

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 37616—2019

## 铝合金挤压型材轴向力 控制疲劳试验方法

Aluminium alloys extruded profiles-axial force  
controlled fatigue testing method

2019-06-04 发布

2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 前　　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国有色金属工业协会提出。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)归口。

本标准起草单位:辽宁忠旺集团有限公司、有色金属技术经济研究院、国合通用测试评价认证股份公司、中航沈飞民用飞机有限责任公司、广东省工业分析检测中心、山东南山铝业股份有限公司、东北轻合金有限责任公司、西南铝业(集团)有限责任公司、山东兗矿轻合金有限公司、广东高登铝业有限公司、中车株洲电力机车有限公司、中车唐山机车车辆有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、广东坚美铝型材厂(集团)有限公司。

本标准主要起草人:孙巍、席欢、吴磊、柳作宇、石常亮、李铸铁、王金花、肖洪、刘博、何家金、岳译新、何天、林化强、徐世光、贾大炜。



# 铝合金挤压型材轴向力 控制疲劳试验方法

## 1 范围

本标准规定了室温下(10 °C ~ 35 °C)铝合金挤压型材(没有引入应力集中)受轴向等幅力控制疲劳试验的方法。

本标准适用于铝合金挤压型材规定应力水平下的疲劳寿命测定,规定循环次数条件下的疲劳强度、S-N 曲线、P-S-N 曲线及 Goodman 曲线的测定。

## 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 10623 金属材料 力学性能试验术语

JJG 556 轴向加力疲劳试验机

## 3 术语和定义

GB/T 10623 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**存活率 probability of survival**

$P$

疲劳寿命或疲劳强度超过规定值的概率,用百分数表示。

### 3.2

**中值疲劳寿命 median fatigue life**

$N_{50}$

具有 50% 存活率的疲劳寿命。



### 3.3

**规定存活率的疲劳寿命 fatigue life for  $P$  survival**

$N_P$

在规定应力水平下,母材存活率  $P$  达到或超过的疲劳寿命。

注: 存活率  $P$  一般取 97.5%、95%、90% 等。

### 3.4

**中值对数疲劳寿命 median logarithm fatigue life**

$x_{50}$ (或  $\lg N_{50}$ )

具有 50% 存活率的对数疲劳寿命。

### 3.5

**规定存活率的对数疲劳寿命 logarithm fatigue life for  $P$  survival**

$x_P$ (或  $\lg N_P$ )

在规定应力水平下,母材存活率  $P$  能够达到或超过的对数疲劳寿命。

3.6

### 规定存活率的疲劳强度 fatigue strength for $P$ survival

 $\sigma_P$ 

当规定某一疲劳寿命  $N$  时,母材存活率  $P$  能够达到或超过的疲劳强度。

3.7

### 中值疲劳强度 median fatigue strength

 $\sigma_{50}$ 

具有 50% 存活率的疲劳强度。

3.8

### 中值 S-N 曲线 median S-N curve

在各个应力水平下拟合中值疲劳寿命并且在各个规定寿命下拟合中值疲劳强度所得到的曲线,即 50% 存活率的应力-寿命关系曲线。

3.9

### P-S-N 曲线 P-S-N curve

在各个应力水平下拟合  $P$  存活率的疲劳寿命并且在各个规定寿命下拟合  $P$  存活率的疲劳强度所得到的曲线,即  $P$  存活率的应力-寿命关系曲线。

