ICS 29.030
CCS K 14

中华人民共和国国家标准

GB/T 47673—2026

磁性材料金相试验方法

Metallographic examination methods of the magnetic materials

2026-07-02 发布　　2027-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　试样 …… 1
4.1　试样截取 …… 1
4.2　试样镶嵌 …… 3
4.3　试样磨光 …… 3
4.4　试样抛光 …… 4
4.5　试样浸蚀 …… 4
5　检测 …… 4
5.1　通则 …… 4
5.2　微观缺陷观察和测量 …… 5
5.3　镀层厚度观察和测量 …… 5
5.4　显微组织的观察 …… 5
5.5　晶粒度的测量 …… 5
5.6　检测结果表示方法 …… 5
6　检测报告 …… 6
附录 A(资料性)　磁性材料浸蚀方法 …… 7
A.1　电解浸蚀方法 …… 7
A.2　化学浸蚀方法 …… 8
附录 B(规范性)　操作金相显微镜及注意事项 …… 10
B.1　显微镜要求 …… 10
B.2　试样观察 …… 10
B.3　试验环境 …… 10
B.4　镜头使用与清洁注意事项 …… 10
附录 C(资料性)　扫描电子显微镜(SEM)辅助观察 …… 11
C.1　适用范围 …… 11
C.2　样品制备 …… 11
C.3　成像 …… 11
C.4　定量测量 …… 11

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。

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。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国电工合金标准化技术委员会(SAC/TC 228)归口。

本文件起草单位：中国科学院宁波材料技术与工程研究所、安泰科技股份有限公司、厦门金波贵金属制品有限公司、桂林电器科学研究院有限公司、广州新莱福新材料股份有限公司、中国计量大学、浙江鑫盛永磁科技股份有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司南宁局、宁波松科磁材有限公司、中国稀土集团创新科技有限公司、英洛华科技股份有限公司、江西粤磁稀土新材料科技股份有限公司、宁波兴隆磁性技术有限公司、杭州象限科技有限公司、包头市检验检测中心、三友联众集团股份有限公司、江苏中车电机有限公司、四川锐腾电子有限公司、包头市英思特稀磁新材料股份有限公司、绍兴康健材料科技有限公司、浙江南磁实业股份有限公司、北京普瑞赛司仪器有限公司、东阳市亿力磁业有限公司、杭州市特种设备检验科学研究院、安徽智磁新材料科技有限公司、烟台正海磁性材料股份有限公司、宁波市磁性材料商会、广东粤海华金科技股份有限公司、惠州攸特电子股份有限公司、自贡市江阳磁材有限责任公司、深圳市百斯特电子有限公司、惠州市磁极新能源科技有限公司、龙岩学院、宁波雄海稀土速凝技术有限公司、杭州红山磁性材料有限公司、赣州讯康电子科技有限公司、广东尚朋电磁科技有限公司、岑科科技(深圳)集团有限公司、浙江理工大学、滁州航佑电气有限公司、无锡市胜钢超硬材料有限公司、江西尚朋电子科技有限公司。

本文件主要起草人：孙颖莉、周磊、王金龙、崔得锋、郭春生、杨杭福、鲍金胜、李守信、朱青、伊海波、伍全球、杨福鑫、唐桂萍、冯向辉、郝忠彬、苏建刚、车三宏、杜欣洋、黄书林、张平、包风、皮晓磊、陆祎韬、丁无极、邓毕力、张玉孟、吴玥臻、陈家坚、苏相河、邓志刚、练坚友、李君、吴鹏、曹振宝、李根先、杨逢春、杨仕机、王其艮、余旭锋、王军松、吴菊、王宏、沈鑫腾、张策、蒋红刚、吴琼、张明亮、宋笑龙、刘亚丕。

