

团体标准

T/HNNMIA XXXXX—2020

锡基轴承合金涂层质量评价规范

Specification for quality evaluation of Tin-based bearing alloy coatings

(征求意见稿)

2020-XX-XX 发布

2020-XX-XX 实施

河南省有色金属行业协会发布

目 次

| | |
|----------------|---|
| 前 言..... | I |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件..... | 1 |
| 3 术语和定义..... | 1 |
| 4 涂层质量等级..... | 2 |
| 5 技术要求..... | 3 |
| 6 评价标准..... | 3 |
| 7 检验方法..... | 5 |
| 8 检验条件及环境..... | 6 |
| 附 录 A..... | 7 |

前 言

本文件依照 GB/T1.1-2020 给出的规则起草。

本文件由河南省有色金属行业协会提出。

本文件由河南省有色金属行业协会归口。

本文件起草单位：郑州机械研究所有限公司、中机智能装备创新研究院（宁波）有限公司、申科滑动轴承股份有限公司、哈尔滨工业大学、江苏科技大学、南京航空航天大学、华侨大学。

本标准文件主要起草人：龙伟民、董显、宋晓国、吴铭方、张远海、程亚芳、于新泉、黄国钦、薛松柏、董宏伟、程战、王博、常云峰、刘晓芳、董博文、董鹏。

本文件为 2020 年 XX 月 XX 日首次发布。

锡基轴承合金涂层质量评价规范

1 范围

本文件规范了锡基轴承合金涂层质量评价的技术要求、评价标准、检验方法，以及检验条件。

本文件适用于制对锡基轴承合金涂层质量的检验和评价。

2 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 231（所有部分） | 金属布氏硬度试验 |
| GB/T 1174 | 铸造轴承合金 |
| GB/T 8740 | 铸造轴承合金锭 |
| GB/T 12948 | 滑动轴承 双金属结合强度破坏性试验方法 |
| GB/T 13298 | 金属显微组织检验方法 |
| GB/T 18329.1 | 滑动轴承 多层金属滑动轴承结合强度的超声波无损检验 |
| GB/T 18851 | 无损检测 渗透检测 |
| GB/T 34885 | 无损检测 电磁超声检测 总则 |
| GB/T 35088 | 滑动轴承 多层滑动轴承用锡基铸造合金 |
| GJB 1187 | 射线检测 |
| CB 1156 | 锡基轴承合金金相检验 |

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

结合层 binding layer

锡基轴承合金与基体发生冶金反应形成的反应层或过渡层，包含结合层与基体的界面。

3.2

厚度最大波动 maximum fluctuation of thickness

涂层最大厚度与最小厚度的差值。

3.3

名义涂覆面积 coated area

锡基轴承合金涂层与基体形成的总的界面面积。

3.4

有效涂覆面积 effective coated area

锡基轴承合金涂层与基体发生冶金反应的界面面积。

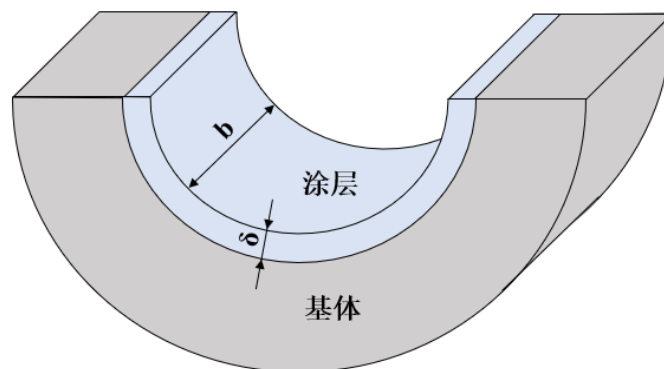
3.5

涂覆率 coating rate

锡基轴承合金有效涂覆面积与名义涂覆面积的比值。

4 涂层质量等级

锡基轴承合金涂层示意图如图 1 所示，其质量等级按表 1 的规定划分为 I、II、III 三个等级。I、II 等级涂层应在设计文件中注明，未注明的为 III 级涂层。



