

## 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 2242—2021

---

### 气体绝缘金属封闭设备铝合金外壳 材料及焊接通用技术条件

General specification for materials and welding of  
gas-insulated aluminum alloy enclosed equipments

2021-01-07 发布

2021-07-01 实施

---

国家能源局 发布

## 目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总则	2
4.1 一般规定	2
4.2 材料	2
4.3 焊接及检测设备	3
5 焊接	3
5.1 一般规定	3
5.2 焊接工艺评定	4
5.3 熔焊焊接工艺	4
5.4 搅拌摩擦焊焊接工艺	4
5.5 返修	5
6 检验和试验	5
6.1 试验检验项目	5
6.2 材料检验	7
6.3 尺寸及形位公差检测	8
6.4 力学性能检测	8
6.5 外观质量检查	10
6.6 无损检测	11
6.7 水压试验	13
6.8 密封试验	14
7 标识	14
8 技术文件	14
8.1 技术变更	14
8.2 质量文件	14
附录 A (资料性) 气体绝缘封闭式电气设备外壳常用铝合金材料	16
附录 B (规范性) 气体绝缘金属封闭式电气设备外壳典型焊接接头分类	20
附录 C (资料性) 搅拌摩擦焊焊接缺陷类型	21
附录 D (资料性) 铸铝法兰筒体部位可接受不连续性缺陷射线影像参考图	23
参考文献	25

## 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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由电力行业电站焊接标准化技术委员会（DL/TC 18）归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、河南平高电气股份有限公司、西安西电开关电气有限公司、江苏金鑫电器有限公司、贵州航天天马机电科技有限公司、新东北电气集团高压开关设备有限公司、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院。

本文件主要起草人：乔亚霞、郑延召、贾昕宇、李永全、姚君山、吴俊峰、薛根奇、陈大兵、罗宏建、李兴康、张浩、李秀坤。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 气体绝缘金属封闭设备铝合金外壳

## 材料及焊接通用技术条件

### 1 范围

本文件规定了气体绝缘金属封闭设备铝合金外壳材料、焊接、检验与试验的技术要求。

本文件适用于铝及铝合金采用非熔化极惰性气体保护焊（TIG）、熔化极惰性气体保护焊（MIG）、变极性等离子弧焊（VPPAW）、搅拌摩擦焊（FSW）等焊接方法制造的气体绝缘金属封闭式电气设备用外壳及零部件。

### 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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 985.3 铝及铝合金气体保护焊的推荐坡口
- GB/T 1173 铸造铝合金
- GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
- GB/T 3190 变形铝及铝合金化学成分
- GB/T 3880.1 一般工业用铝及铝合金板、带材 第1部分：一般要求
- GB/T 3880.2 一般工业用铝及铝合金板、带材 第1部分：力学性能
- GB/T 3880.3 一般工业用铝及铝合金板、带材 第1部分：尺寸偏差
- GB/T 4437.1 铝及铝合金热挤压管 第1部分：无缝圆管
- GB/T 4842 氩
- GB/T 5678 铸造合金光谱分析取样方法
- GB/T 6519 变形铝、镁合金产品超声波检验方法
- GB/T 7999 铝及铝合金光电直读发射光谱分析方法
- GB/T 9438 铝合金铸件
- GB/T 10858 铝及铝合金焊丝
- GB/T 11023 高压开关设备六氟化硫气体密封试验方法
- GB/T 12966 铝合金电导率涡流测试方法
- GB/T 15823 无损检测 氦泄漏检测方法
- GB/T 16865 变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样及方法
- GB/T 19869.2 铝及铝合金的焊接工艺评定试验
- GB/T 20975（所有部分） 铝及铝合金化学分析方法
- GB/T 22383 额定电压 72.5 kV 及以上刚性气体绝缘输电线路
- GB/T 28819 充气高压开关设备用铝合金外壳
- GB/T 32563 无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法
- GB/T 34630.4 搅拌摩擦焊 铝及铝合金 第4部分：焊接工艺规程及评定

