模、反射镜性能检测、合格证明、检验和交付。

本标准适用于X射线聚焦金属反射镜加工与检测工艺，其他材料的短波光学聚焦光学系统加工与检测工艺也可参考本标准。

规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3177—2009 产品几何技术规范（GPS）光滑工件尺寸的检验

GB/T 1958—2004 产品几何量技术规范（GPS）形状和位置公差检测规定

GB 5226.1 机械电气安全机械电气设备第1部分：通用技术条件

JB/T9168.2—1998 切削加工通用工艺守则车削

JB/T9168.8—1998 切削加工通用工艺守则磨削

QJ1405—88 电铸工艺规范电铸镍溶液

HG/T 4079—2009 金属抛光表面质量检测机评判规则

术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

电铸复制electroforming replication

基于在镀反射膜的超精密芯轴表面电铸镍或镍钴层，经过脱模分离得到以电铸镍/镍钴层为基体，以反射膜为反射表面的光学元件的制造工艺技术。

芯轴 mandrel

经过车削、磨削和抛光等机械加工得到的超光滑、高面形精度的柱状零件。

X射线 X-ray

可通过掠入射反射方式实现高效率反射的波长范围为0.01-6.2nm的电磁波。

金属反射镜metal mirror

基于全反射理论，可通过一次反射或两次及以上反射实现X射线会聚到一点，基体材料为镍或镍钴的反射镜。

单层膜 single-layer

单种材料构成的可实现X射线高效率反射的膜层。

多层膜 multilayer

两种或两种以上材料构成的可实现高能（10~100keV）X射线高效率反射的多个周期性膜层。

面形误差 surface figure

加工导致的零件表面偏离理想表面的中低空间频率几何误差。

表面粗糙度 surface roughness

加工表面具有的较小间距和微小峰谷不平度。其波峰和波谷之间的距离（波长）很小（在1mm以下），属于微观几何形状误差。

[HG/T 4079—2009 定义3.1]

制造加工条件

设备洁净度

除非按洁净室分级，安装和装配的场地应保持整洁有序，且没有散放的会导致污染的材料，工作场地的设施应保持最少，其安放应便于地面的清扫；

工作台面应采用便于清扫的硬表面或用可替换的干净的、耐腐蚀的硅酮纸覆盖；

工具和刀具应洁净，多余的润滑油和颗粒如氧化物和锈蚀应在每道工艺前去除。

环境条件

加工制造场地应控制污染的进入，应不断地维持下述的场地环境条件：

温度：22±3℃；

湿度：≤65%。

工具和设备

4.3.1 切削工具

芯轴加工需要使用普通车削刀具、金刚石车削刀具、磨削砂轮、抛光盘等工具，实现芯轴粗加工和精加工。

4.3.2 镀膜设备

镀膜设备应配备用户使用说明书，包含定期检查的项目、周期和标准。推荐使用设备出厂自带的工艺参数，或使用通过试验得出的工艺参数。

4.3.3 电铸设备

电铸设备应配备用户使用说明书，包含定期检查的项目、周期和标准。推荐使用设备出厂自带的工艺参数，或使用通过试验得出的工艺参数，使用的电铸镍/镍钴溶液符合标准QJ1405—88《电铸工艺规范 电铸镍溶液》的要求或通过工艺试验得到的配方。

