

# 中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T XXXX. 2—202X

## 航空用铝合金折弯型材 第2部分：Al-Zn-Mg-Cu系型材

Wrought aluminium alloy cranked profiles used for aviation

—Part 2: Al-Zn-Mg-Cu series profiles

(送审稿)

(在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布



## 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。

本文件是 YS/T 1841 的第2部分。YS/T 1841 已经发布了以下部分：

——第1部分：Al-Cu-Mg 系型材。

——第2部分：Al-Zn-Mg-Cu 系型材。

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。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

# 引 言

铝合金挤压型材被冷折弯成一定角度、弧度或角度与弧度结合的形状即成铝合金折弯型材。航空用铝合金折弯型材应用于飞机机翼长桁和机身等部位，属于关键结构件。为满足航空用铝合金折弯型材的设计、供货及使用要求，YS/T 1841《航空用铝合金折弯型材》系列标准，目前包含 2 个部分：

- 第 1 部分：Al-Cu-Mg 系型材。目的在于确立航空工业用 Al-Cu-Mg 系折弯型材的技术要求。
- 第 2 部分：Al-Zn-Mg-Cu 系型材。目的在于确立航空工业用 Al-Zn-Mg-Cu 系折弯型材的技术要求。

YS/T 1841.2《航空用铝合金折弯型材 第 2 部分：Al-Zn-Mg-Cu 系型材》规定了 Al-Zn-Mg-Cu 系折弯型材的抗应力腐蚀性能、抗剥落腐蚀性能、平面应变断裂韧度等相关技术要求和试验方法，以及产品合格鉴定结果的相关要求和批量生产时期的过程控制要求，为 Al-Zn-Mg-Cu 系折弯型材的质量稳定性及可靠性提供保障。



# 航空用铝合金折弯型材

## 第 2 部分：Al-Zn-Mg-Cu 系型材

### 1 范围

本文件规定了7055T76511等航空用Al-Zn-Mg-Cu系折弯型材的产品分类、技术要求、试验方法、产品合格鉴定、过程控制、检验规则、标志、包装、运输、贮存及质量证明书和订货单（或合同）内容。

本文件适用于 7055T76511 等航空用 Al-Zn-Mg-Cu 系铝合金折弯型材（以下简称“型材”）。

### 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 3190 变形铝及铝合金化学成分
- GB/T 3199 铝及铝合金加工产品包装、标志、运输、贮存
- GB/T 3246.1 变形铝及铝合金制品组织检验方法 第 1 部分：显微组织检验方法
- GB/T 3246.2 变形铝及铝合金制品组织检验方法 第 2 部分：低倍组织检验方法
- GB/T 3251 铝及铝合金产品压缩试验方法
- GB/T 6519-2024 变形铝、镁合金产品超声检验方法
- GB/T 6892-2023 一般工业用铝及铝合金挤压型材
- GB/T 7999 铝及铝合金光电直读原子发射光谱分析方法
- GB/T 8005.1 铝及铝合金术语 第 1 部分：产品及加工处理工艺
- GB/T 12966 铝及铝合金电导率涡流测试方法
- GB/T 14846-2014 铝及铝合金挤压型材尺寸偏差
- 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 17432 变形铝及铝合金化学成分分析取样方法
- GB/T 20975（所有部分） 铝及铝合金化学分析方法
- GB/T 22639-2022 铝合金产品的剥落腐蚀试验方法
- GB/T 22640 铝合金应力腐蚀敏感性评价试验方法
- GB/T 26492.5 变形铝及铝合金铸锭及加工产品缺陷 第 5 部分：管材、棒材、型材、线材缺陷
- GB/T 37616 铝合金挤压型材轴向力控制疲劳试验方法
- GB/T 42792-2024 航空用铝合金管、棒、型材及线材通用技术规范
- GB/T 42914 铝合金产品断裂韧性试验方法
- GB/T 42916 铝及铝合金产品标识
- YS/T 1619 航空用铝合金铸锭
- YS/T 1630.1-2023 航空用铝合金管、棒、型材 第 1 部分：7050 铝合金型材
- YS/T 1841.1 航空用铝合金折弯型材 第 1 部分：Al-Cu-Mg 系型材

3 术语和定义

GB/T 8005.1和GB/T 26492.5界定的术语和定义适用于本文件。

4 产品分类

4.1 牌号、供货状态、横截面形状、折弯类型及尺寸规格

产品的牌号、供货状态、横截面形状、折弯类型及尺寸规格应符合表 1 的规定。需方有特殊要求时，由供需双方协商确定，并在图样或图纸、订货单（或合同）中注明。

表 1 牌号、供货状态、横截面形状、折弯类型及尺寸规格

| 牌号   | 供货状态   | 横截面形状            | 折弯类型 <sup>a</sup>         | 尺寸规格       |                          |           |
|------|--------|------------------|---------------------------|------------|--------------------------|-----------|
|      |        |                  |                           | 壁厚<br>mm   | 横截面面积<br>mm <sup>2</sup> | 长度<br>mm  |
| 7055 | T76511 | T形、丰字形等<br>(见图1) | 单角度折弯（见图2）、弧形折<br>弯（见图3）等 | 6.50~76.50 | ≤18000.00                | ≤18000.00 |

<sup>a</sup>单角度折弯指直型材经单个折弯点折弯成型，弧形折弯指直型材紧靠弧形模具折弯成型。

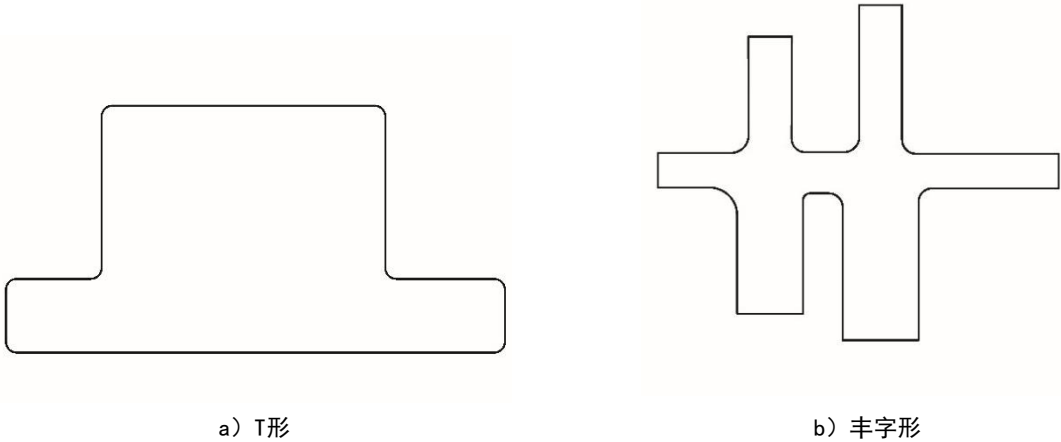


图 1 型材横截面典型示例

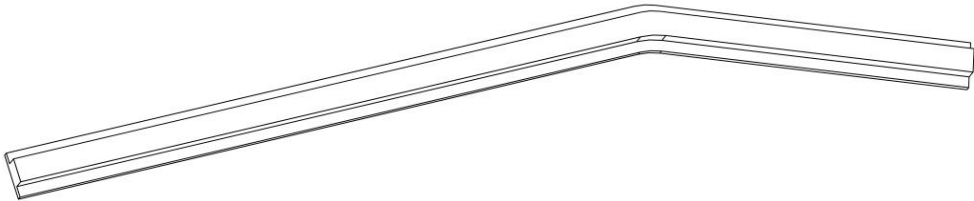


图 2 单角度折弯类型的型材典型示例

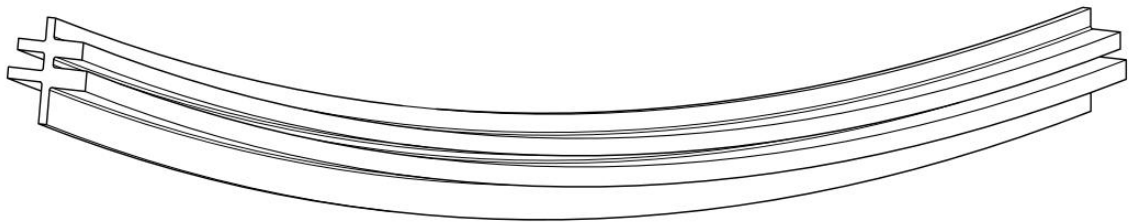


图 3 弧形折弯类型的型材典型示例

4.2 标记及示例

产品标记按产品名称、本文件编号、牌号、供货状态、图样代号、长度的顺序表示，标记示例如下：

示例：  
7055牌号、T76511状态、图样代号为GLC213-14、长度为16630 mm的型材，标记为：  
型材 YS/T 1841.2-7055T76511-GLC213-14×16630