注：b 涂层宽度，单位为毫米（mm）；

δ 涂层厚度，单位为毫米（mm）。

图 1 涂层示意图

表 1 涂层质量等级

| 级别 | 服役条件 | 质量要求 |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| I | 稳定载荷时，轴承 pv 值大于 15 MPa m/s； 或变载荷时，轴承 pv 值大于 12 MPa m/s； 或对涂层质量要求很高 | 涂层表面平整、光洁、连续致密，涂层无裂纹、气孔、夹杂、疏松、肉眼可见凹坑等 |
| II | 稳定载荷时，轴承 pv 值大于 10 MPa m/s 且 不大于 15 MPa m/s； 或变载荷时，轴承 pv 值大于 8 MPa m/s 且不 大于 12 MPa m/s； 或对涂层质量要求不高 | 涂层表面平整、光洁、连续致密，涂层无裂纹、聚集性气孔、夹杂等。允许存在少量、轻微的分散性气孔、疏松和凹坑 |
| III | 稳定载荷时，轴承 pv 值不大于 10 MPa m/s； 或变载荷时，轴承 pv 值不大于 8 MPa m/s； 或对涂层质量要求很低 | 涂层表面平整、光洁，无明显裂纹、聚集性气孔等。允许存在少量非贯穿性裂纹、气孔、疏松和凹坑，允许局部存在少量夹杂 |
| 注：需要考虑具体服役条件，对涂层进行质量分级。 | | |

5 技术要求

5.1 基本要求

- 5.1.1 锡基轴承合金涂层涂覆率应不小于 85%。
- 5.1.2 锡基轴承合金涂层应平整、光洁，外观无明显裂纹、聚集性气孔、夹杂、缩松等缺欠。
- 5.1.3 力学性能应满足服役要求。
- 5.1.4 润滑性能应满足服役要求。
- 5.1.5 使用寿命应满足服役要求。

5.2 指标要求

锡基轴承合金涂层的质量评价指标应该包含涂层表面质量、涂层内部质量、涂层与基体的结合质量等，本文件以较为重要的几类缺欠进行具体规范，具体评价指标见表 2。

表 2 锡基轴承合金质量评价指标

| 分类 | 具体指标 | 分类 | 具体指标 |
|------|--------|-------|------|
| 表面质量 | 表面裂纹 | 结合层质量 | 裂纹 |
| | 表面气孔 | | 夹杂 |
| | 厚度最大波动 | | 涂覆率 |
| 内部质量 | 内部裂纹 | 力学性能 | 硬度 |
| | 内部气孔 | | 结合强度 |
| | 夹杂 | | |
| | 疏松 | | |

6 评价标准

6.1 涂层表面质量要求

6.1.1 表面裂纹

涂层表面不允许存在贯穿性裂纹，I、II 级涂层不允许存在裂纹，III 级涂层允许有少量非贯穿性裂纹，裂纹深度不大于涂层厚度的 20%，裂纹长度不大于涂层宽度的 40%。

6.1.2 表面气孔

涂层表面不允许存在聚集性气孔，具体要求如下：

- 1) I 级涂层不允许存在直径大于 1mm 的表面气孔，气孔深度不大于涂层厚度的 10%，气孔总面积不大于涂层面积的 3%；
- 2) II 级涂层不允许存在直径大于 1.5mm 的表面气孔，气孔深度不大于涂层厚度的 10%，气孔总面积不大于涂层面积的 5%；
- 3) III 级涂层不允许存在直径大于 2mm 的表面气孔，气孔深度不大于涂层厚度的 20%，气孔总面积不大于涂层面积的 10%。

6.1.3 厚度最大波动

涂层表面应平整、光洁、连续致密，不允许有较大的毛刺、异物等，厚度最大波动应符合表 3 要求。

表 3 厚度最大波动要求

| 涂层厚度 t/mm | 涂层级别 | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| | I 级 | II 级 | III 级 |
| ≤3mm | 0.5mm | 0.6mm | 0.8mm |
| 3~7mm | 0.8mm | 1.0mm | 1.2mm |
| >7mm | 1.2mm | 1.5mm | 不要求 |