- DL/T 820.3 管道焊接接头超声波检测技术规程 第3部分：衍射时差法  
JB/T 3223 焊接材料质量管理规程  
JB/T 4734 铝制焊接容器  
NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测  
NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测  
NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测  
NB/T 47013.11 承压设备无损检测 第11部分：X射线数字成像检测  
NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定  
NB/T 47015 压力容器焊接规程  
NB/T 47018.6 承压设备用焊接材料订货技术条件 第6部分：铝及铝合金焊丝和填充丝  
NB/T 47029 压力容器用铝及铝合金锻件

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**气体绝缘金属封闭式电气设备外壳** **gas-insulated enclosed electrical equipment enclosure**

保持处于规定条件下的绝缘气体，以安全地维持要求的绝缘水平，保护设备免受外部影响并对人员提供安全防护，由焊管、法兰、接管、支腿等若干部件装焊而成。

#### 3.2

**焊管** **welded pipe**

用铝带（卷）或铝板卷制，采用熔焊或搅拌摩擦焊焊接而成，包括螺旋焊管和直缝焊管。

#### 3.3

**小角度折弯外壳** **small-angle bending enclosure**

折弯角度为  $170^{\circ}\sim 180^{\circ}$  的焊管。

### 4 总则

#### 4.1 一般规定

- 4.1.1 外壳的制造单位应建立健全质量管理体系并有效运行。  
4.1.2 外壳焊接、无损检测人员应通过培训考核，并取得相应的资格证书。  
4.1.3 外壳的生产应遵守国家和行业的安全、环保规定和其他专项规定。

#### 4.2 材料

##### 4.2.1 铝材

- 4.2.1.1 外壳的材料应满足设计要求，在选择材料牌号时，还应考虑其在外部环境作用下的腐蚀。推荐的铝合金外壳材料见附录 A。  
4.2.1.2 变形铝合金的化学成分应符合 GB/T 3190 的规定，表面质量、性能要求、尺寸偏差应满足 GB/T 3880.1~GB/T 3880.3 的规定。  
4.2.1.3 铸造铝合金的化学成分和力学性能应符合 GB/T 1173 的规定。  
4.2.1.4 热挤压管材应符合 GB/T 4437.1 的要求。  
4.2.1.5 铝材应具有合格有效的质量证明书。从非材料生产单位获得铝材时，应同时取得材料质量证明书原件，或加盖供货单位检验公章和经办人章的有效复印件。

4.2.1.6 铝材的化学成分、力学性能应按批次复验，合格后方可投入使用。

4.2.1.7 铝材应有可追溯的标记。在制造过程中，如原标记被裁掉或材料分割时，制造单位应规定标记的表达方式，并在材料分割前完成标记的移植。

## 4.2.2 法兰

4.2.2.1 法兰宜选用锻造法兰和板材切割法兰。选用铸造法兰时，质量应符合 GB/T 9438 规定的 II 类铸件要求。

4.2.2.2 采购的法兰应满足设计文件或者合同要求，具有合格有效的质量证明文件，入厂后应进行 100% 的表面质量、形状尺寸检测，对化学成分、力学性能应按批次进行抽检。复验结果合格后方可使用。

4.2.2.3 锻造法兰应满足 NB/T 47029 的质量要求。

4.2.2.4 法兰密封槽（面）不允许焊接修补。

## 4.2.3 焊接材料

4.2.3.1 焊接材料的选用应符合下列规定：

- a) 铝合金焊接材料的选用，应根据母材的种类、力学性能、接头的抗裂性、耐蚀性等方面要求综合考虑；
- b) 铝-镁系合金通常选用与母材成分相近的焊接材料，焊接材料的含镁量不宜低于母材且具有良好的焊接工艺性能。