5 技术要求

5.1 化学成分

型材的化学成分应符合GB/T 3190的规定。需方对化学成分有特殊要求时，由供需双方协商确定，并在订货单（或合同）中注明。

5.2 尺寸偏差

型材的尺寸偏差应符合YS/T 1841.1的规定。需方有特殊要求时，由供需双方协商确定，并在型材图样或图纸中注明。

5.3 室温拉伸力学性能

型材的室温拉伸力学性能应符合表 2 的规定。需方有特殊要求时，由供需双方协商确定，并在订货单（或合同）中注明。

表 2 室温拉伸力学性能

| 牌号 | 供货状态 | 壁厚<br>mm     | 室温拉伸试验结果 |                   |                             |                        |
|----|------|--------------|----------|-------------------|-----------------------------|------------------------|
|    |      |              | 试样方<br>向 | 抗拉强度 $R_m$<br>MPa | 规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$<br>MPa | 断后伸长率 $A_{4.515}$<br>% |
|    |      |              |          | 不小于               |                             |                        |
|    |      | >6.50~12.50  | 纵向       | 621               | 586                         | 9                      |
|    |      | >12.50~76.50 | 纵向       | 627               | 593                         | 9                      |

5.4 电导率

7055 型材的电导率测试值应不小于 20.9 MS/m。



5.5 压缩力学性能

壁厚为 $>12.50\text{mm}\sim 76.50\text{mm}$ 的7055T76511型材纵向规定非比例压缩强度 $R_{pc}$ 应不小于600MPa。需方有特殊要求时，由供需双方协商确定，并在订货单（或合同）中注明。

5.6 抗应力腐蚀性能

需方对型材抗应力腐蚀性能有要求时，应在订货单（或合同）中注明，应力腐蚀试验后的试样不应出现裂纹或断裂。

5.7 抗剥落腐蚀性能

型材的剥落腐蚀等级应不低于EB。

5.8 平面应变断裂韧度

需方对平面应变断裂韧度有要求时，应在订货单（或合同）中注明，供方向需方提交试验结果。

5.9 疲劳性能

5.9.1 需方对疲劳裂纹扩展速率有要求时，应在订货单（或合同）中注明，供方向需方提交试验结果。

5.9.2 需方要求进行 $S-N$ 测试，并对轴向规定应力下的疲劳寿命有要求时，由供需双方协商确定，并在订货单（或合同）中注明。 $S-N$ 曲线上对应不同规定轴向应力的下循环次数 $N$ 宜不低于表3规定的疲劳寿命 $N_f$ 。

表3 规定轴向应力下的疲劳寿命

| 牌号   | 供货状态   | 壁厚<br>mm           | 应力比 $R$ | 应力集中系数 $K_t$ | 取样方<br>向 | 规定轴向应力 $\sigma_{max}$<br>MPa | 疲劳寿命 $N_f$<br>周次     |
|------|--------|--------------------|---------|--------------|----------|------------------------------|----------------------|
| 7055 | T76511 | $>12.50\sim 76.50$ | 0.1     | 2.3          | L-T      | 250                          | $\geq 1 \times 10^4$ |
|      |        |                    |         |              |          | 200                          | $\geq 5 \times 10^4$ |
|      |        |                    |         |              |          | 175                          | $\geq 1 \times 10^5$ |
|      |        |                    |         |              |          | 155                          | $\geq 3 \times 10^5$ |
|      |        |                    |         |              |          | 150                          | $\geq 1 \times 10^6$ |

5.10 超声波探伤验收等级

壁厚不小于6.0mm的型材超声波探伤验收等级应符合GB/T 6519-2024的A级。需方有特殊要求时，由供需双方协商确定，并在订货单（或合同）中注明。

5.11 低倍组织

型材低倍试样上粗晶环最大深度应不大于2mm，其他缺陷和断口组织应符合GB/T 42792-2024的规定。需方有特殊要求时，由供需双方协商确定，并在订货单（或合同）中注明。

5.12 外观质量

型材的外观质量应符合GB/T 42792—2024的规定。

## 6 试验方法

### 6.1 化学成分

化学成分分析按 GB/T 20975(所有部分)或 GB/T 7999 的规定进行,仲裁分析应按 GB/T 20975(所有部分)的规定进行。

### 6.2 尺寸偏差

尺寸偏差测量按 YS/T 1841.1 的规定进行。

### 6.3 室温拉伸力学性能

室温拉伸力学性能试验按 GB/T 16865 的规定进行。测试规定非比例延伸强度时,采用引伸计以应变速率进行控制,应变速率应不大于  $0.000083\text{ s}^{-1}$  (相对误差 $\pm 40\%$ )。测得规定非比例延伸强度后,可以移除引伸计,采用横梁位移速率控制继续试验,直至试样断裂,横梁位移速率应不大于  $0.5L_c/\text{min}$  ( $L_c$ 为试样平行段长度)。数据采集系统自动绘制型材试样应力-应变曲线,典型曲线见图 4。

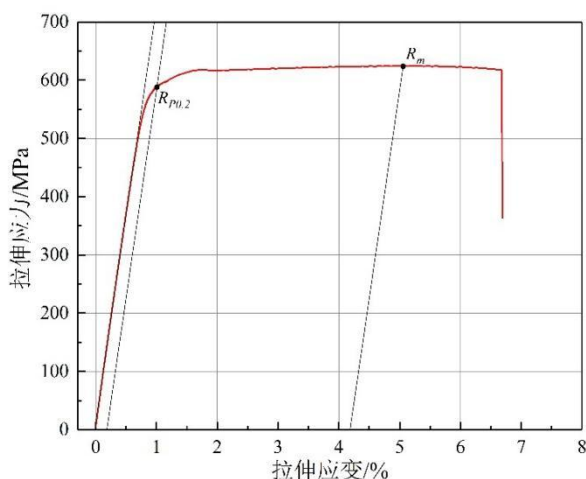


图 4 纵向试样拉伸试验典型应力-应变曲线

### 6.4 电导率

电导率试验按 GB/T 12966 的规定进行。

### 6.5 压缩力学性能

压缩力学性能试验按 GB/T 3251 的规定进行。

### 6.6 抗应力腐蚀性能

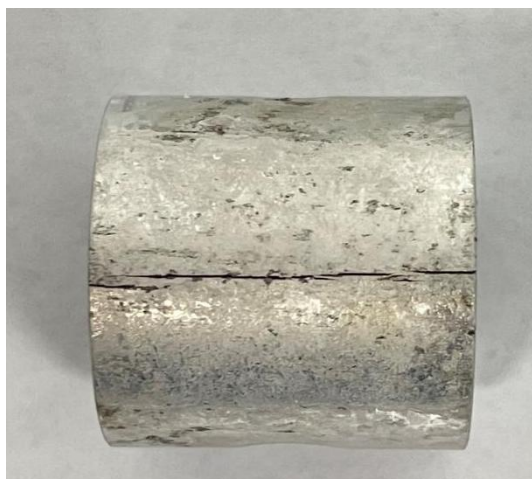
6.6.1 供需双方参照 T/CNIA 0162-2023 附录 B 商定试验参数,按 GB/T 22640 和 T/CNIA 0162-2023 的规定进行型材的恒应变应力腐蚀性能试验。未规定时,试验条件宜采用 C 形环试样、高向加载应力为 148MPa、周期浸润试验 10 天。周期浸润试验过程中,每 24h 目视或低倍下观察试样形貌,当试样有裂纹时停止试验。

6.6.2 恒应变应力腐蚀性能试验结果按如下规则进行判定：

- 当试样表面出现不连续的点蚀（见图 5）时，评定此试样为“无裂纹”；
- 当试样出现裂纹（见图 6）时，评定此试样为“有裂纹”；
- 当试样表面出现连续点蚀，且点蚀相连呈线状（见图 7）时，按照 GB/T 3246.1 观察试样横截面组织，按 T/CNIA 0162-2023 进一步评定该试样是否出现应力腐蚀开裂：
  - 试样表面存在点蚀坑，未出现向试样内部延伸的沿晶裂纹，判定为“无裂纹”，如图 8 所示。
  - 试样表面存在点蚀坑，且存在向试样内部延伸的沿晶裂纹，判定为“有裂纹”，如图 9 所示。