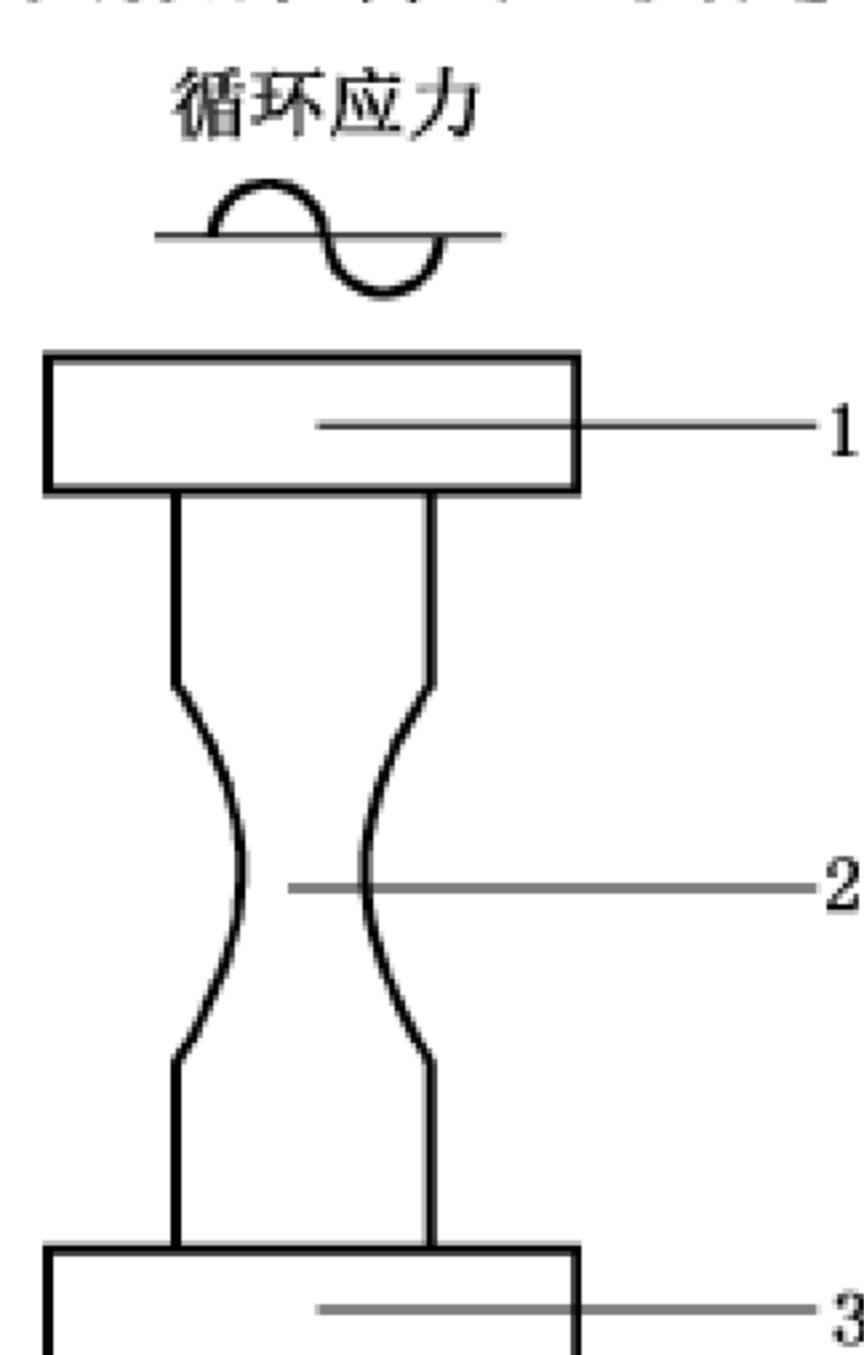
3.10

### Goodman 曲线 Goodman curve

在规定疲劳寿命条件下(例如:规定疲劳寿命  $N_f = 1 \times 10^7$ ),由至少三个不同应力比  $R$ (例如: $R = -1, 0.1, 0.5$ )的疲劳应力水平参数,即最大应力、最小应力、应力幅与平均应力所组成的关系曲线。