4.2.3.2 焊接材料应有合格有效的质量证明书，并符合 GB/T 10858、NB/T 47018.6 等相关标准的规定。

4.2.3.3 焊接用氩气应符合 GB/T 4842 的规定，其纯度不得低于 99.99%，瓶装氩气压力低于 0.5 MPa 时不宜使用。

4.2.3.4 焊接材料应按 JB/T 3223 要求建立存放、发放、回收等管理制度。

## 4.3 焊接及检测设备

4.3.1 焊接设备应有可靠的控制系统，满足焊接参数的调整需要，能在选定的参数下稳定工作并在合格状态。

4.3.2 外壳及零部件的焊接组装及检测采用的设备、工装、器具能满足要求并定期检查，且有必要的安全防护措施。计量器具应定期进行计量检定、校准或核查。

## 5 焊接

### 5.1 一般规定

5.1.1 外壳的成形及加工除应符合本章的规定外，还应满足设计文件的要求。

5.1.2 根据外壳焊接接头的形式，气体绝缘金属封闭式电气设备外壳焊接接头可分为 A、B、C、D 四类，具体分类按照附录 B 进行。

5.1.3 A、B 类接头两侧厚度不等时，若薄板厚度不大于 10 mm，两板厚度差超过 3 mm；若薄板厚度大于 10 mm，两板厚度差大于薄板厚度的 30%，或超过 5 mm 时，应按 JB/T 4734 要求对厚板进行单面或双面削薄，使接头处等厚。

5.1.4 圆筒之间组焊时不得布置十字焊缝，A 类接头焊缝中心线间环向距离不应小于 150 mm。

5.1.5 布置在外壳上的附件应避免与外壳上已有焊缝及热影响区重合。当无法避免时，应对附件周边不小于 60 mm 范围内按 NB/T 47013.2 或 NB/T 47013.3 进行 100% 射线或超声检测，II 级合格。

5.1.6 铸铝法兰焊接部位，距焊接坡口 30 mm 范围应按 NB/T 47013.2 进行射线检测，I 级合格，不能返修。

5.1.7 外壳筒体宜按板材轧制的方向进行卷制。

5.1.8 外壳筒体翻边应符合下列规定：

- a) 翻边的最大减薄量不应大于母材厚度的 30%，翻边内圆弧半径不应小于 25 mm；
- b) 翻边预留孔的开孔，开孔宜避开焊管的焊缝及热影响区，翻边后的外边缘离焊缝最短距离应大于 100 mm；
- c) 翻边时的设备、模具应保持清洁，避免对焊管表面造成机械损伤。

5.1.9 焊接宜在室内进行，焊接环境温度应符合下列规定：

- a) 熔焊时，环境温度不应低于 5℃，相对湿度应低于 80%，风速应小于 1.5 m/s。当焊接环境温度低于 5℃时，应在施焊处 100 mm 范围内加热到 15℃左右。
- b) 搅拌摩擦焊时，环境温度不应低于 -5℃。

## 5.2 焊接工艺评定

外壳及焊管施焊前，应按照 NB/T 47014 的要求进行焊接工艺评定。对于 NB/T 47014 未列出的材料的弯曲试验可按照 GB/T 19869.2 规定的弯曲试验执行。

当采用搅拌摩擦焊焊接时，焊接工艺评定应按照 GB/T 34630.4 的要求执行。

## 5.3 熔焊焊接工艺

焊接工艺文件应按设计文件技术要求和评定合格的焊接工艺，以及 NB/T 47015 的规定制定，焊接时，还应符合下列规定：

- a) 焊接工艺文件应注明焊接方法及机械化程度、材料、厚度范围、焊接坡口、焊接规范、焊接位置、单层（道）或多层（道）、层（道）间温度、焊接材料、施焊技术要求等。
- b) 焊接接头的坡口形式、尺寸和装配间隙可参照 GB/T 985.3 的规定执行。
- c) 焊接前，应将待焊的坡口区及其母材两侧 25 mm 范围内采用汽油、乙醇或丙酮等有机溶剂去除油污，采用不锈钢制钢丝刷去除氧化膜和其他杂质。焊件清理后如超过 24 h 未焊，焊接前需重新进行清理。
- d) 不应在被焊件工作表面引燃电弧、试验电流或随意焊接临时支撑物。
- e) 当需要焊接预热时，预热温度宜为 100℃~150℃。焊接过程中层间温度不应超过 150℃。
- f) C、D 类接头采用多层多道焊时，各层间接头不能在同一位置，应错开一定的距离。
- g) 纵焊缝两端的引弧板、引出板不应锤击拆除。