图 5 无裂纹的试样图示



a) 较严重的应力腐蚀裂纹



b) 较轻微的应力腐蚀裂纹

图 6 有裂纹的试样图示

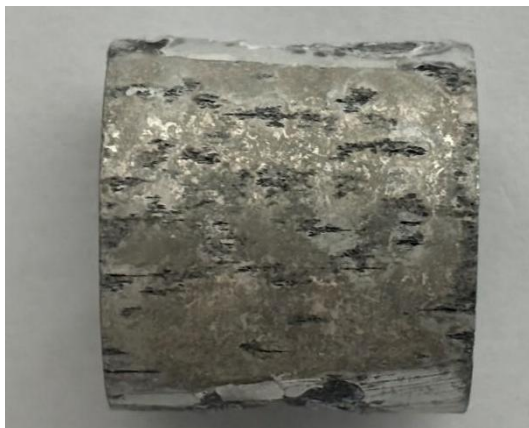


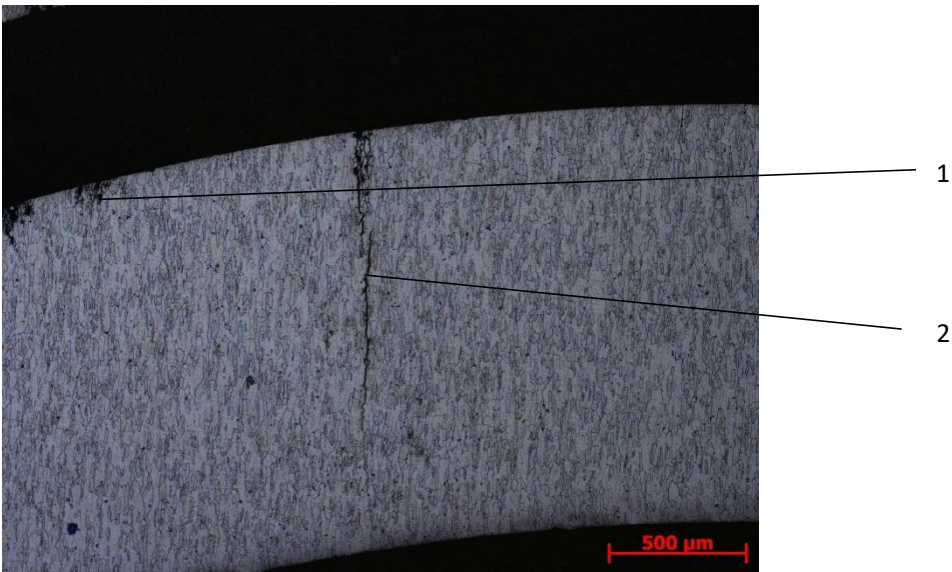
图7 点蚀呈线状的试样图示



标引序号说明:

1 ——点蚀坑。

图8 点蚀无裂纹试样截面组织形貌



标引序号说明：  
1 ——点蚀坑；  
2 ——沿晶裂纹。

图 9 点蚀有裂纹试样截面组织形貌

6.5.3 不同截面形状的产品，显微组织特征存在较大差异，其取样方向和应力腐蚀等级存在差异。

注：不同产品横截面的试样，分别采用不同试样形式、不同加载方向、不同加载应力、不同试验时间进行应力腐蚀试验，其试验结果差异较大（见表 4）。

表 4 应力腐蚀试验结果

| 型材横截面<br>形状 | 试样形式 | 加载方向 | 加载应力<br>MPa | 试验时间<br>d | 试验结果             | 备注                       |
|-------------|------|------|-------------|-----------|------------------|--------------------------|
| T形          | C形环  | 高向   | 148         | 10        | 15 个试样断裂<br>0 个  | 该条件下难以<br>保证所有试验<br>结果合格 |
|             |      |      | 298         | 10        | 15 个试样断裂<br>10 个 |                          |
|             |      |      | 445         | 10        | 15 个试样断裂<br>15 个 |                          |
| T形          | 拉伸试样 | 高向   | 148         | 10        | 15 个试样断裂<br>7 个  |                          |
|             |      |      | 298         | 10        | 15 个试样断裂<br>15 个 |                          |
|             |      |      | 445         | 10        | 15 个试样断裂<br>15 个 |                          |
| 丰字形         | C形环  | 高向   | 148         | 10        | 15 个试样断裂<br>5 个  |                          |
|             |      |      | 298         | 10        | 15 个试样断裂<br>9 个  |                          |



|     |      |    |     |    |                  |  |
|-----|------|----|-----|----|------------------|--|
|     |      |    | 445 | 10 | 15 个试样断裂<br>15 个 |  |
| 丰字形 | 拉伸试样 | 高向 | 148 | 10 | 15 个试样断裂<br>9 个  |  |
|     |      |    | 298 | 10 | 15 个试样断裂<br>15 个 |  |
|     |      |    | 445 | 10 | 15 个试样断裂<br>15 个 |  |

6.7 抗剥落腐蚀性能

抗剥落腐蚀性能测定按 GB/T 22639 进行全浸试验，试液体积与试样被浸面的面积之比为 15mL/cm² ± 1mL/cm²。按照 YS/T 1630.1-2023 中 6.3 的方法进行剥落腐蚀结果判定。典型的剥落腐蚀形貌见图 10 至图 13。

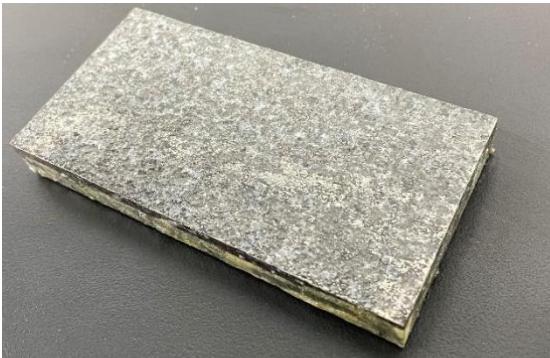


图 10 EA 级典型剥落腐蚀形貌



图 11 EB 级典型剥落腐蚀形貌

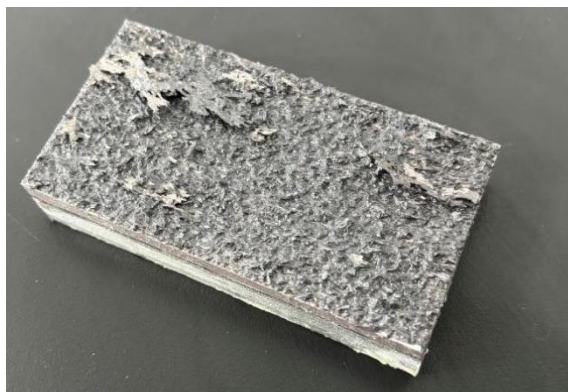


图 12 EC 级典型剥落腐蚀形貌



图 13 ED 级典型剥落腐蚀形貌

## 6.8 平面应变断裂韧性

6.8.1 根据折弯型材截面特点取尽可能大尺寸的试样，按 GB/T 42914 进行平面应变断裂韧度的测试。

6.8.2 宜采用自动采集系统绘制型材试样力-位移 ( $F-V$ ) 曲线。试样断裂后，检查断口处是否存在多余一条从缺口根部开始扩展的裂纹。沿着试样厚度从一侧表面到另一侧表面每间隔  $1/4$  厚度处测量裂纹长度  $a$ ，当试样表面存在因局部塑性变形产生剪切唇时，避让剪切唇位置从平直断裂区域开始测量。

6.8.3 在分析力-位移 ( $F-V$ ) 曲线时，取最高点加载力为  $F_{\max}$ ，宜按照  $40\%F_{\max}$  确定上拟合点  $F_{\text{upper}}$ ，并按照  $10\%F_{\max}$  确定下拟合点  $F_{\text{lower}}$ ，连接上拟合点  $F_{\text{upper}}$  和下拟合点  $F_{\text{lower}}$  并延长获得曲线线性部分的切线。当试样型号为 CT40、厚度为 20mm 时，采用推荐工艺试验的典型力-位移 ( $F-V$ ) 曲线如图 14 和图 15 所示。

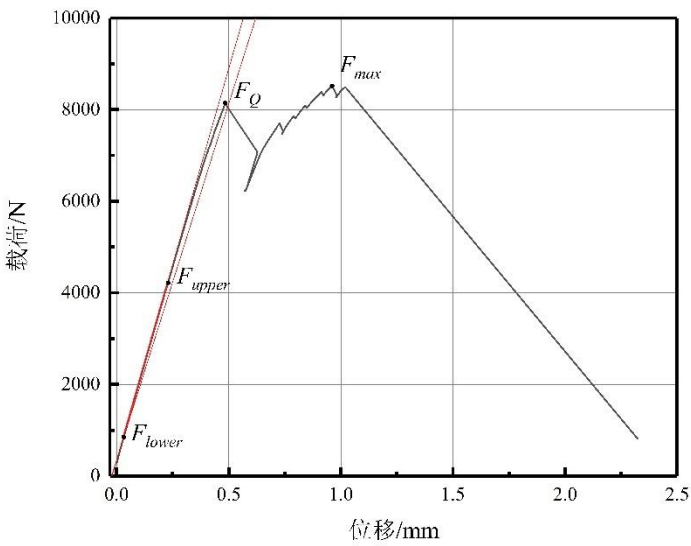


图 14 L-T 方向的典型力-位移曲线

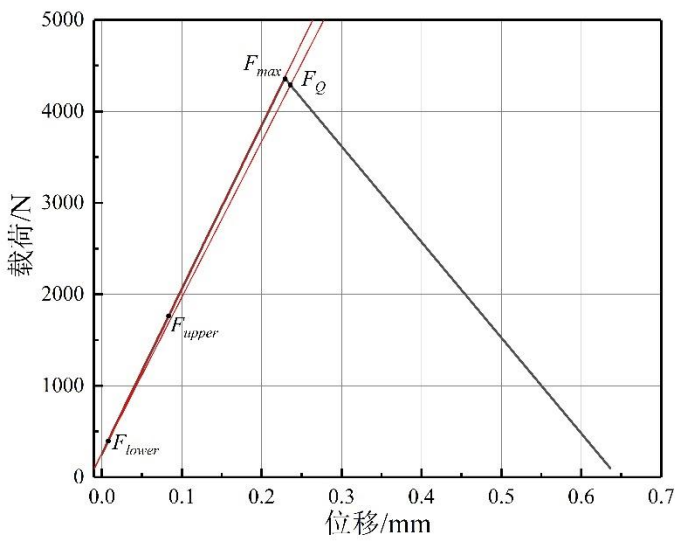


图 15 T-L 方向的典型力-位移曲线

6.7.4 试验结果以  $K_{Ic}$  或  $K_Q$  值表示，典型试验结果见表 5。因  $F_{max}/F_Q$  的值大于 1.1 而导致平面应变断裂韧性试验无效时，经需方确认后，提供  $K_Q$  值。

