ICS 25.220.20

CCS A29

**团 体 标 准**

T/SDMI XXXX—2025

**工业机器人关节轴承锰系磷化处理**

**技术要求**

**Spherical Plain Bearing-**Technical requirement for Manganese Phosphating Treatment of Industrial Robot Joint Bearings

2025-XX-XX发布 2025-XX-XX实施

山东省机械工业协会 发布

T/SDMI XXXX—2025

**目 录**

前言.................................................... 1

1.范围 ................................................ 2

2.规范性引用文件 ...................................... 2

3.术语和定义......................................................3

4.工艺规范........................................................4

5.技术要求........................................................5

6.试验方法..............................................6

7.检验规则..............................................7

8 环保要求........................................................8

T/SDMT XXXX—2025

**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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省机械工业协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

T/SDMT XXXX—2025

**工业机器人关节轴承锰系磷化处理技术要求**

**1 范围**

本文件规定了采用GCr15、GCr15SiMn同等性能材质的工业机器人关节轴承锰系磷化处理的工艺规范、技术要求、试验方法、检验规则及环境保护要求。

本文件适用于工业机器人关节轴承的锰系磷化处理的技术要求。

**2 规范性引用文件**

下列文件中的内容通过文中的规范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，不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4956磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法

GB/T 6462金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法

GB 8978 污水综合排放标准

GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 11376 金属及其他无机覆盖层 金属的磷化膜

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB/T 31189 金属磷化废水中磷回收技术规范

**3 术语和定义**

GB/T 11376界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业机器人关节轴承 Industrial robot joint bearing

用于工业机器人关节部位，可承受多方向载荷（径向、轴向、倾覆力矩），具有高刚性、高精度和长寿命的轴承。

3.2

锰系磷化膜Manganese phosphating film

以锰的磷酸盐为主要成分的化学转化膜，通过磷酸锰盐溶液与金属表面反应形成，具备耐磨、耐腐蚀及减摩特性。

3.3

膜层厚度Film thickness

是指锰系磷化膜在关节轴承表面的垂直厚度，单位为微米（μm）。

3.4

表调Table tone

通过表面调整剂改善金属表面状态，促进磷化膜均匀成核的预处理工艺。

3.5

结合力binding force

磷化膜与关节轴承基体间的界面附着强度。

**4 工艺规范**

4.1 表面预处理要求关节轴承表面粗糙度 Ra 值应不大于1.6μm，以确保磷化膜与基体的有效结合。

4.2 工艺流程至少应包括：除油/除锈→水洗→表调→磷化→水洗→干燥/涂油防锈。

4.3磷化前处理工艺

4.3.1 关节轴承在磷化处理前应进行彻底的除油、除锈和表面活化处理，确保表面无油污、锈迹、氧化皮和其他污染附着物。

4.3.2 除锈/除油工艺参数应符合表一规定。

表一 除锈/除油工艺参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 工艺方法 | 控制要点 |
| 除锈 | 光饰机光饰 | 120目～240目棕刚玉多形状研磨块 |
| 除油 | 清洗机清洗（预脱脂） | 水+5%金属脱脂剂 |

4.3.3 水洗工艺参数应符合表二规定。

表二 水洗工艺参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 步骤 | 项目 | 控制要点 |
| 1 | 水洗（主脱脂）） | 水+5%金属脱脂剂；  温度50℃±5℃；时间10 min±5min |
| 2 | 水漂洗1 | 去除脱脂剂残留 |
| 3 | 水漂洗2 |

4.3.4 表面调整处理工艺参数应符合表三规定。

表三 表面调整处理工艺参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 标准范围 | 控制要点 |
| 锰系表面调整剂 | 0.5%～0.6% | 按调整剂说明书配制 |
| 酸碱度 | Ph8～pH10 | PH值试纸测试 |
| 温度 | 40℃～60℃ | 采用不锈钢盘管加热，波动≤±2℃，避免胶体钛絮凝 |
| 处理时间 | 0.5min～2min | 复杂工件（如带孔带槽轴承）延长至 1.5min～2 min，确保活性晶核均匀吸附 |
| 搅拌强度 | 0.5 m³/min～1.0m³/min | 采用 316 不锈钢螺旋桨式搅拌器，避免死角，悬浮液浊度保持在 300 NTU～500NTU |
| 补加频率 | 每处理50m² 补加 1kg | 每日检测表调液电导率（应≤500μS/cm），每周至少更换 1/3 槽液 |

4.3.5 磷化工艺参数应符合表四规定。

表四 磷化工艺参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 控制范围 | 工艺说明 |
| 锰离子浓度 | 2.0 g/L～4.0g/L | 采用锰盐溶液调控，确保成膜核心物质浓度 |
| 磷酸根离子浓度 | 20 g/L～30g/L | 维持磷化反应所需酸性环境 |
| 游离酸度 | 11～15点（滴定法） | 反映溶液中游离磷酸的浓度 |
| 总酸度 | 55～75点（滴定法） | 反映溶液中总酸含量及成膜能力 |
| 酸比 | 推荐5～6 | - |
| 促进剂 | 1.0 g/L～3.0g/L | 加速反应并控制膜层结晶形态，可优化成膜质量与效率 |
| 磷化温度 | 90℃～98℃ | 需通过温控系统精确控制 |
| 磷化时间 | 3min～10min | 2µm～5µm膜厚 |
| 8min～20min | ≥5µm膜厚 |