磁性材料金相试验方法

1 范围

本文件描述了磁性材料金相试样的截取、镶嵌、磨光、抛光、浸蚀和检测方法。

本文件适用于在金相显微镜(包含电子显微镜)下观察和检测磁性材料微观缺陷(孔、杂质、裂纹等)、镀层厚度、显微组织及晶粒度。

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 2900.60 电工术语 电磁学

GB/T 6394—2017 金属平均晶粒度测定方法

GB/T 13298—2015 金属显微组织检验方法

GB/T 30067 金相学术语

3 术语和定义

GB/T 2900.60、GB/T 30067 界定的术语和定义适用于本文件。

4 试样

4.1 试样截取

4.1.1 总则

根据磁性材料种类、制备工艺特点和取样目的,选取具有代表性的部位,采用切割、手锯、锤击等方式截取一定形状及数量的金相试样。

4.1.2 检测面选取

磁性材料金相试样检测面选取按表 1 进行。

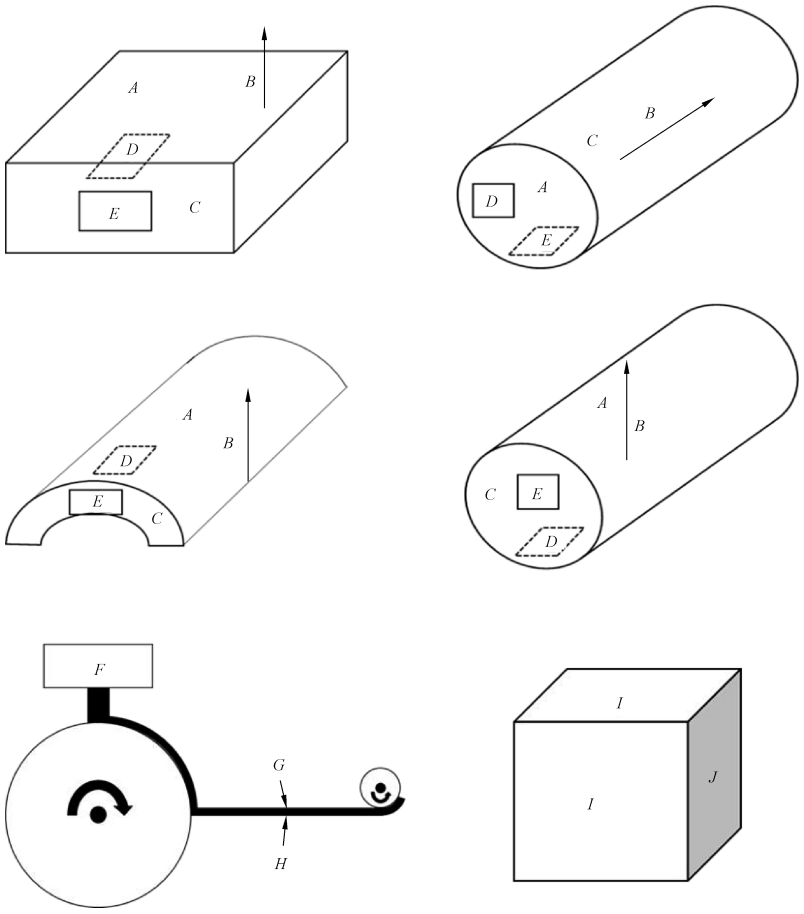
表 1 磁性材料检测面选取

材料种类	典型材料	检测面选取
金属软磁	铁、低碳软钢、硅钢、铁镍合金、铁钴合金、铁铬合金、铁铝合金、铁硅铝合金等	取垂直和平行于制备工艺(锻压、挤压、轧制、拉拔)方向的两个截面作为金相检测面;各向异性金相试样应分别取垂直和平行于取向方向的两个截面作为金相检测面

表 1　磁性材料检测面选取（续）

材料种类	典型材料	检测面选取
粉末冶金软磁	粉末冶金工艺制备的金属软磁和铁氧体软磁	选取任意面或工作面
非晶纳米晶软磁	非晶软磁、纳米晶软磁	选取贴辊面和自由面
永(硬)磁材料[a]	稀土永磁、铝镍钴、永(硬)磁铁氧体、马氏体钢(TI 类)、其他金属永磁、磁致伸缩合金等	选取垂直和平行于 C 轴方向的两个截面
[a] 各向同性的永(硬)磁合金金相试样检测面为任意面或工作面。		

磁性材料金相试样(含带镀层试样)的截取见图 1。当试样形状较为复杂或各向同性时,可选取使用面或者双方约定检测面进行截取获得金相试样。



标引符号说明:

A ——锻压、挤压、轧制、拉拔表面或者贴辊面和自由面;　　*F* ——钢液;

B ——锻压、挤压、轧制、拉拔方向或磁体 *C* 轴取向方向;　　*G* ——快淬自由面;

C ——锻压、挤压、轧制、拉拔或磁体 *C* 轴取向侧面;　　*H*——快淬贴辊面;