表 5 不同尺寸试样典型平面应变断裂韧性试验结果

| 牌号   | 状态     | 产品横截面图<br>示 | 试样型号 | 试样厚度<br>mm | $K_{Ic}$ 或 $K_Q$<br>MPa·√m |      |
|------|--------|-------------|------|------------|----------------------------|------|
|      |        |             |      |            | L-T                        | T-L  |
| 7055 | T76511 | 图 1a)       | CT60 | 30.0       | 35.4                       | 17.4 |



|  |       |        |      |      |      |
|--|-------|--------|------|------|------|
|  | 图 1b) | CT25.4 | 12.7 | 33.3 | 18.2 |
|  |       | CT40   | 20.0 | 33.1 | 17.2 |
|  |       | CT30   | 15.0 | 29.0 | 21.7 |

6.9 疲劳性能

6.9.1 按 GB/T 37616 进行疲劳裂纹扩展速率试验。将有效数据点和无效数据点同时绘出并标识，绘制  $da/dN-\Delta K$  曲线。宜采用 CCT 试样测试疲劳裂纹扩展速率，推荐应力比  $R=0.1$ 。测试结果因裂纹对称性差、裂纹超出有效区域等原因，导致部分数据无效时（图 16），应由供需双方协商确定数据是否可接受；测试结果中的应力强度因子范围  $\Delta K$  未能覆盖供需双方商定的范围时（见图 17），宜重新试验。

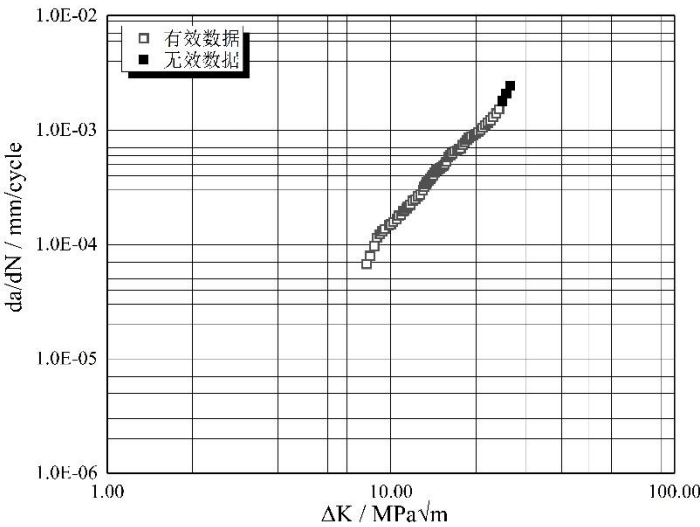


图 16 疲劳裂纹扩展速率曲线示例一

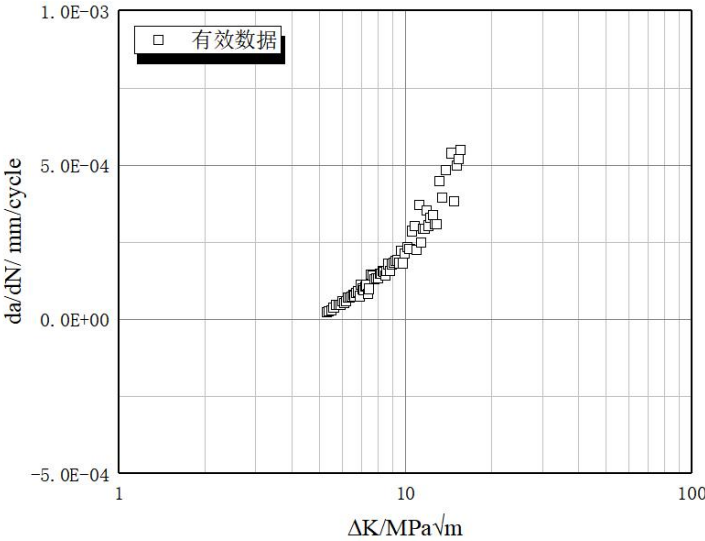


图 17 疲劳裂纹扩展速率曲线示例二

6.9.2 按 GB/T 37616 采用单点法测试  $S-N$  曲线，采用轴向应力控制，应力比为  $R=0.1$ ，正弦波，频率  $f=30\text{Hz}$ ，当试样断裂或循环次数超过  $3\times 10^6$  周次时，停止试验。典型试验结果见表 6，典型试验结果示意图见图 18。

表 6 规定轴向应力下的疲劳寿命结果示例

| 牌号   | 状态     | 应力比 | 应力集中系数 | 取样方向 | 规定轴向应力<br>MPa | 疲劳寿命<br>周次     |                 |
|------|--------|-----|--------|------|---------------|----------------|-----------------|
|      |        |     |        |      |               | 最小限定值          | 实测值             |
| 7055 | T76511 | 0.1 | 2.3    | L-T  | 250           | $1\times 10^4$ | 27877           |
|      |        |     |        |      |               |                | 20549           |
|      |        |     |        |      |               |                | 27289           |
|      |        |     |        |      | 200           | $5\times 10^4$ | 77261           |
|      |        |     |        |      |               |                | 153313          |
|      |        |     |        |      |               |                | 305369          |
|      |        |     |        |      | 175           | $1\times 10^5$ | 606112          |
|      |        |     |        |      |               |                | 203445          |
|      |        |     |        |      |               |                | $>3\times 10^6$ |
|      |        |     |        |      | 150           | $1\times 10^6$ | $>3\times 10^6$ |
|      |        |     |        |      |               |                | $>3\times 10^6$ |
|      |        |     |        |      |               |                | $>3\times 10^6$ |

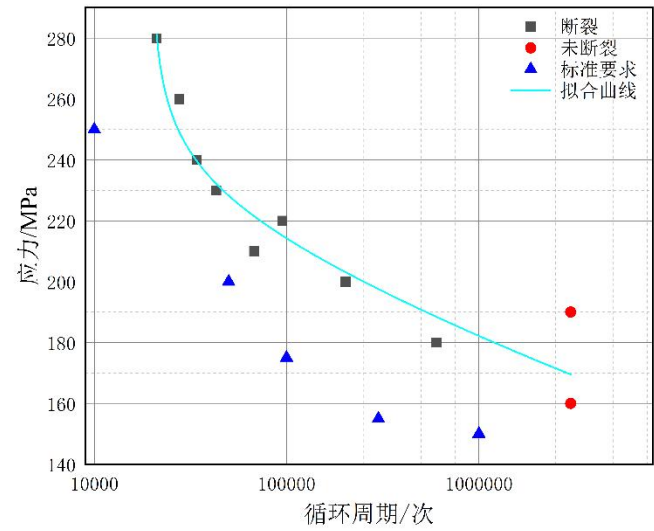


图 18 典型疲劳性能结果示意图

6.10 超声波探伤验收等级

对于厚度不小于6mm的产品，按GB/T 6519-2024规定的相控阵超声波检验方法进行超声波探伤检验。采用平表面铝合金纵波标准试块作为对比试块。表面检验分辨力为3.2mm。

6.11 低倍组织

低倍组织检查按GB/T 3246.2的规定进行。

6.12 外观质量

外观质量检验按GB/T 42792-2024的规定进行。

7 产品合格鉴定

产品合格鉴定应符合附录A的规定。

8 过程控制

过程控制应符合附录B的规定。

9 检验规则

9.1 检验和验收

9.1.1 检验

产品应由供方进行检验，保证产品质量符合本文件及订货单（或合同）的规定，并填写质量证明书。

9.1.2 验收

需方宜对收到的产品按本文件的规定进行检验。检验结果与本文件或订货单（或合同）的规定不符时，应以书面形式向供方提出，由供需双方协商解决。属于尺寸偏差及外观质量的异议，应在收到产品之日起一个月内提出，属于其他性能的异议，应在收到产品之日起三个月内提出。如需仲裁，可委托供需双方认可的单位进行，并在需方共同取样。