## 5.4 搅拌摩擦焊焊接工艺

焊接工艺文件应按设计文件技术要求和评定合格的焊接工艺，以及 GB/T 34630 的规定制定，焊接时，还应符合下列规定：

- a) 焊接时宜采用全焊透工艺（如双面焊工艺、单面全焊透工艺等），单面焊工艺文件应提供防止根部弱结合的措施及相关验证试验报告，且焊缝厚度不能小于设计厚度。
- b) 焊接前，应按照 5.3 c) 的方法对待焊部位进行清理，清理宽度不应小于搅拌工具轴肩直径加上轴间两侧各 10 mm。
- c) 焊件的装配间隙应小于 0.5 mm，错边量不应大于 0.5 mm。
- d) 焊件装配后可进行定位焊，以保证装配间隙。
- e) 熔焊定位焊后，应在正式搅拌摩擦焊前采用机械方法清除定位焊缝的余高及其表面氧化物等，同时避免多余物进入焊件对接面。

## 5.5 返修

### 5.5.1 翻边返修

翻边后如存在开裂现象且裂缝仅在翻口与圆弧间的直边处，允许对开裂处进行补焊。补焊后应按照 NB/T 47013.2 的要求进行 100% 的射线检测，合格级别不低于 II 级。同一位置补焊不应超过 2 次。

### 5.5.2 焊缝返修

5.5.2.1 返修的焊接工艺应符合下列规定：

- a) 返修前应查明原因，制定返修方案并应控制焊接变形；
- b) 返修工艺应通过焊接工艺评定合格；
- c) 同一位置返修次数不宜超过 2 次，并将返修部位、次数、返修情况记录入质量文件中；
- d) 补焊后的焊缝高度、外形与原焊缝基本一致；
- e) 返修后的焊缝，需对返修部位按原检验方法重新检测合格。

5.5.2.2 熔焊缺陷的返修焊接方法一般采用 TIG、MIG 等方法进行。

5.5.2.3 搅拌摩擦焊焊接缺陷（缺陷类型见附录 C）返修应符合下列规定：

- a) 根部弱结合、未焊透等缺陷可采用搅拌摩擦焊进行缺陷返修；
- b) 隧道孔洞型、表面犁沟等缺陷可采用熔焊方法填充材料后，再采用搅拌摩擦焊进行缺陷处理。

## 6 检验和试验

### 6.1 试验检验项目

#### 6.1.1 型式试验

型式试验的试验条件和试验项目应符合下列规定：

- a) 型式试验条件：
  - 新产品鉴定或定型投产前；
  - 正式生产后，因结构、材料、工艺有较大改变可能影响产品性能时；
  - 产品长期停产，恢复生产时。
- b) 型式试验外壳检验项目及检验项目合格指标应符合表 1 的规定。

表 1 型式试验外壳检验项目及检验项目合格指标

序号	试验检验项目名称		外壳及部件			检验项目合格指标
			焊管	法兰	外壳焊装	
1	材料检验	化学成分	●	●	—	6.2.1
2		力学性能	●	●	—	6.2.2
3		电导率	●	—	—	6.2.3
4	尺寸及形位公差	长度	●	—	●	6.3 及设计图纸文件
5		直径	●	●	●	
6		壁厚	●	●	—	
7		直线度	●	—	●	

表 1 (续)