D ——垂直于锻压、挤压、轧制、拉拔、*C* 轴取向方向的截面;　　*I* ——垂直于镀层的截面;

E ——平行于锻压、挤压、轧制、拉拔、*C* 轴取向方向的截面;　　*J* ——镀层面。

图 1　磁性材料金相检测面示意图

4.1.3 试样清洗

试样表面应无油污或锈斑，可用乙醇或丙酮等清洁剂清洗。任何妨碍或影响基体金相腐蚀的镀层应在制样前去除。

4.1.4 试样尺寸

试样观察面应平整，面积不小于观察视野面积。当试样不便拿取时，可采取镶样处理。

4.2 试样镶嵌

4.2.1 通则

磁性材料金相试样尺寸差异性较大、试样细薄（如薄板、细线材、细管材等）、试样易碎或需检测边缘组织，则将试样镶嵌以便于握持和检测。可采用 4.2.2～4.2.4 所叙方法之一镶嵌试样。所选用的镶嵌方法不应改变原始组织。

4.2.2 机械镶嵌

按 GB/T 13298—2015 中 3.7.2 的方法进行。此法适用于形状比较规则且尺寸稍大（机械夹具能夹持）的试样。

4.2.3 环氧树脂冷镶嵌试样（冷镶嵌）

多孔试样、细裂纹试样、易脆试样、脆性材料等按 GB/T 13298—2015 中 3.7.3.3 的方法进行。

4.2.4 模压热镶嵌试样（热镶嵌）

按 GB/T 13298—2015 中 3.7.3.2 的方法进行。

4.3 试样磨光

4.3.1 磨面要求

磨面应平整而光亮。磁性材料金相试样可用水砂纸及金相砂纸依次由粗至细进行磨光。根据试样表面粗糙度选择合适的起始目数、目数差以及最终目数，宜采用 400 目作为起始目数，目数差小于 500 目，最终目数大于 2 000 目。

4.3.2 手工磨光

砂纸应平铺于平的玻璃、大理石板或置于机械磨盘上，手持试样在各号砂纸上磨制；每换一次砂纸，试样均应转 90°与旧磨痕垂直；磨面应平整，磨削应循单方向磨至旧磨痕完全消失，新磨痕均匀一致时为止。磨光过程中，注意不应使试样发热，应连续加水，冷却试样并冲走磨屑，以免污染较软的基体材料。

4.3.3 自动磨光

将砂纸从粗到细依次在金相试样预磨机上磨制试样，磨光过程中不应使试样过热。应持续加水以冷却试样并冲走磨屑，以避免污染较软的基体材料。磨光时，施加的压力应轻且均匀，以防止硬颗粒脱落。

4.4 试样抛光

4.4.1 抛光要求

试样经磨光后磨面上应无磨痕，检测面应达到镜面，且无磨制缺陷。

4.4.2 抛光方法

具体操作方法按 GB/T 13298—2015 中第 5 章。

4.5 试样浸蚀

4.5.1 浸蚀要求

抛光后的金相试样应进行浸蚀。浸蚀后试样表面应能真实、清晰地显示显微组织特征，组织边界分明，不应出现过腐蚀、欠腐蚀、污染或变形等影响观察的现象。

4.5.2 浸蚀方法

4.5.2.1 电解浸蚀

试样作为电路的阳极，浸入合适的电解浸蚀液中，通入较小电流进行浸蚀，以显示显微组织。磁性材料试样常用电解浸蚀方法见附录 A 中的表 A.1。

4.5.2.2 化学浸蚀

金相试样表面与化学试剂起化学溶解或电化学溶解的过程，以显示显微组织。磁性材料试样常用的化学浸蚀方法见表 A.2。

4.5.3 浸蚀液选择原则

磁性材料的每一类金相试样可用两种或两种以上不同的浸蚀剂进行浸蚀。同种浸蚀剂可用于多种不同类型的磁性材料金相试样的浸蚀。浸蚀剂的选择，取决于被浸蚀材料的成分和检测要求。

4.5.4 浸蚀后金相样品处理

4.5.4.1 浸蚀完毕用水或乙醇洗净，然后吹干或用滤纸吸干试样。

4.5.4.2 试样浸蚀后，先在显微镜下检测浸蚀效果，如果显微组织未完全显示出来，则浸蚀程度不足，应继续浸蚀，直到显微组织全部清晰可见；若组织色调过于灰黑，失去应有的衬度，甚至失真，则浸蚀过度，应重新磨制试样。