9.2 组批

产品应成批提交验收，每批应由同一折弯类型、牌号、供货状态、熔次、热处理炉次、尺寸规格组成，批重不限。

9.3 计重

产品应检斤计重。

9.4 检验项目

订货单（或合同）中未注明特殊要求时，产品出厂检验项目、定期检验项目应符合表7的规定，定期检验周期宜为1年。

表 7 检验项目

| 检验项目 | 出厂检验项目 | 定期检验项目 |
|------|--------|--------|
|------|--------|--------|

|                         |              |   |   |
|-------------------------|--------------|---|---|
| 化学成分                    |              | √ | - |
| 尺寸偏差                    |              | √ | - |
| 室温拉伸力学性能                |              | √ | - |
| 电导率                     |              | √ | - |
| 压缩力学性能                  |              | - | √ |
| 抗应力腐蚀性能                 |              | - | √ |
| 抗剥落腐蚀性能                 |              | - | √ |
| 平面应变断裂韧度                |              | - | √ |
| 疲劳性能                    | 疲劳裂纹扩展速率     | - | √ |
|                         | 规定轴向应力下的疲劳寿命 | - | √ |
| 超声波探伤验收等级               |              | √ | - |
| 低倍组织                    |              | √ | - |
| 外观质量                    |              | √ | - |
| 注：“√”表示检验项目，“-”表示非检验项目。 |              |   |   |

## 9.5 取样

9.5.1 出厂检验时，按表 8 的规定取样，因折弯型材截面形状、尺寸规格导致无法按表 8 的规定取样时，由供需双方商定取样要求，并在图样或图纸、订货单（或合同）中注明。

表 8 出厂检验取样

| 检验项目                                                                      | 取样规定               |                       |                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                                                           | 取样方向               | 取样位置 <sup>a</sup>     | 取样频率 <sup>b</sup>                                                |
| 化学成分                                                                      | 按 GB/T 17432 的规定进行 |                       |                                                                  |
| 尺寸偏差                                                                      | —                  |                       | 逐根检验                                                             |
| 室温拉伸力学性能                                                                  | 纵向                 | 供需双方参照图 19 在图样中注明取样位置 | 在同一批型材中抽取 1 根,在型材的头端和尾端分别取相同数量的试样:每个取样位置取 1 个试样,其他按 GB/T16865 执行 |
| 电导率                                                                       | 折弯型材的主要表面          | 间隔 1m 测量 1 点          | 逐根检验                                                             |
| 超声波探伤验收等级                                                                 | —                  |                       | 逐根检验                                                             |
| 低倍组织                                                                      | —                  |                       | 每根折弯型材的头端和尾端各取 1 个试样,其他按 GB/T3246. 2 执行                          |
| 外观质量                                                                      | —                  |                       | 逐根检验                                                             |
| <sup>a</sup> 需方要求在折弯区域取样时,由供需双方协商确定,并在订货单(或合同)中注明。                        |                    |                       |                                                                  |
| <sup>b</sup> 宜针对复杂截面型材的不同壁厚分别取样,其具体取样位置由供需双方协商确定,并在图样中注明(如图 19 至图 20 所示)。 |                    |                       |                                                                  |

9.5.2 定期检验时，按表 9 规定取样，因折弯型材截面形状、尺寸规格导致无法表 9 规定取样，或需方有特殊要求时，由供需双方协商确定取样要求，并在图样或图纸、订货单（或合同）中注明。

表 9 定期检验取样

| 检验项目                                                                                                                            |          | 取样规定      |                       |                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                 |          | 取样方向      | 取样位置 <sup>a</sup>     | 取样频率 <sup>b</sup>                                                   |
| 压缩力学性能                                                                                                                          |          | 纵向        | 供需双方参照图 20 在图样中注明取样位置 | 在同一批型材中抽取 1 根，在型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置取 1 个试样，其他按 GB/T 3251 执行    |
| 抗剥落腐蚀性能                                                                                                                         |          | —         | 供需双方参照图 21 在图样中注明取样位置 | 在同一批型材中抽取 1 根，在头端和尾端供需双方商定的取样位置各取 1 个试样，其他按 GB/T 22639 执行           |
| 抗应力腐蚀性能                                                                                                                         |          | S-T       | 供需双方参照图 22 在图样中注明取样位置 | 在同一批型材中抽取 1 根，在型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置至少取 3 个试样，其他按 GB/T 22640 执行 |
| 平面应变断裂韧度                                                                                                                        |          | L-T 和 T-L | 供需双方参照图 23 在图样中注明取样位置 | 在同一批型材中抽取 1 根，在型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置取 2 个试样，其他按 GB/T 42914 执行   |
| 疲劳性能                                                                                                                            | 疲劳裂纹扩展速率 | L-T       | 供需双方参照图 24 在图样中注明取样位置 | 在同一批型材中抽取 1 根，型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置取 1 个试样，其他按 GB/T 37616 执行    |
|                                                                                                                                 | S-N 曲线   | L-T       | 供需双方参照图 25 在图样中注明取样位置 | 在同一批型材中抽取 1 根，型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置取 1 个试样，其他按 GB/T 37616 执行    |
| <sup>a</sup> 需方要求在折弯区域取样时，由供需双方协商确定，并在订货单（或合同）中注明。<br><sup>b</sup> 宜针对复杂截面型材的不同壁厚分别取样，其具体取样位置由供需双方协商确定，并在图样中注明（如图 22 至图 25 所示）。 |          |           |                       |                                                                     |