序号	试验检验项目名称		外壳及部件			检验项目合格指标
			焊管	法兰	外壳焊装	
8	尺寸及形位公差	圆度	●	—	●	6.3 及设计图纸文件
9		翻边减薄量、翻边高度	●	—	—	
10	力学性能	管体（拉伸、弯曲）	●	—	—	6.4
11		焊缝（拉伸、弯曲）	●	—	● <sup>a</sup>	
12	外观质量	外观检查（内外表面）	●	● <sup>b</sup>	●	6.5.1、6.5.2
13		焊接接头外观检查（含余高、咬边等检查）	●	—	●	6.5.3
14	无损检测	超声检测	●	● <sup>c</sup>	●	6.6
		射线检测	●	● <sup>d</sup>	●	
		渗透检测	●	—	●	
15	压力试验	破坏性压力试验	—	—	● <sup>c</sup>	6.7.2
16	密封试验	SF <sub>6</sub> 或氦检漏	—	—	●	6.8

注：“●”代表须进行试验的项目；“—”代表不进行试验的项目。

<sup>a</sup> 见证的焊接工艺评定报告（力学性能试验及报告应满足相关计量要求或由具有 CNAS/CMA 资质的第三方检测单位出具）。与铸造法兰形成的焊接接头，取样方法和合格指标见 6.4.3，不进行弯曲试验。

<sup>b</sup> 锻造法兰按照 6.5.1 执行，铸造法兰按照 6.5.2 执行。

<sup>c</sup> 锻造法兰进行超声检测。

<sup>d</sup> 铸造法兰进行射线检测。

## 6.1.2 例行试验

例行试验外壳检验项目及检验项目合格指标见表 2。

表 2 例行试验外壳检验项目及检验项目合格指标

序号	试验检验项目名称		外壳及部件			检验项目合格指标
			焊管	法兰	外壳焊装	
1	尺寸及形位公差	长度	●	—	●	6.3 及设计图纸文件
2		直径	●	●	●	
3		壁厚	●	—	—	
4		直线度	●	—	●	
5		圆度	●	—	●	
6		法兰尺寸	—	●	●	
7		翻边减薄量、翻边高度	●	—	—	
8	力学性能检测	铸铝焊接接头（拉伸）	—	● <sup>a</sup>	—	6.4.3

表 2 (续)

序号	试验检验项目名称		外壳及部件			检验项目合格指标
			焊管	法兰	外壳焊装	
9	外观质量	外壳外观检查 (覆盖内外表面)	●	● <sup>a</sup>	●	6.5.1、6.5.2
10		焊接接头外观检查	●	—	●	6.5.3
11	无损检测	超声检测	●	● <sup>b</sup>	● <sup>c</sup>	6.6
		射线检测	●	● <sup>d</sup>	● <sup>c</sup>	
		渗透检测	●	—	●	
12	压力试验	例行水压试验	—	—	●	6.7.3
13	密封试验	SF <sub>6</sub> 或氦检漏	—	—	●	6.8

注：“●”代表须进行试验的项目；“—”代表不进行试验的项目。

<sup>a</sup> 对与铸造法兰形成的异种铝合金接头，铸造法兰的拉伸试验抽检批次频度按设计图纸或技术规范具体要求，由供需双方商定执行。

<sup>b</sup> 锻造法兰进行超声检测。

<sup>c</sup> 焊管上的焊缝不再进行检测，仅检测新增焊缝。

<sup>d</sup> 铸造法兰进行射线检测。

## 6.2 材料检验

### 6.2.1 化学成分

6.2.1.1 铝合金板材、带材和锻造法兰的化学成分检验方法按照 GB/T 7999 及 GB/T 20975 (所有部分) 的规定执行，按炉批次取样，其化学成分应符合 GB/T 3190 的规定。

6.2.1.2 铸造法兰化学成分检验方法按照 GB/T 5678 或 GB/T 7999 的规定执行，按炉批次取样，其化学成分应符合 GB/T 1173 的规定。

### 6.2.2 力学性能

6.2.2.1 铝合金板材按炉批次进行室温拉伸性能试验，试样及试验方法应符合 GB/T 16865 的规定。铝合金板材的拉伸性能应符合 GB/T 3880.2 的规定。