## 4 方法概述

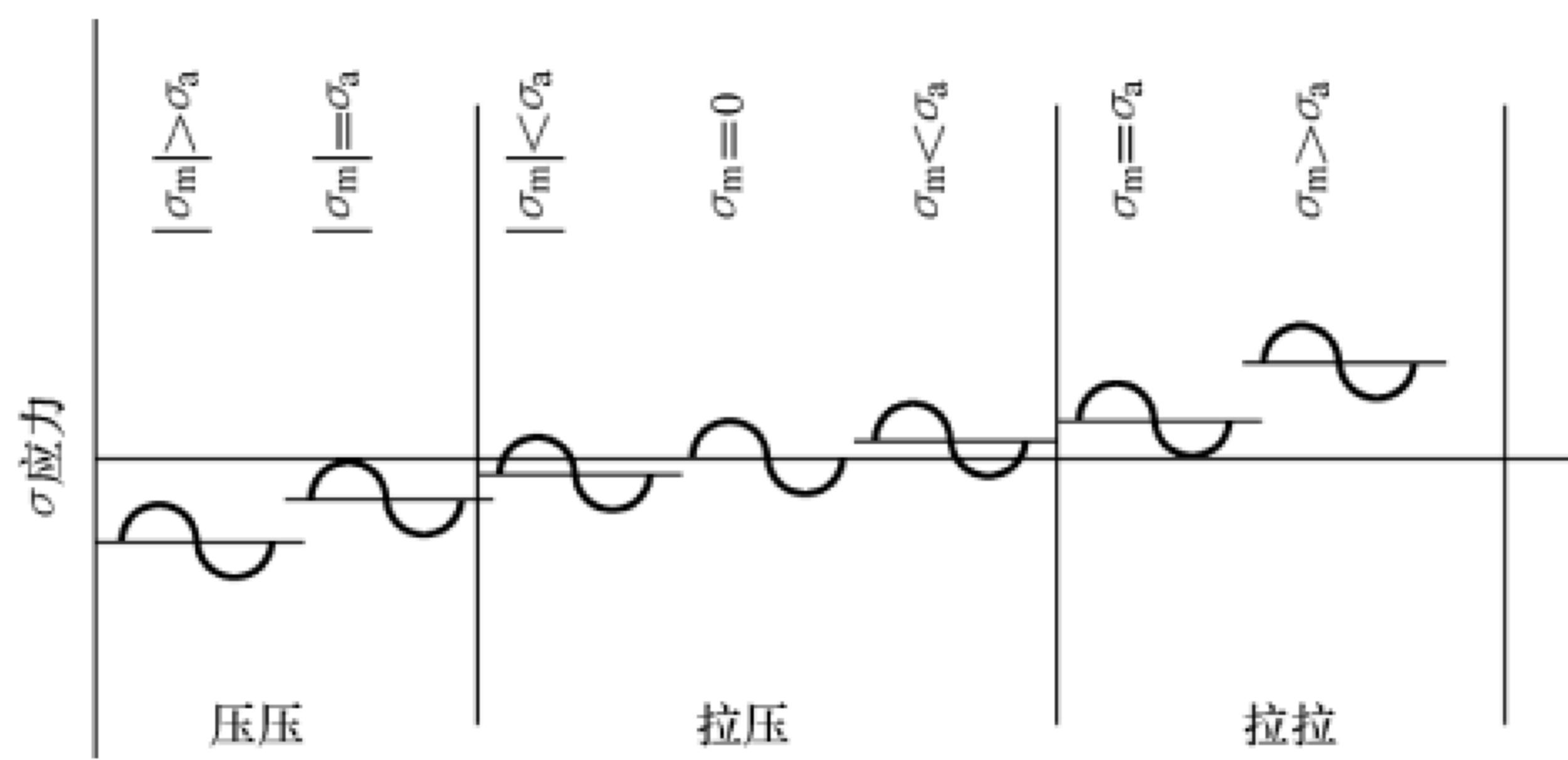
本方法是沿试样纵向施加恒幅交变载荷(见图 1),其循环应力类型如图 2 所示。在规定应力水平条件下,测定材料的疲劳寿命;在规定循环次数条件下,测定材料的疲劳强度。



说明:

- 1——上夹具;
- 2——试样;
- 3——下夹具。

图 1 疲劳试验示意图



说明：

- $\sigma_a$  —— 应力幅；
- $\sigma_m$  —— 平均应力；
- 压压 ——  $\sigma_{\max} \leqslant 0, \sigma_{\min} < 0$ ；
- 拉压 ——  $\sigma_{\max} > 0, \sigma_{\min} < 0$ ；
- 拉拉 ——  $\sigma_{\max} > 0, \sigma_{\min} \geqslant 0$ 。