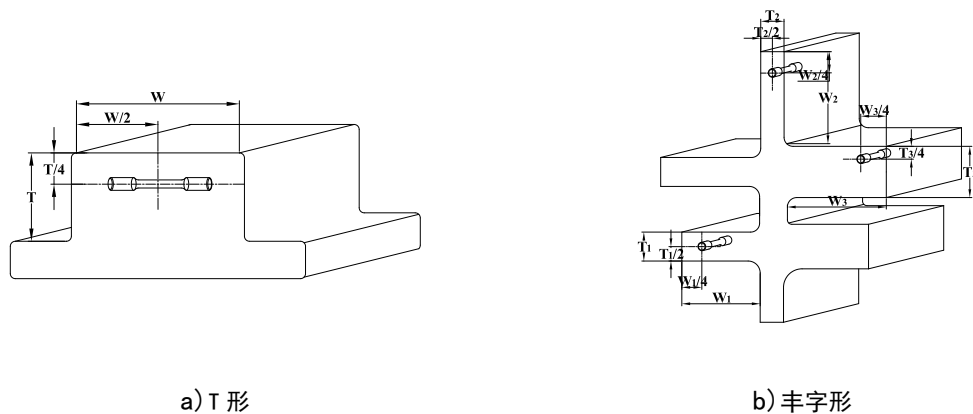


图 19 拉伸力学性能试验取样位置典型示例

标引序号说明：

$T$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ ——取样位置的型材壁厚；

$W$ 、 $W_1$ 、 $W_2$ ——取样位置的型材宽度。

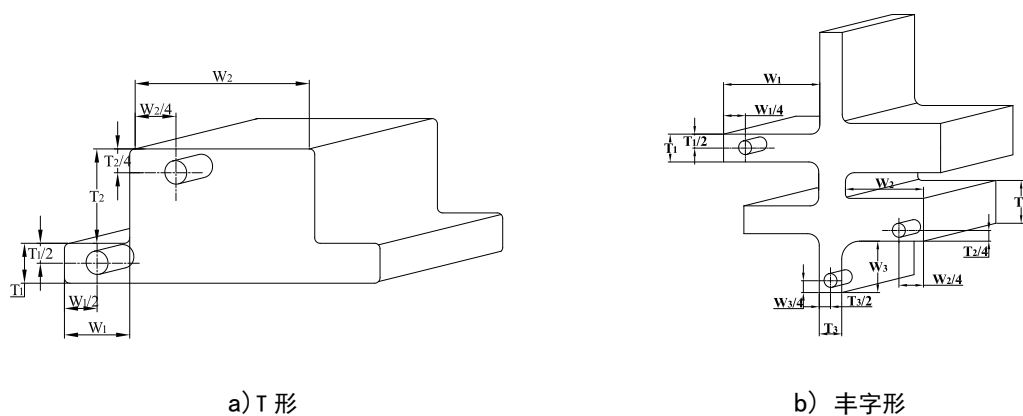


图 20 压缩性能试验取样位置典型示例

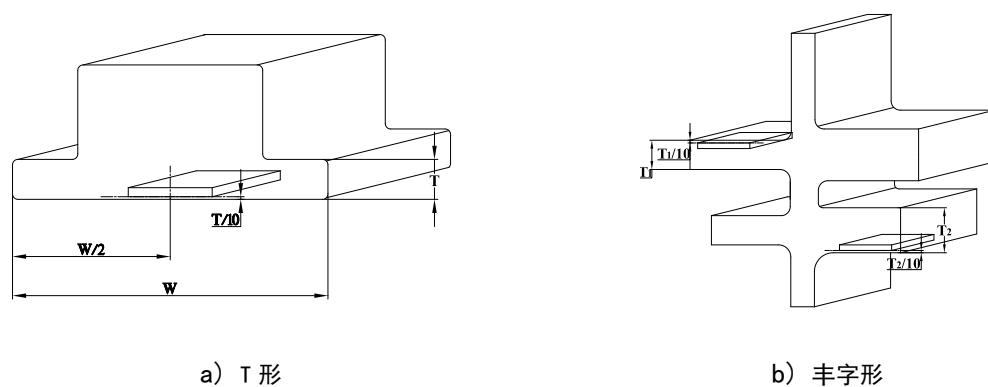


图 21 抗剥落腐蚀性能试验取样位置典型示例

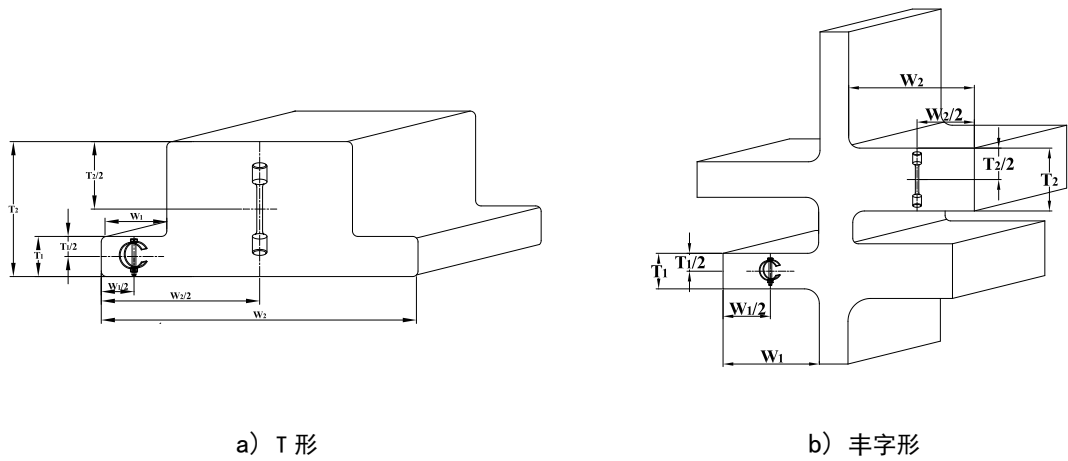


图 22 抗应力腐蚀性能试验取样位置典型示例

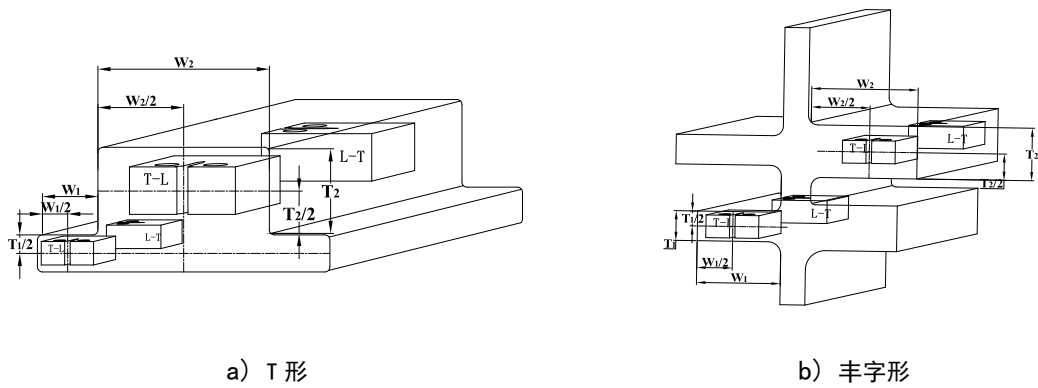


图 23 平面应变断裂韧性试验取样位置典型示例

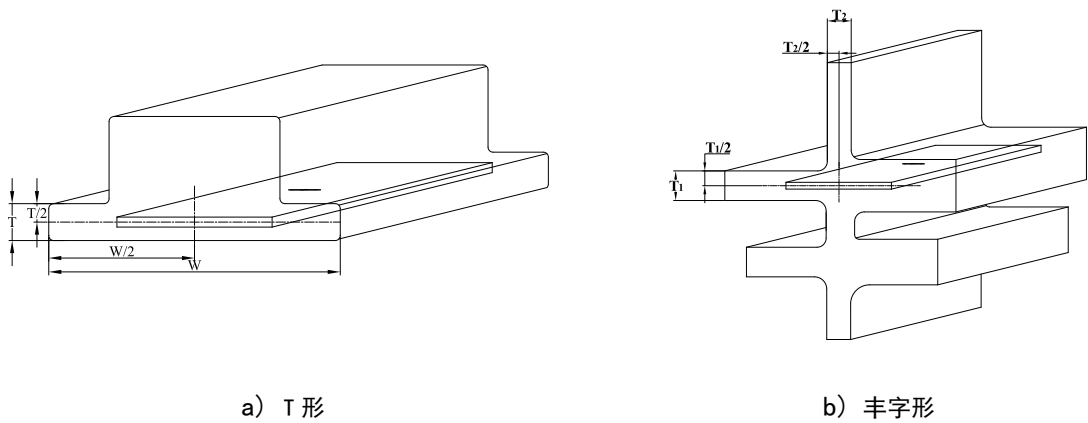


图 24 疲劳裂纹扩展速率试验取样位置典型示例

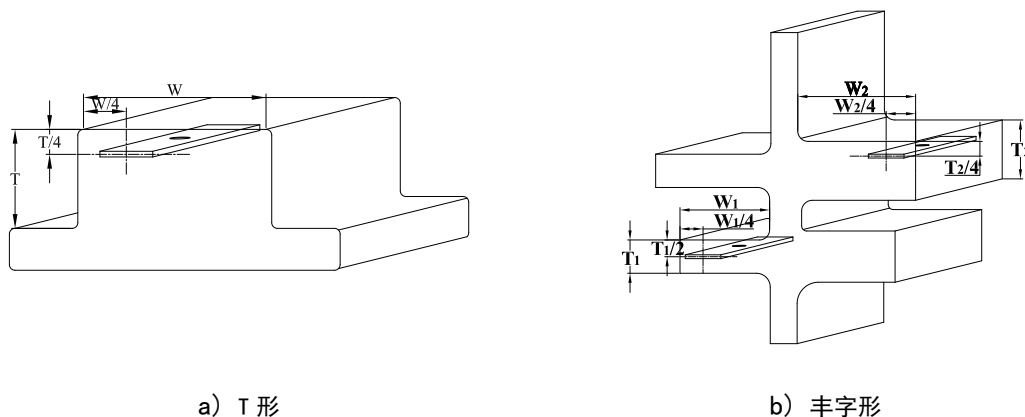


图 25 疲劳性能试验取样位置典型示例

## 9.6 检验结果的判定

### 9.6.1 化学成分

任一试样的化学成分不合格时，判该熔次型材不合格。

### 9.6.2 尺寸偏差

任一试样的尺寸偏差不合格时，判该根型材不合格。

### 9.6.3 室温拉伸力学性能

任一试样室温拉伸力学性能不合格时，判该批型材不合格。经从该批产品中另取双倍数量的试样（包括该不合格试样代表的那根型材）进行重复试验。重复试验结果全部合格时，判该批型材合格。若重复试验结果中仍有试样不合格时，判该批型材不合格。经供需双方商定后，允许供方逐根检验，合格者交货。

### 9.6.4 电导率

任一检测点的电导率不合格时，判该根型材不合格。

### 9.6.5 压缩力学性能

任一试样压缩力学性能不合格时，判该批型材不合格。从该批产品中另取双倍数量的试样（包括该不合格试样代表的那根型材）进行重复试验。重复试验结果全部合格时，判该批型材合格。若重复试验结果中仍有试样不合格时，判该批型材不合格。经供需双方商定后，允许供方逐根检验，合格者交货。

### 9.6.6 抗应力腐蚀性能

每组试样中任一试样抗应力腐蚀性能不合格时，判该批型材不合格。从该批次中另取双倍数量的试样（包括该不合格试样代表的那根型材）进行重复试验。重复试验结果全部合格时，判该批型材合格。若重复试验结果中仍有试样不合格时，判该批型材不合格。经供需双方商定后，允许供方逐根检验，合格者交货。