4.5.4.3 浸蚀后试样应保持清洁，不应碰触检测面，部分腐蚀液难以完全清除，易造成持续腐蚀，需尽快观察、拍照，不宜长期储存。

5 检测

5.1 通则

磁性材料金相检测包括浸蚀前及浸蚀后的检测。浸蚀前主要检测试样内部夹杂物、裂纹、孔隙、聚集物等缺陷，并判定磨制过程中所引起的缺陷；同时对复合层、镀层的厚度进行测量。浸蚀后主要观察试样显微组织，必要时测定晶粒度。光学金相显微镜的操作与注意事项按附录 B。

在不改变本文件判定原则的前提下，可采用扫描电子显微镜（SEM）进行辅助观察与测量，操作方

法参考附录 C;如采用,应在检测报告中注明相关参数。

5.2 微观缺陷观察和测量

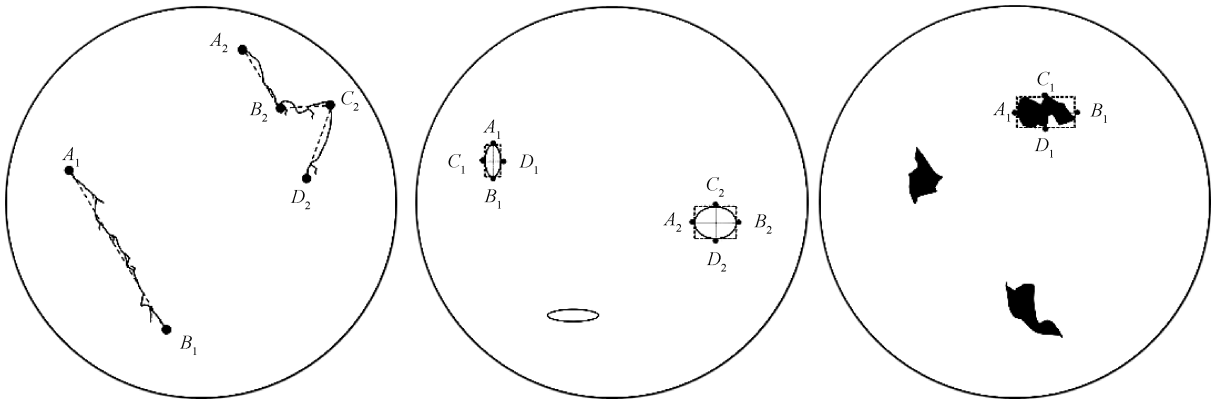
试样抛光后,不需浸蚀,在金相显微镜下观察整个受检面,选取典型缺陷区域,按照磁性材料产品标准要求,观察、判定并拍照记录。

以下是几种典型缺陷的测量方法:

a) 裂纹长度:一般选取裂纹的两个最远端点(A_1、B_1)进行连线,线段 A_1B_1 即为裂纹长度;对于某些非线性不规则裂纹,则可分多段进行测量(见图 2a);

b) 孔隙大小:孔隙形状一般为椭圆形或近圆形,选取长轴两端连线 A_1B_1 作为长度,选取短轴两端连线 C_1D_1 作为宽度,则孔隙面积大小表示为 $A_1B_1\times C_1D_1$(见图 2b);

c) 夹杂大小:夹杂一般为不规则形状,选取最长方向两端点连线 A_1B_1 作为长度,选取最宽方向两端点连线 C_1D_1 作为宽度,则夹杂面积大小表示为 $A_1B_1\times C_1D_1$(见图 2c)。



a) 裂纹　　b) 孔隙　　c) 夹杂

图 2 缺陷测量示意图

5.3 镀层厚度观察和测量

将金相试样在 200 倍以上金相显微镜下观察,并将镀层与基体的交界线处于视野中轴线上,在视野边缘和中间取三处测量镀层厚度,测量线应与镀层和基体的交界线垂直,取三处平均值作为测量结果。

5.4 显微组织的观察

磁性材料显微组织的观察按 GB/T 13298—2015 中 7.2 的方法进行。磁性材料显微组织的图像采集按 GB/T 13298—2015 中 7.3 的方法进行。

5.5 晶粒度的测量

测定平均晶粒度的基本方法有比较法、面积法和截点法。试验方法按 GB/T 6394—2017 中第 8 章。

5.6 检测结果表示方法

检测结果中,尺寸以微米为单位。根据实际情况采用不同的放大倍数,金相组织放大倍数宜取 200 倍～500 倍,缺陷放大倍数宜取 100 倍～200 倍,镀层厚度放大倍数宜取 200 倍～500 倍。