4.3.6 后处理工艺参数应符合表五规定。

表五 后处理工艺参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 步骤 | 项目 | 控制要点 |
| 1 | 去离子水冲洗 | 时间5min，温度 25℃±5℃。 |
| 2 | 油清洗 | 采用清洗油，常温；清洗机网带速度1.5 m/min±0.5m/min |
| 3 | 烘干 | 热风烘干，温度 50℃～60℃ |
| 4 | 涂油防锈 | 防锈油雾化喷涂 |

**5技术要求**

5.1膜层性能

5.1.1 外观质量

膜层应均匀、致密，呈灰黑色或深灰色，不得有裂纹、剥落、疏松、锈迹等缺陷；允许轻微颜色差异，但同一批次产品外观应保持一致性。

5.1.2 膜层厚度

一般要求：3μm～15μm；

精密部件产品（轻型机械手等）：2μm～5μm，确保装配精度；

大间隙部件产品（重型搬运机器人等）：5μm～20μm，强化耐磨性能。

5.1.3膜层质量

一般要求：2 g/㎡～10g/㎡；

精密部件产品（轻型机械手等）：2 g/㎡～5g/㎡；

大间隙部件产品（重型搬运机器人等）：5 g/㎡～10g/㎡；

5.1.4 硬度μm

磷化膜的显微硬度应不低于300HV。

5.1.5 耐磨性

采用摩擦磨损试验机进行测试，在载荷200g、转速300r/min、循环次数680次的条件下，磨损体积应不大于0.5mm³。

5.1.6摩擦系数

在边界润滑条件下≤0.15，动态载荷下≤0.20。

5.1.7 耐腐蚀性

耐腐蚀性应符合表六规定。

表五 耐腐蚀性要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 试验项目 | 测试方法 | 判定标准 |
| 中性盐雾试验 | GB/T 10125，72h | 表面无红锈（Fe锈蚀）出现 |
| 硫酸铜点滴试验 | 3%硫酸铜溶液，室温点滴 | 变色时间 ≥180s |

5.1.8 结合力

采用划格法进行测试，按照GB/T 9286的规定，附着力等级应达到0级或1级（无膜层脱落或脱落面积≤5%）。

**6 试验方法**

6.1 外观检验

采用目视检测，光照强度≥300lx，观察距离30~50cm，逐件观察磷化膜的颜色、均匀性和表面缺陷。

6.2 膜层厚度测定

6.2.1磁性测厚法：依据GB/T 4956，在工件表面选取5个以上测点，取算术平均值。

6.2.2金相法：必要时采用GB/T 6462金相显微镜法，测量膜层截面厚度。

6.3 膜层质量测定

采用称重法，使用精度不低于0.1mg天平，将已知面积的轴承零件在磷化前后分别称重，两者的重量差即为磷化膜的重量。

6.4 硬度测试

使用维氏显微硬度计，在膜层表面选取3个有效测点，剔除异常值后取平均值。

6.5 耐磨性测试

参照GB/T12444-2006标准方法，采用销-盘摩擦副测试，记录磨损体积。

6.6 摩擦系数测试：模拟关节轴承工况，使用摩擦磨损试验机测试不同载荷下的摩擦系数。

6.7 耐腐蚀性测试

6.7.1 盐雾试验

按照GB/T 10125的规定进行中性盐雾试验，试样需暴露于盐雾箱内72h后观察锈蚀情况；

6.7.2 硫酸铜点滴试验

在室温下，取3%硫酸铜溶液滴于膜层表面，秒表记录溶液颜色由蓝变绿的时间。

6.8 结合力测试

按照GB/T 9286的规定进行划格试验方法，评估附着力等级。

**7 检验规则**

7.1 过程检验

每批次磷化件需检验以下项目：

——外观质量（100%全检）；

——膜层厚度（每批抽检≥5件，每件测5点）；

——结合力（每批抽检≥3件，每件做1处划格试验）；

——显微硬度（每批抽检≥2件，每件测3点）。

判定规则：若有任一指标不合格，需对该批次产品进行返工处理，重新检验合格后方可流入下道工序。

7.2 型式检验

7.2.1型式检验应在下列情况下进行：

- 新产品投产或老产品转产时；

- 原材料或工艺发生重大变化时；

- 正常生产每半年一次；

- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；

- 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

7.2.2型式检验项目包括本文件规定的全部技术要求。

7.3 抽样方法

过程检验和型式检验的抽样方法应按照工艺文件规定或国家相关现行标准的规定进行；用户要求时应按技术协议的约定进行。

7.4 判定规则

7.4.1 过程检验中，若有一项指标不符合要求时，则该批产品为不合格品。

7.4.2 型式检验中，若有一项指标不符合要求时，则应加倍抽样进行复检。复检后仍有一项指标不符合要求时，则判定该批产品为不合格品。

**8 环保要求**

8.1 废水处理

磷化废液需经沉淀、除磷等工艺处理，磷含量需符合GB 8978中的三级标准，同时遵循GB/T 31189规定进行磷资源回收。

8.2 废气处理

磷化过程中产生的酸性废气需经中和处理，排放浓度需符合GB 16297中相关限值要求。

8.3 废渣处理

磷化沉渣需分类收集，委托有资质单位处理。