6.2.2.2 锻造法兰的室温拉伸力学性能试样及试验方法应符合 GB/T 16865 的规定。锻造法兰的拉伸性能应符合 NB/T 47029 的规定。

6.2.2.3 铸铝法兰力学性能检验即抗拉强度检验试样，应从铸件本体上切取，并应靠近铸铝法兰焊接坡口区域。从铸件本体上切取三根力学性能检验试样，三根试样的抗拉强度平均值不得低于 GB/T 1173 规定值的 75%。

### 6.2.3 电导率

图纸无明确要求时，气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS) 用焊管 (或挤压管) 的材料相对电导率不应小于 29%ICAS。气体绝缘金属封闭母线设备 (GIL) 用焊管 (或挤压管) 的材料相对电导率不应小于 36%ICAS。电导率的测试方法按照 GB/T 12966 的规定执行。

注：相对电导率 ICAS：国际标准软铜电导率作为 100% (20℃时，电阻率为 0.01724 Ω·m)，相对于标准软铜的电导率，通常用%ICAS 表示。

### 6.3 尺寸及形位公差检测

#### 6.3.1 非小角度折弯外壳

##### 6.3.1.1 测量方法

测量直径和圆度可使用卷尺、环规、卡规或光学测量仪器等。圆度应由同一横截面上测得的最大直径和最小直径的差值确定。

壁厚测量应采用游标卡尺或超声波测厚仪。

##### 6.3.1.2 合格指标

尺寸检测应按设计文件要求执行，GIL 外壳还应满足下列规定：

- a) 壁厚应符合 GB/T 3880.1 的规定。对于特高压设备的外壳纵缝或法兰连接环缝两侧铝材的板厚应为正偏差，且不超过 0.5 mm，设计文件另有约定的除外。
- b) 内径值应在设计值的  $\pm 1$  mm 范围内，设计文件另有规定的除外。
- c) 直线度不应大于 1 mm/1 m 且不超过外壳长度的 0.5‰。
- d) 圆度应符合下列规定：
  - 单件焊管圆度不应大于外壳内径的 1‰；
  - GIL 外壳焊接成品，外壳圆度不应大于外壳内径的 0.5‰。
- e) 外壳主筒体中心与端法兰中心的偏差不应大于 2 mm。
- f) 外壳两端法兰之间平行度不应大于 0.4 mm。

#### 6.3.2 小角度折弯外壳

6.3.2.1 小角度折弯外壳角度偏差不应大于  $\pm 0.05^\circ$ 。角度检测宜采用检测平台靠模检测装置，或采用三维坐标测量仪、三维激光扫描仪、其他空间尺寸检测设备，主要用来检测两端头法兰位置尺寸。

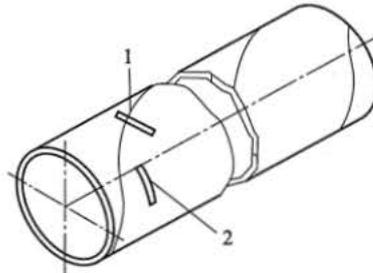
6.3.2.2 其他检测项目应按照 6.3.1 的规定执行。

### 6.4 力学性能检测

#### 6.4.1 拉伸性能试验

##### 6.4.1.1 取样方法

拉伸性能试验的试样应在与试品相同批次的原材料、相同的制管工艺加工的焊管上取样。螺旋焊缝拉伸试样取样和直焊缝拉伸试样取样示意图分别如图 1 和图 2 所示，取样方法和取样数量可见图。