通常可对截取试样的检测面进行下列组织情况分析:

——从边缘到心部的显微组织变化;

——夹杂物沿整个截面的分布；
——表面层缺陷的深度；
——沿形变方向截面内部的显微组织变化；
——夹杂物的形状、大小和数量；
——形变后不同位置晶粒形态；
——带状、纤维状组织等；
——试样镀层厚度；
——晶粒大小、形状，晶界相分布。

6 检测报告

检测报告应包括下列内容：
——本文件编号；
——设备型号；
——检测号；
——试样名称、状态、牌号及批号；
——相对湿度；
——试样送检单位；
——检测项目；
——取样部位；
——浸蚀剂种类；
——金相组织与缺陷说明；
——观察到的异常现象；
——其他需要说明的事项；
——如采用扫描电子显微镜进行观察或测量，应注明仪器型号与类型、探测器模式（SE/BSE）、加速电压、工作距离、像素/标尺校准信息、导电镀层情况及图像放大倍数/标尺；
——检测结果；
——检测人、校核人和日期。

附 录 A
（资料性）
磁性材料浸蚀方法

A.1 电解浸蚀方法

典型磁性材料电解浸蚀方法见表 A.1。所有浓度均为体积分数，电解浸蚀液配制采用分析纯试剂与去离子水。

表 A.1 典型磁性材料电解浸蚀方法

序号	材料种类	浸蚀剂	浸蚀方法
1	铁、低碳软钢、硅钢（铁基）	三氧化铬 10 g 水 100 mL	试样为正极，不锈钢为负极， 电压 6 V，时间 30 s～90 s
2	铁镍合金（镍基）	醋酸 5 mL 硝酸 10 mL 水 100 mL	试样为正极，Pt 为负极， 电压 1.5 V，时间 20 s～60 s
3	铁钴合金（钴基）	氢氧化钠 5 g～10 g 水 100 mL	试样为正极，Pt 为负极， 电压 5 V～10 V，时间 10 s～30 s
4	铁铝、铁硅铝	硝酸 10 mL～15 mL 乙醇 85 mL～90 mL	试样为正极，Pt 为负极， 电压 5 V～15 V，时间 10 s～30 s
5	铁铬合金	蒸馏水 100 mL 草酸 10 g	试样为正极，不锈钢为负极， 电压 6 V，时间 2 s～5 s
6	软磁铁氧体	氢氧化钠或氢氧化钾 5 g～10 g 水 100 mL	试样为正极，不锈钢或石墨为负极， 电压 6 V～10 V，时间 10 s～60 s
7	非晶/纳米晶软磁	高氯酸 5 mL～10 mL 乙醇 90 mL～95 mL	试样为正极，不锈钢为负极， 电压 5 V～15 V，时间 10 s～60 s
8	磁致伸缩合金	硝酸 10 mL 甲醇 50 mL 水 30 mL	试样为正极，不锈钢为负极， 电压 3 V～6 V，时间 10 s～60 s
9	铝镍钴、铁铬钴等金属永磁	高氯酸 10 mL～20 mL 水 100 mL 乙醇 100 mL	试样为正极，不锈钢为负极， 电压 30 V～40 V，时间 5 s～30 s
10	稀土永磁（烧结）	硝酸 5 mL～10 mL 乙醇 90 mL～95 mL	试样为正极，不锈钢为负极， 电压 3 V～6 V，时间 5 s～15 s
11	稀土永磁（粘结）	硝酸 10 mL～20 mL 乙醇 80 mL～90 mL	试样为正极，Pt 或石墨为负极， 电压 5 V～15 V，时间 10 s～30 s
12	马氏体钢（TI 类）	三氧化铬 10 g 水 100 mL	试样为正极，不锈钢为负极， 电压 6 V，30 s～90 s

表 A.1　典型磁性材料电解浸蚀方法（续）

序号	材料种类	浸蚀剂	浸蚀方法
13	永磁铁氧体(烧结)	氢氧化钠或氢氧化钾 5 g～10 g 水 100 mL	试样为正极，不锈钢或石墨为负极， 电压 6 V～10 V，时间 10 s～60 s