### 9.6.7 抗剥落腐蚀性能

任一试样抗剥落腐蚀性能不合格时，判该批型材不合格。从该批次中另取双倍数量的试样



（包括该不合格试样代表的那根型材）进行重复试验。重复试验结果全部合格时，判该批型材合格。若重复试验结果中仍有试样不合格时，判该批型材不合格。经供需双方商定后，允许供方逐根检验，合格者交货。

#### 9.6.8 疲劳性能

9.6.9.1 疲劳裂纹扩展速率试验结果不符合要求时，由供方根据供需双方重新商定的试验方案进行测试，并提供试验数据。

9.6.9.2  $S-N$  曲线不符合要求时，由供方根据供需双方重新商定的试验方案测绘  $S-N$  曲线，并提供试验数据。

#### 9.6.9 超声波探伤验收等级

任一定尺型材的超声波探伤验收等级不合格时，判该根产品不合格；任一不定尺型材不合格时，允许去除缺陷部位后重新检验，合格者交货。

#### 9.6.10 低倍组织

任一试样的低倍组织不合格时，判该根型材不合格。但因成层、缩尾、粗晶环不合格时，允许供方将该批型材挤压尾端均截去一段长度（按上述缺陷分布的最大长度）后逐根检验。

#### 9.6.11 外观质量

任一型材的外观质量不合格时，判该件型材不合格。

### 10 标志、包装、运输、贮存及质量证明书、订货单（或合同）内容

标志、包装、运输、贮存及质量证明书、订货单（或合同）内容应符合 YS/T XXX.1 的规定。

附录 A  
(规范性)  
产品合格鉴定

A.1 产品合格鉴定检验项目、取样规定及检验结果判定应符合表 A.1 的规定。

表 A.1 产品合格鉴定检验项目、取样规定及检验结果判定

| 检验项目                   |           | 取样规定                   |                                      |                                                    | 检验结果判定  |
|------------------------|-----------|------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|---------|
|                        |           | 取样方向                   | 取样位置                                 | 取样频率                                               |         |
| 化学成分                   |           | 按照 GB/T 17432 执行       |                                      |                                                    | 符合 5.1  |
| 尺寸偏差                   |           | 逐根检验                   |                                      |                                                    | 符合 5.2  |
| 室温拉伸力学性能 <sup>a</sup>  | 纵向和横向     | 供需双方参照图 19 在图样中注明取样位置  | 每根型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置取 1 个试样   |                                                    | 符合 5.3  |
| 电导率                    | 折弯型材的主要表面 | 间隔 1m 测量 1 点           | 逐根检验                                 |                                                    | 符合 5.4  |
| 压缩力学性能                 | 纵向        | 供需双方参照图 20 在图样中注明取样位置  | 每根型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置取 1 个试样   |                                                    | 符合 5.5  |
| 销型支承                   | L-T       | 供需双方参照图 A.1 在图样中注明取样位置 | 每根型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置取 1 个试样   |                                                    | 符合表 A.1 |
| 抗应力腐蚀性能                | S-T       | 供需双方参照图 22 在图样中注明取样位置  | 每根型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置至少取 3 个试样 |                                                    | 符合 5.6  |
| 抗剥落腐蚀性能                | —         | 供需双方参照图 21 在图样中注明取样位置  | 每根型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置取 1 个试样   |                                                    | 符合 5.7  |
| 平面应变断裂韧度 <sup>b</sup>  | L-T 和 T-L | 供需双方参照图 23 在图样中注明取样位置  | 每根型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置取 2 个试样   |                                                    | 符合 5.8  |
| 疲劳性能                   | 疲劳裂纹扩展速率  | L-T                    | 供需双方参照图 24 在图样中注明取样位置                | 在同一批型材中抽取 1 根，在头端和尾端供需双方商定的取样位置各取 1 个试样            | 符合 5.9  |
|                        | S-N 曲线    | L-T                    | 供需双方参照图 25 在图样中注明取样位置                | 在同一批型材中抽取 1 根，型材的头端和尾端分别取相同数量的试样：每个取样位置测试一条 S-N 曲线 |         |
| 超声波探伤验收等级 <sup>c</sup> |           | —                      |                                      |                                                    | 符合 5.10 |
| 低倍组织                   |           | —                      |                                      | 每根折弯型材：头端和尾端各 1 个                                  | 符合 5.11 |

|                                                                                                                                                            |   |                         |                                         |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------------------------|-----------------------------------------|--------------------|
| 显微组织                                                                                                                                                       | — | 供需双方参照图 A. 2 在图样中注明取样位置 | 在同一批型材中抽取 1 根，在头端和尾端供需双方商定的取样位置各取 1 个试样 | 不应出现过烧现象，典型结果见附录 C |
| 外观质量                                                                                                                                                       | — |                         | 检查表面粗糙度时抽取 3 根，其他项目逐根检验                 | 符合 5.12            |
| <p><sup>a</sup> 拉伸力学性能取样的其他要求按 GB/T 16865 进行。</p> <p><sup>b</sup> 平面应变断裂韧度取样的其他要求按 GB/T 42914 进行。</p> <p><sup>c</sup> 超声波探伤验收等级取样的其他要求按 GB/T 42914 进行。</p> |   |                         |                                         |                    |

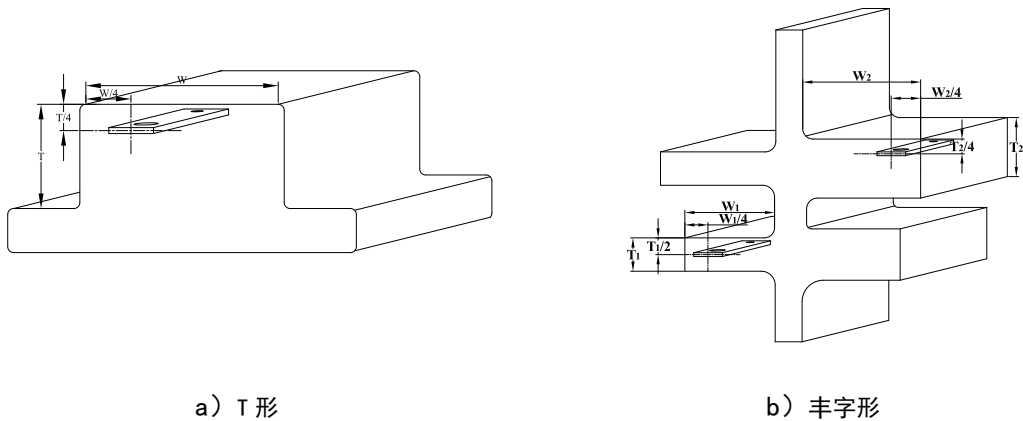


图 A. 1 销型支承试验取样位置典型示例

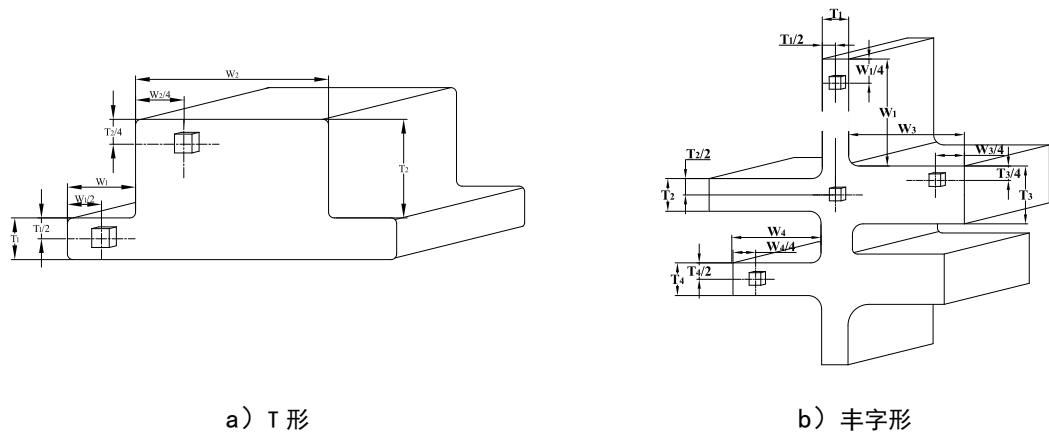


图 A. 2 显微组织试验取样位置典型示例

表 A. 1 销型支承性能

| 牌号   | 供货状态   | 壁厚<br>mm   | 边距比 <sup>a</sup><br>E/D | 支承断裂强度 $\delta_{bru}$<br>MPa |
|------|--------|------------|-------------------------|------------------------------|
| 7055 | T76511 | 6.50~76.50 | 1.5                     | $\geq 870$                   |
|      |        |            | 2.0                     | $\geq 1085$                  |