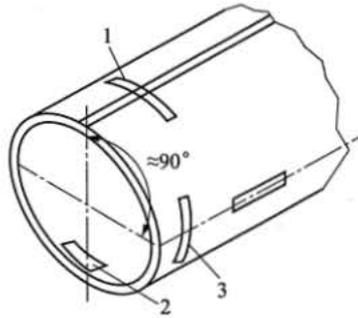


说明：

1——焊缝横向试块，中心在焊缝上，焊缝拉伸 2 件，焊缝面弯、背弯各 2 件；

2——横向试块，沿管周向，试块中心距螺旋焊缝至少为  $a/4$  [ $a$  为铝板（卷）的宽度]，管体拉伸 2 件，弯曲 2 件。

图 1 螺旋焊缝拉伸试样取样示意图



说明:

- 1——横向试块，中心在焊缝上。焊缝拉伸 2 件，焊缝面弯、背弯各 2 件；  
 2——横向试块，中心距焊缝约 180°，管体拉伸 2 件；  
 3——横向试块，中心距直焊缝 90°，弯曲 2 件。

图 2 直焊缝拉伸试样取样示意图

#### 6.4.1.2 试验方法

按 GB/T 228 规定的试验方法测定焊接接头的抗拉强度。

#### 6.4.1.3 合格指标

每个（片）试样的抗拉强度不应低于母材规定的抗拉强度最低值，该处母材抗拉强度最低值等于其退火状态标准规定的抗拉强度下限值。

如果拉伸试样断在焊缝或熔合线以外的母材上，其抗拉强度不得低于母材抗拉强度最低值的 95%。

#### 6.4.2 弯曲性能试验

##### 6.4.2.1 取样方法

弯曲性能试验的试样应为全壁厚弧面试样，应在与产品相同批次的原材料、相同的制管工艺加工的焊管垂直于取样（图 1 中试块 1、图 2 中试块 3），焊缝弯曲试样应去除两面余高。

##### 6.4.2.2 试验方法

焊管焊接接头面弯、背弯试验参照 GB/T 2653 的规定执行，试样厚度、弯芯直径、支承辊间距、弯曲角度按照 NB/T 47014 的规定执行。

##### 6.4.2.3 合格指标

对接焊缝试件的弯曲试样弯曲到规定的角度后，其拉伸面上的焊缝和热影响区内，沿任何方向不得有单条长度大于 3 mm 的开口缺陷，试样的棱角开口缺陷一般不计，但由未熔合、夹渣或其他内部缺陷引起的棱角开口缺陷长度应计入。

#### 6.4.3 与铸件形成的接头力学性能试验

##### 6.4.3.1 取样方法

与铸件形成的接头只进行拉伸性能试验，抽检试样应从铸焊外壳实物焊接接头上取样，接头试样平行段中间为焊缝，两侧分别为铸铝和变形铝合金母材。试样按照 GB/T 228.1 加工成矩形横截面试

样，进行拉伸试验。

对于母材不等厚接头试样，试样应加工成与薄侧母材等厚。

#### 6.4.3.2 合格指标

铸铝与变形铝合金异种接头的强度不应小于铸铝的退火态的抗拉强度。

### 6.5 外观质量检查

#### 6.5.1 外壳的外观质量

外壳的外观质量应符合 GB/T 3880.1 和 JB/T 4734 的规定，以及下列规定：

- a) 表面不应有裂纹、焊瘤、飞溅、裂边、腐蚀、通气孔、起皮、尖角毛刺等缺陷。
- b) 对于尖锐伤痕、刻槽等缺陷应予修磨，修磨范围的斜度至少为 1:3。修磨的深度不应大于 0.5 mm，超过 0.5 mm 的缺陷应进行焊补。
- c) 焊管内表面不涂装时，应进行整体抛光处理，表面粗糙度不应大于  $Ra3.2$ 。
- d) 焊管内表面不允许有长度大于 1 mm 的金属丝存在。