图 2 循环应力类型

## 5 试验设备

5.1 疲劳试验机：电磁共振式疲劳试验机、电液伺服式疲劳试验机或其他形式轴向疲劳试验机。

5.2 疲劳试验机应满足 JJG 556 的要求。

## 6 试样

### 6.1 试样分类

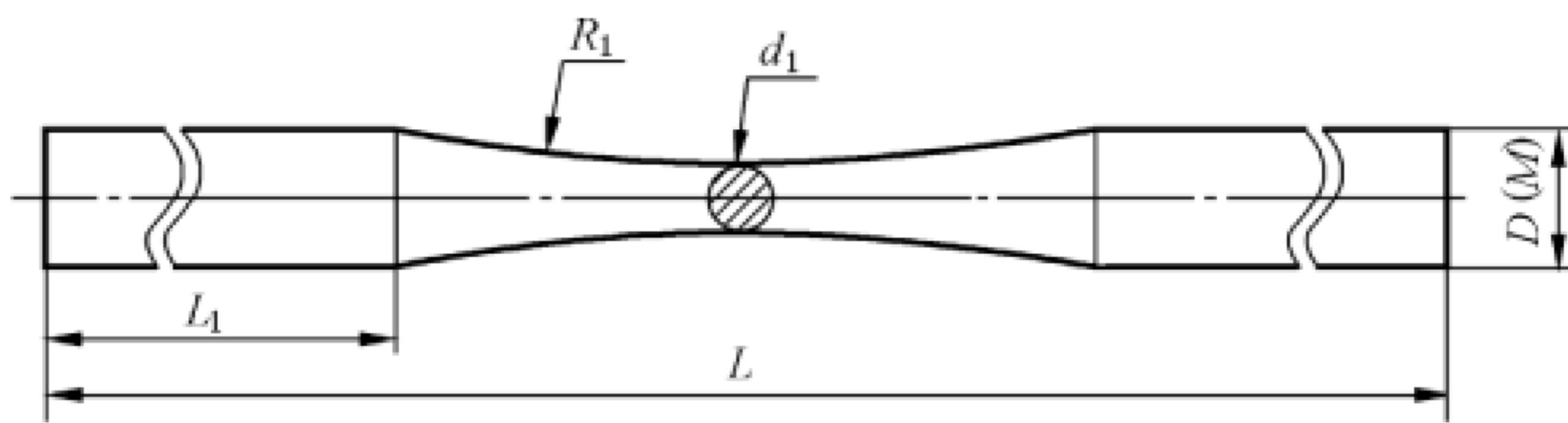
试样形状按照工作部分横截面的形状及尺寸变化，可分为圆形单截面试样、圆形等截面试样、矩形单截面试样和矩形等截面试样。圆形试样按照夹持端类型，又分为圆柱试样和螺纹试样。缺口试样的形状及尺寸由供需双方商定后在订货单(或合同)中注明。

### 6.2 试样形状与尺寸

#### 6.2.1 圆形试样

##### 6.2.1.1 圆形单截面试样

圆形单截面试样的形状示意图见图 3，其尺寸及偏差应符合表 1 的规定。



说明：

- $R_1$  —— 试样圆弧半径；
- $d_1$  —— 试样最小直径；
- $D(M)$  —— 试样夹持部分直径或螺纹规格；
- $L_1$  —— 夹持部分；
- $L$  —— 试样总长。

图 3 圆形单截面试样示意图

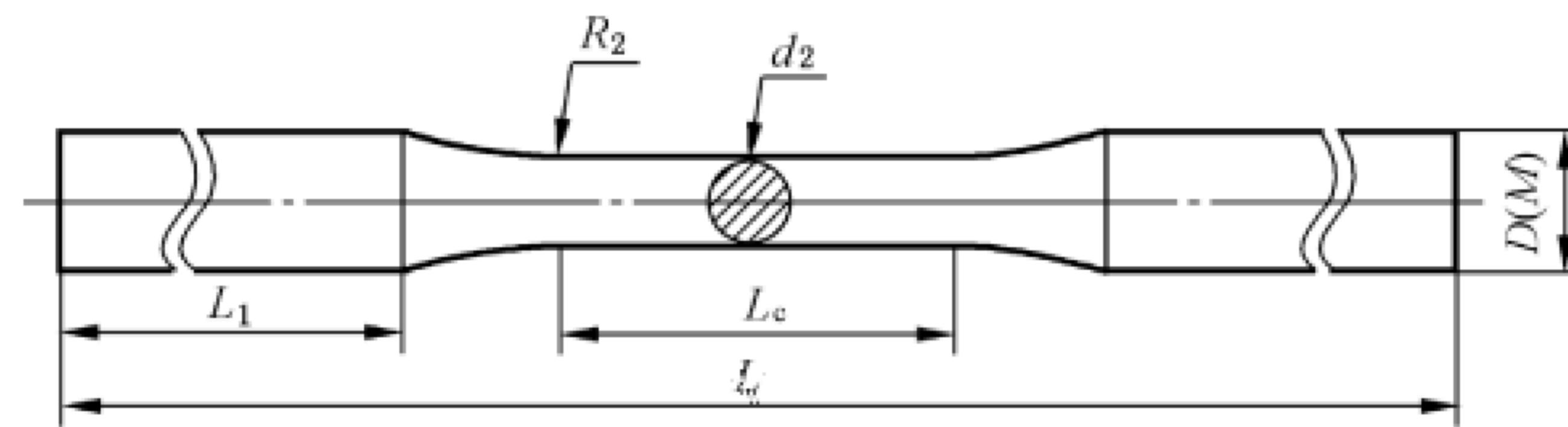
表 1 圆形单截面试样尺寸及偏差

单位为毫米

型材厚度 $a$	试样类型	试样最小直径 $d_1$	试样圆弧半径 $R_1$	试样夹持部分直径或螺 纹规格 $D(M)$
>15.00~25.00	螺纹试样	$5.00 \pm 0.02$	$50.00 \pm 1.00$	M14×1
	圆柱试样			$12.00 \pm 1.00$
>25.00	螺纹试样	$10.00 \pm 0.02$	$80.00 \pm 1.00$	M22×1
	圆柱试样			$20.00 \pm 1.00$