A.2　化学浸蚀方法

A.2.1　典型磁性材料化学浸蚀方法见表 A.2。所有浓度均为体积分数，化学浸蚀液配制使用分析纯试剂与去离子水。

A.2.2　浸蚀时间宜根据实际样品厚度调整，先进行梯度试验。

表 A.2　典型磁性材料化学浸蚀方法

序号	材料种类	浸蚀剂	浸蚀方法
1	铁、低碳软钢、硅钢(铁基)	硝酸 1 mL～10 mL 乙醇或 95%甲醇 100 mL (Nital 浸蚀液)	擦拭或浸蚀数秒至 1 min
2	铁镍合金(镍基)	硫酸铜 10 g 盐酸 50 mL 水 50 mL	浸泡或擦洗 5 s～60 s，在使用 前加入几滴硫酸，以增加活性
3	铁钴合金(钴基)	水 100 mL 盐酸 100 mL 甲醇(95%) 200 mL 硝酸 5 mL 三氯化铁 7 g 二氯化铜 2 g	浸入或擦拭 10 s～15 s
4	铁铝、铁硅铝	硝酸 2 mL～5 mL 乙醇 95 mL～98 mL	浸蚀或擦拭 10 s～30 s
5	铁铬合金	盐酸 60 mL 硝酸 20 mL	浸蚀或擦拭 5 s～60 s
6	软磁铁氧体	氢氟酸 2 mL～5 mL 水 95 mL～98 mL	浸蚀或擦拭 10 s～30 s
7	非晶/纳米晶软磁	硝酸 10 mL～20 mL 乙醇 80 mL～90 mL	浸蚀或擦拭 60 s～120 s
8	磁致伸缩合金	硝酸 2 mL～10 mL 乙醇 90 mL～98 mL	浸蚀或擦拭不超过 60 s
9	铝镍钴、铁铬钴等金属永磁	盐酸 50 mL 水 100 mL 三氯化铁 5 g	浸蚀或擦拭不超过 60 s

表 A.2　典型磁性材料化学浸蚀方法（续）

序号	材料种类	浸蚀剂	浸蚀方法
10	稀土永磁(烧结)	硝酸 2 mL～10 mL 乙醇 90 mL～98 mL	浸蚀或擦拭不超过 60 s
11	稀土永磁(粘结)	硝酸 1 mL～5 mL 乙醇 95 mL～99 mL	浸蚀或擦拭 30 s～60 s
12	马氏体钢(TI 类)	硝酸 2 mL～10 mL 乙醇 90 mL～98 mL	浸蚀或擦拭 60 s～120 s
13	永磁铁氧体(烧结)	盐酸 5 mL～10 mL 乙醇 90 mL～95 mL	浸蚀或擦拭 10 s～60 s

附 录 B
（规范性）
操作金相显微镜及注意事项

B.1 显微镜要求

显微镜应配备图像采集相机、电脑及专业金相分析软件。

B.2 试样观察

为保证检测的准确性，应按仪器说明书正确使用金相显微镜。观察试样时，根据所需放大倍数选择物镜及目镜。

B.3 试验环境

显微镜应安放在温度(23±3)℃、相对湿度不大于75%、少尘、无酸碱、无蒸气的实验室，室内无振动干扰，光线强度应能调节以便观察组织和调焦。

B.4 镜头使用与清洁注意事项

使用显微镜取用镜头时，避免手指接触透镜的表面。聚焦调节时，应以粗细调节旋钮慢慢调至从目镜中观察到显微组织映像清晰为止。注意物镜头部不应与试样接触。镜头表面有污垢时，可用吹风球将其吹去，或用细软毛笔拂除。

附 录 C
（资料性）
扫描电子显微镜(SEM)辅助观察

C.1 适用范围

扫描电子显微镜仅当光学金相显微镜对亚微米缺陷、涂/镀层界面对比不足、细晶/二相对比不足时作为辅助观察使用。

C.2 样品制备

选取截面制样，对截面进行抛光(必要时离子束/振动抛光)，信号较弱时宜进行导电喷镀(Au/Pd/C)处理。制样过程避免热/机械损伤。

C.3 成像

加速电压宜为5 kV～20 kV，工作距离8 mm～15 mm，选择二次电子或背散射电子模式，校准像素与标尺。

C.4 定量测量

在扫描电镜下进行定量测量时，按校准要求测量截面厚度、孔隙和夹杂物尺寸，控制测量不确定度，并与光学金相结果进行一致性比对。