注：根据实际服役条件，可约束其他尺寸的厚度最大波动。

6.2 内部质量要求

6.2.1 内部裂纹

涂层不允许存在贯穿性裂纹，I、II 级涂层不允许存在裂纹，III 级涂层允许有少量非贯穿性裂纹，裂纹总长度不大于涂层宽度的 50%。

6.2.2 内部气孔

涂层不允许存在聚集性气孔，具体要求如下：

- 1) I 级涂层不允许存在内部气孔；
- 2) II 级涂层不允许存在直径大于 1mm 的气孔，气孔总面积不大于涂层面积的 3%；
- 3) III 级涂层不允许存在直径大于 2mm 的气孔，气孔总面积不大于涂层面积的 5%。

6.2.3 夹杂和疏松

涂层内部不允许有大尺寸的夹杂和大面积的疏松，具体要求见表 4。

表 4 涂层中夹杂与疏松要求

| 缺欠类型 | 涂层级别 | | |
|------|------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | I 级 | II 级 | III 级 |
| 夹杂 | 无 | 夹杂物最大尺寸不大于 1mm， 总面积不大于涂层面积的 3% | 夹杂物最大尺寸不大于 3mm， 总面积不大于涂层面积的 8% |
| 疏松 | 无 | 允许少量分散疏松 | 允许密集疏松 |

6.3 结合层质量要求

6.3.1 裂纹和夹杂

涂层与基体的结合面处不允许有裂纹和夹杂。

6.3.2 涂覆率

涂层不允许有大面积的未结合，具体要求见表 5。

表 5 涂层涂覆率要求

| 缺欠类型 | 涂层级别 | | |
|------|------|------|-------|
| | I 级 | II 级 | III 级 |
| 涂覆率 | ≥97% | ≥93% | ≥85% |

6.4 力学性能

6.4.1 硬度

涂层硬度不划分质量等级，I、II、III 级涂层都应满足 GB/T 8740 关于硬度的相关要求。

6.4.2 结合强度

涂层的结合强度因涂层成分的不同而有较大的差异，针对不同成分的锡基轴承合金分别划分涂层质量等级，具体要求见表 6。

表 6 涂层结合强度要求

| 类型 | 涂层级别 | | |
|---------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| | I 级 | II 级 | III 级 |
| 结合强度 | ≥0.97 σ_b | ≥0.93 σ_b | ≥0.85 σ_b |
| 注： σ_b 为锡基轴承合金的抗拉强度，数值按照 GB 8740 执行。 | | | |

7 检验方法

7.1 表面质量检验

7.1.1 表面质量检验主要采用目视或采用 5~10 倍放大镜，百分之百进行检验。其他检验由设计文件或工艺文件规定。

7.1.2 表面裂纹等可通过渗透检测判定，按照 GB/T 18851 的规定进行。

7.1.3 厚度最大波动的测量示意图如图 2 所示，将涂层沿轴承的轴向切开，保证切割面与轴承的径向平行，通过体式显微镜或便携式显微镜测量截面上不同位置涂层的厚度，厚度的最大值与最小值之差是此处截面的厚度最大波动。为保证试验的准确性，至少应在轴承上截取 3 处不同位置的截面，分别测量各个截面的厚度最大波动，然后取其平均值，即为该涂层的厚度最大波动 a ，单位是毫米（mm）。

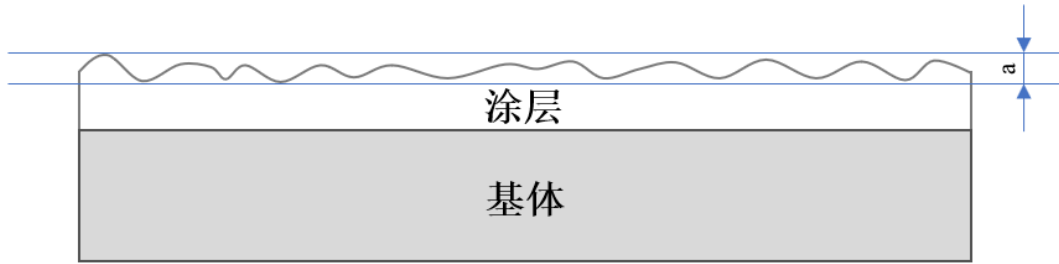


图 2 厚度最大波动测量示意图

7.2 形状尺寸检验

涂层制备前后需按设计文件和工艺文件要求对基体、涂层进行尺寸检验。

7.3 内部质量检验

7.3.1 涂层内部质量可通过试件、样件或产品抽样进行剖切检验。无法进行无损检验、剖切检验或其他内部质量检验时，可制作工艺模拟件或样件进行内部质量检验，检验方法及数量按设计文件或相关标准的规定进行。