<sup>a</sup> 边距比为承载孔中心与试样边缘的距离E与承载孔直径D之比，见GB/T 6892-2023附录C。

A.2 销型支承性能测试按 GB/T 6892-2023 附录 C 的规定进行，显微组织测试按 GB/T 3246.1 的规定进行。

A.3 产品合格鉴定其他要求应符合 GB/T 42792-2024 中附录 A 的规定。

附录 B  
(规范性)  
过程控制

B.1 过程控制范围

为保证材料过程控制有效性，过程控制文件应包括以下内容：

- a) 原材料要求；
- b) 设备要求；
- c) 工艺要求；

B.2 原材料要求

铸锭应符合YS/T 1619的规定，如有其他要求由供需协商确定。

B.3 设备要求

为保证型材的性能稳定性，应使用专用设备，设备更换时应按合格鉴定要求开展产品性能验证。主要生产设备应进行定期校验，保证产品性能稳定性，设备用途、精度、检验周期及相关认证宜满足表 B.1 中的要求。

表 B.1 主要生产设备的精度要求和检验周期要求

| 主要设备     | 工艺用途    | 精度要求     | 检验周期要求 | 是否需要相关认证 |
|----------|---------|----------|--------|----------|
| 铸锭加热炉    | 铸锭加热    | ±8℃      | 3 个月   | 否        |
| 挤压机      | 产品挤压    | —        | 6 个月   | 否        |
| 淬火炉      | 产品淬火    | ±5℃      | 1 个月   | 是        |
| 拉伸机      | 产品拉伸    | —        | 6 个月   | 否        |
| 折弯机      | 铝型材折弯   | —        | 6 个月   | 否        |
| 时效炉      | 产品时效    | ±5℃      | 1 个月   | 是        |
| 电导率仪     | 产品电导率测量 | —        | 12 个月  | 否        |
| 相控阵水浸探伤仪 | 产品超声波探伤 | 盲区 3.0mm | 12 个月  | 是        |

B.4 工艺要求

产品生产工艺分为工艺研究阶段、工艺稳定性正式验证阶段、批产供货阶段的工艺，工艺稳定性正式验证阶段和批产供货阶段的工艺应完全一致，合格鉴定结束后由需方签批过程控制文件。批产供货阶段工艺优化或更改时，应按照需方要求验证并签批后方可生产供货。主要控制过程控制和控制要求宜符合表 B.2 的规定。

表 B.2 航空用折弯型材主要控制过程和控制要求

| 序号 | 主要控制过程 | 控制要求                                                                                                 |
|----|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 熔铸     | 应满足 YS/T 1619 要求                                                                                     |
| 2  | 挤压     | 宜采用反向挤压。<br>宜对圆铸锭加热温度、长度方向加热梯度、挤压速度制定内控标准并进行符合性控制，使每根圆铸锭在挤压过程中出口温度实时监控数值在±15℃以内。以上参数为实时监控，并以电脑曲线方式记录 |

|   |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | 固溶热处理 | <p>淬火炉选择：T 形型材宜采用卧式炉分段喷淋淬火，即硬淬火段加软淬火段。硬淬火段宜采用足够大的冷却速率将折弯型材冷却至淬火敏感温度以下，软淬火段宜采用较低的冷却速率将型材冷却至 40 ℃ 及以下；丰字形型材宜采用立式淬火炉淬火。</p> <p>冷却介质流量控制：冷却介质宜采用水或能够减小残余应力的聚合物水溶液。宜对硬淬火段和软淬火段对应淬火介质的上部流量和下部流量进行控制（如硬淬火段上部流量为 300 L/s±10 L/s），使型材淬火后的变形趋于稳定一致。冷却介质的流量监控频次为每炉次，记录方式为电脑曲线。</p> <p>测试：宜每周对卧式炉淬火型材进行电导率测试至少 1 次，长度方向相邻两个测试点间隔不超 600 mm，沿着型材横截面周长方向相邻两个测试点不超 50 mm，每个热处理批次折弯型材电导率最大值和最小值之差不大于 4% IACS（2.32 MS/m）</p> |
| 4 | 拉伸    | <p>宜控制淬火结束至拉伸结束的间隔时间，在尽量短的时间内通过拉伸来减小淬火变形导致的残余应力，间隔时间宜不超 10 h。</p> <p>淬火结束至拉伸结束的间隔时间监控频次为每支型材 1 次，记录方式为纸质记录</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 5 | 折弯    | <p>宜在拉伸结束后尽快完成折弯操作，以最大程度减小型材自然时效对折弯型材回弹量的影响，间隔时间宜不超 4 h。</p> <p>拉伸结束至折弯结束的间隔时间监控频次为每支型材 1 次，记录方式为纸质记录。</p> <p>宜对每次折弯生产的首件产品进行尺寸规格复测，折弯后的首次检测和复测间隔时间不低于 24 h</p>                                                                                                                                                                                                                                            |
| 6 | 时效    | <p>拉伸或折弯工序产生塑性变形后，距时效开始时间间隔宜不大于 12h，时效热处理宜采用一级炉，不满足一级炉控温要求的情况下，需对型材头部、尾部的电导率和力学性能进行监控</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

B.5 其他要求

其他要求应符合 GB/T 42792-2024 中 B.1 的规定。

附录 C  
(资料性)  
折弯型材典型显微组织

T形横截面的型材和丰字形横截面的型材典型显微组织见图C. 1和图C. 2, 不同位置的显微组织因变形特点不同存在差异。

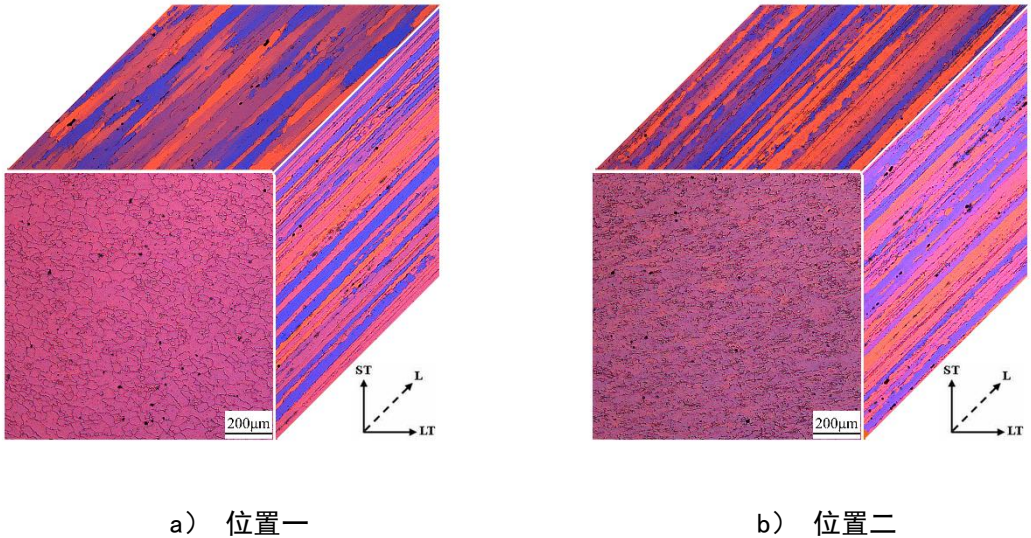


图 C.1 T 形横截面的型材典型显微组织图示

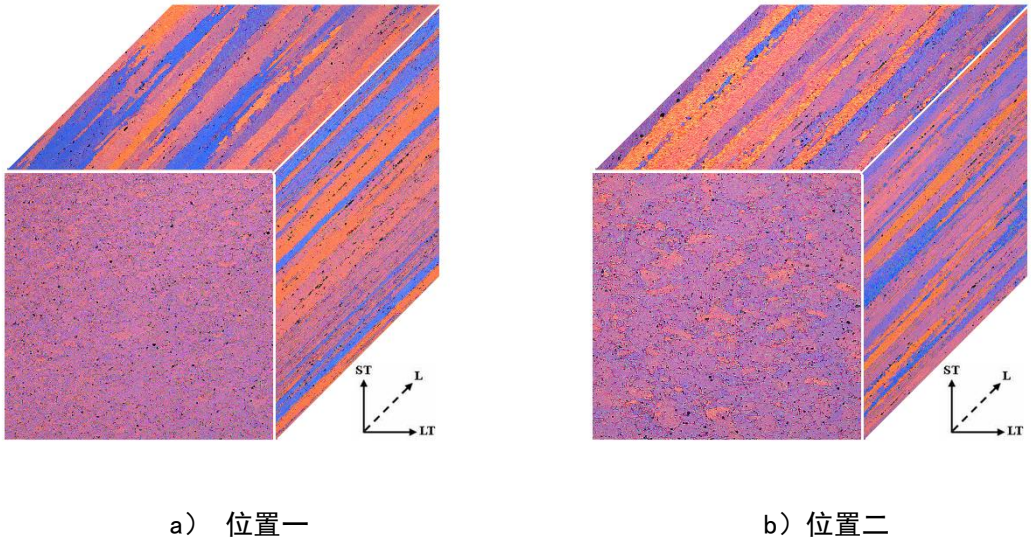


图 C.2 丰字形横截面的型材典型显微组织图示