4.3.4脱模分离设备

脱模分离设备应配备用户使用说明书，包含操作步骤、注意事项等，根据待脱模反射镜的口径和长度等几何参数，通过试验得出工艺参数。

材料选择

按照加工工艺流程分为芯轴材料和反射镜材料，反射镜材料进一步按照功能分为基体材料和反射膜材料。

芯轴材料

芯轴材料为铝合金材料，优选牌号6061和LD2。

反射镜基体材料

反射镜基体材料为电铸工艺得到镍或镍钴。

反射膜材料

反射膜可以为单层膜或多层膜，单层膜为金、铱等高Z材料，多层膜为Pt/Cr、W/Si或设计得到的其他金属与非金属组合周期膜。

制备流程

X射线聚焦金属反射镜的典型制备流程如图1所示。

D:\工作\预研项目\标准编写\流程图.emf

图1 X射线聚焦金属反射镜典型制备流程

芯轴制造

a）CNC加工芯轴坯料。采用数控车床加工芯轴坯料，加工后的外形尺寸符合设计要求；

b）芯轴表面化学镀镍磷合金。除非客户另行规定，应根据GB/T 13913-2008 《金属覆盖层化学镀镍-磷合金镀层规范和试验方法》进行芯轴表面化学镀镍磷合金；

c）金刚石精密车削。采用数控车床和金刚石车刀，加工后的外形尺寸和表面粗糙度符合设计要求；

d）超精密抛光及检测。采用化学机械抛光、磁流变抛光、离子束抛光和气囊抛光等方法对芯轴表面进行抛光；

e）检测。根据标准HG/T 4079—2009《金属抛光表面质量检测及评判规则》对抛光的芯轴表面粗糙度、面形误差进行检测。

反射镜制造

a）清洗及钝化处理。清洗及钝化清洗流程如下图2所示；



图2 芯轴清洗流程

b）镀膜。采用符合JB/T 6922-2015《真空蒸发镀膜设备》的蒸发镀膜设备或符合SJ/T 10478-94《磁控溅射设备通用技术条件》的溅射镀膜设备进行镀膜，膜层厚度符合设计要求且应均匀，根据GB/T33051-2016《光学功能薄膜表面硬化薄膜硬化层厚度测定方法》对膜层进行厚度检测；

c）电铸镍/镍钴。除非客户另行规定，QJ1405-88《电铸工艺规范电铸镍溶液》和工艺试验确定的工艺参数开展电铸镍；

d）分离。根据热胀冷缩原理，采用脱模分离设备，将电铸层和镀膜层组成的反射镜从芯轴上脱离下来，反射镜与芯轴之间不得有粘连。

评价与检测

外观评价

除非客户另行规定，应根据以下标准对反射镜外观进行评价：

1. QJ1408-88 《电铸镍质量验收技术条件》；

表面粗糙度检测

除非客户另行规定，应根据以下标准对与反射镜相同工艺得到的电铸镍试样进行表面粗糙度检测：

——QJ1408-88 《电铸镍质量验收技术条件》、HG/T 4079—2009 《金属抛光表面质量检测机评判规则》；

机械性能检测

除非客户另行规定，应根据以下标准对与反射镜相同工艺得到的电铸镍试样进行机械性能检测：

——QJ1408-88 《电铸镍质量验收技术条件》；

内应力检测

除非客户另行规定，应根据以下标准对与反射镜相同工艺得到的电铸镍试样进行内应力检测：

——QJ1408-88 《电铸镍质量验收技术条件》；

面形检测

除非客户另行规定，参考HB7779-2005《形状和位置公差检测方法的一般要求》，并结合经客户评审认可的检测大纲，对反射镜面形误差进行检测和评价。

合格证明

材料合格证明

材料供应商应按照要求向客户提供合格证明，确认每批的取样、测试及检测均依据本规范进行，且满足要求。证明文件应包含用户对材料的特性要求，包括材料的生产批号等信息，以及交付产品的特性要求。

反射镜合格证明

8.2.1　反射镜生产商在交货时应向客户提供一份包含完整测试报告的合格证明。

8.2.2　合格证明中应包括详细的材料批次信息。

8.2.3　合格证明中应包括必要的反射镜表面形貌性能数据（例如表面粗糙度和反射面型等）。

8.2.4　合格证明中应包含客户要求的特殊尺寸信息和材料组成等数据。

8.2.5　L级零件可不出具合格证明。

运输和贮存

运输

X射线聚焦金属反射镜应配备包装箱，包装箱上应有明显的标志。标志内容可包括：生产日期，反射镜口径、焦距等参数。包装箱内部设置适应反射镜的卡槽和防撞击措施，放置磕碰。

贮存

X射线聚焦金属反射镜应贮存在干燥、通风、清洁并保持有良好消防设施的实验室环境内。

交付

交付的X射线聚焦金属反射镜应包含但不限于以下信息：

1. 供应商信息（名称、地址和联系方式）；
2. 反射镜规格和材料组成；
3. 执行标准编号；
4. 数量；
5. 生产日期；
6. 测试数据及合格证明；
7. 产品包装、运输、贮存等要求。

参考文献

1. HB7779-2005《形状和位置公差检测方法的一般要求》
2. QJ1408-88 《电铸镍质量验收技术条件》
3. QJ1405-88《电铸工艺规范电铸镍溶液》
4. SJ/T 10478-94《磁控溅射设备通用技术条件》
5. GB/T33051-2016《光学功能薄膜表面硬化薄膜硬化层厚度测定方法》
6. GB/T 13913-2008 《金属覆盖层化学镀镍-磷合金镀层规范和试验方法》
7. JB/T9168.2-1998《切削加工通用工艺守则车削》
8. JB/T9168.8-1998《切削加工通用工艺守则磨削》
9. GB/T 3177-2009《产品几何技术规范（GPS）光滑工件尺寸的检验》
10. GB/T 1958-2004《产品几何量技术规范（GPS）形状和位置公差检测规定》
11. GB 5226.1 《机械电气安全机械电气设备第1部分：通用技术条件》

ICS 01.040.25

**J 04**

**关键词：电铸复制、芯轴、金属反射镜、镀膜、面形误差、粗糙度**