#### 6.5.2 铸造法兰的外观质量

铸造法兰的外观质量应符合以下规定。

- a) 铸造质量不应低于 GB/T 9438 规定的 II 类外观质量。
- b) 铸件表面不允许存在裂纹、缩孔、冷隔、穿透性缺陷及严重的残缺类缺陷等。
- c) 表面不规则度及型芯偏移量满足图样或技术规范要求。
- d) 铸铝法兰密封槽（面）机加工后无目视可见的径向划痕。密封槽面上表面针孔要求：
  - 任何  $1\text{ cm}^2$  范围内，直径 0.1 mm~0.3 mm 的针孔不允许超过 3 个；
  - 任何  $1\text{ cm}^2$  范围内，直径小于 0.1 mm 的针孔不允许超过 8 个；
  - 密封槽面上不允许有直径大于 0.3 mm 的针孔；
  - 密封槽（面）机加工后无其他缺陷。

#### 6.5.3 焊接接头的外观质量

##### 6.5.3.1 检验方法

外观检验可采用目视检测，或辅助 5 倍以下放大镜、检验尺、强光等工具。当出现下列情形之一时，应对焊缝进行表面检测，表面检测可采用渗透检测的方法，按照 NB/T 47013.5 的规定进行：

- 检查发现裂纹时，应对该批同类焊缝进行 100% 的表面无损检测；
- 外观检查怀疑有裂纹时，应对怀疑的部位进行表面无损检测；
- 图纸规定进行表面无损检测时。

##### 6.5.3.2 质量标准

焊缝应圆滑过渡到母材，焊缝外形尺寸允许范围和焊缝表面缺陷允许范围分别见表 3 和表 4。焊缝厚度不应低于设计的母材壁厚。角接头或 T 形铸铝法兰筒体部位可接受不连续性缺陷射线影像参考图。

接头的焊脚尺寸应符合设计要求。在设计无规定时，应符合以下规定：

- 取焊件中较薄侧板厚的 0.7 倍~1 倍，且不小于 3 mm；
- 当焊缝为熔透焊缝时，焊脚尺寸  $h_f$  应为  $t/4 \leq h_f \leq 10\text{ mm}$  ( $t$  为焊缝连接处较薄板板厚)；
- 两焊脚尺寸差不应大于 3 mm。

表3 焊缝外形尺寸允许范围

单位: mm

焊接方法	设备外壳	焊缝余高		焊缝余高差	焊缝余高与宽度比	焊缝宽度差
		内焊缝	外焊缝			
熔焊	GIS	0~1.5	0~3	0~2	—	0~3
	GIL	0~0.5	0~3	0~2	≤0.15	0~3
搅拌摩擦焊 <sup>a</sup>	GIS	-0.5~1.5	-0.5~1.5	—	—	—
	GIL	-0.5~0.5	-0.5~1.5	—	—	—

<sup>a</sup> 搅拌摩擦焊焊缝最大减薄量不超过 0.5 mm。

表4 焊缝表面缺陷允许范围

单位: mm

项目	焊缝分类及相应缺陷限值		
	A、B类接头	C、D类接头	
根部未焊透	不允许		
未焊满	不允许	深度不大于 0.2mm+0.04t 且不大于 2 mm。每 100 mm 焊缝内缺陷总长不大于 25 mm	
根部收缩	不允许	不大于 0.2mm+0.04t 且不大于 2.0 mm，长度不限	
咬边	深度不大于 0.5 mm、连续咬边长度不超过 100 mm，两侧长度不超过焊缝长度的 10%	深度不大于 0.1t 且不大于 1.0 mm，长度不限	
错边	0.1t 且不大于 1.0 mm		
飞溅	清除干净		
裂纹、未熔合、夹渣、气孔、焊瘤、烧穿、电弧擦伤	不允许		
焊脚尺寸偏差	—	焊脚尺寸 $h_f$	允许偏差
		≤3	+3 0
		$3 < h_f \leq 12$	+4 0
		$12 < h_f \leq 25$	+5 0
表面沟槽、飞边、起皮、匙孔	不允许	不允许	

注: t 为焊缝连接处较薄的板厚。

## 6.6 无损检测

### 6.6.1 一般规定

无损检测应在形状尺寸检查、外观目视检查合格后进行。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/807143116132006030>