7.3.2 内部裂纹、内部气孔、夹杂等缺欠可通过 X 射线检测进行判定，按照 GJB 1187 的规定执行。

7.3.3 夹杂物面积测量按据 GB/T 13298 的规定执行。

7.3.4 涂层金相组织检验主要用于检测涂层组织的偏析程度和组织评定，按照 CB 1156 的规定执行。

7.4 结合层质量检验

涂层的涂覆率等可通过 X 射线、电磁超声和撕裂涂层的方法获取有效涂层面积，X 射线检测按照 GJB 1187 的规定执行，电磁超声检测按照 GB/T 34885 执行，撕裂涂层检测需要采用显微镜自动图像分析仪，进行有效涂层面积的测量。

7.5 力学性能

7.5.1 硬度试验按照 GB/T 231 的规定进行，为保证结果的准确性，硬度计压头选用 $\Phi 10\text{mm}$ 。

7.5.2 结合强度试验按照 GB/T 12948 或 GB/T 18329.1 的规定进行。

8 检验条件及环境

检验前确认涂层表面清洁，无油污、异物等。

检验环境必须照明良好、无明显粉尘等，必要时以（五倍以上）放大照灯检验确认。

检验员视力：1.0 及以上（矫正后视力）。

相对温度： $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

相对湿度：45%RH~75%RH。

附录 A
(资料性附录)
涂层缺欠限度

锡基轴承合金涂层的质量评估可按照本文件采用 I、II、III 三个等级来判别, 质量等级划分已覆盖了大多数实际应用情况, 针对具体的应用建立缺欠的限度。

当对涂层质量等级进行规定时, 应考虑缺欠的类型, 也可针对某个缺欠进行不同的质量等级要求。对于一个具体等级来说, 应综合考虑设计要求、制造工艺、服役条件和在该条件下的使用性能要求等。

表 A.1 给出了不同质量等级涂层的主要缺欠限度值。在采用表 A.1 中的缺欠限度时必须谨慎选择, 特别是对于那些在服役中已经被证明是安全的设计。当为满足质量等级要求而进行重新设计时, 如果服役情况表明当前的设计可以满足使用要求, 那应认真考虑是否需要重新设计来满足这些限度。

表 A.1 涂层主要缺欠限度

| 缺欠类型 | 涂层级别 | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| | I 级 | II 级 | III 级 |
| 厚度最大波动 | 见 5.3.1 | | |
| 表面气孔 | 直径 $\leq 1\text{mm}$, 深度 $\leq 0.1\delta$, 总面积 $\leq 0.03S$ | 直径 $\leq 1.5\text{mm}$, 深度 $\leq 0.1\delta$, 总面积 $\leq 0.05S$ | 直径 $\leq 2\text{mm}$, 深度 $\leq 0.2\delta$, 总面积 $\leq 0.1S$ |
| 表面裂纹 | 无 | 无 | 允许有少量非贯穿性裂纹, 深度 $\leq 0.2\delta$, 长度 $\leq 0.4b$ |
| 内部气孔 | 无 | 直径 $\leq 1\text{mm}$, 总面积 $\leq 0.03S$ | 直径 $\leq 2\text{mm}$, 总面积 $\leq 0.05S$ |
| 内部裂纹 | 无 | 无 | 允许有少量非贯穿性裂纹, 总长度 $\leq 0.5b$ |
| 夹杂 | 无 | 最大尺寸 $\leq 1\text{mm}$, 总面积 $\leq 0.03S$ | 最大尺寸 $\leq 3\text{mm}$, 总面积 $\leq 0.08S$ |
| 疏松 | 无 | 允许少量分散疏松 | 允许密集疏松 |
| 涂覆率 | $\geq 97\%$ | $\geq 93\%$ | $\geq 85\%$ |
| 注: b——涂层宽度, 单位为毫米 (mm); δ ——涂层厚度, 单位为毫米 (mm); S——涂层名义涂覆面积, 单位为平方毫米 (mm ²)。 | | | |