#### 6.2.1.2 圆形等截面试样

圆形等截面试样的形状示意图见图 4, 其尺寸及偏差应符合表 2 的规定。



说明：

- $R_2$  —— 试样过渡圆弧半径；
- $d_2$  —— 试样横截面直径；
- $D(M)$  —— 试样夹持部分直径或螺纹规格；
- $L_1$  —— 夹持部分；
- $L_c$  —— 试样工作部分的平行长度；
- $L$  —— 试样总长。

图 4 圆形等截面试样示意图

表 2 圆形等截面试样尺寸及偏差

单位为毫米

型材厚度 $a$	试样类型	试样横截面直径 $d_2$	试样过渡圆弧半径 $R_2$	试样工作部分的平行长度 $L_c$	试样夹持部分直径或螺纹规格 $D(M)$
$\geq 25.00$	螺纹试样	$10.00 \pm 0.05$	$60.00 \pm 1.00$	$35.00 \pm 1.00$	$M22 \times 1$
	圆柱试样				$20.00 \pm 1.00$

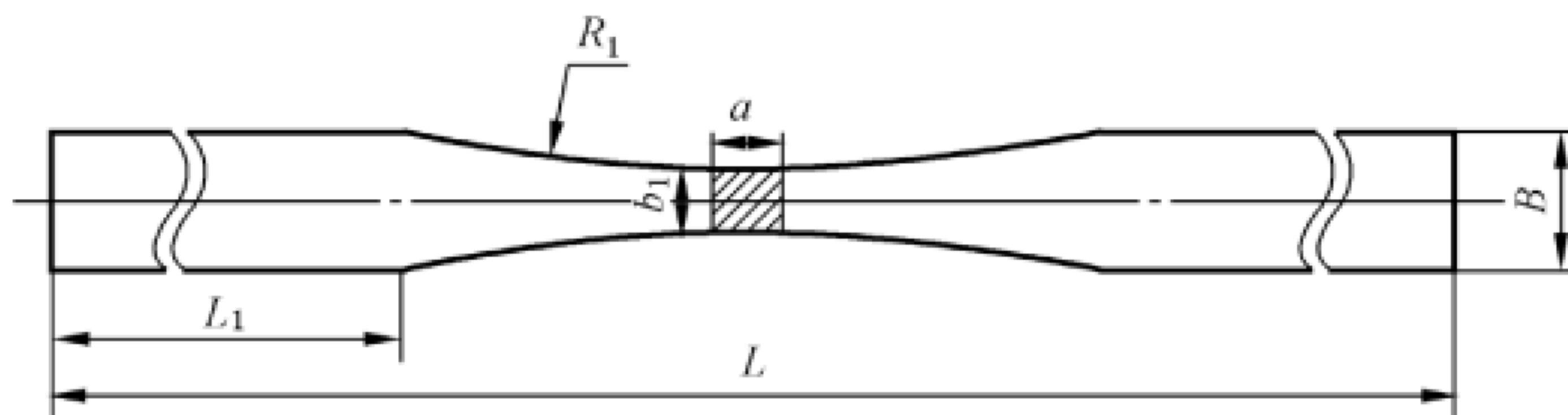
### 6.2.1.3 允许偏差

对于圆形截面试样,同轴度、平行度允许偏差均不大于  $0.05\text{ mm}$ ,螺纹试样两端面与轴线的垂直度允许偏差不大于  $0.05\text{ mm}$ 。

## 6.2.2 矩形试样

### 6.2.2.1 矩形单截面试样

矩形单截面试样的形状示意图见图 5,其尺寸及偏差应符合表 3 的规定。如有特殊要求,由供需双方商定后在订货单(或合同)中注明。



说明:

- $R_1$  ——试样圆弧半径;
- $a$  ——试样厚度;
- $b_1$  ——试样最小宽度;
- $B$  ——试样夹持部分宽度;
- $L_1$  ——夹持部分;
- $L$  ——试样总长。

图 5 矩形单截面试样示意图

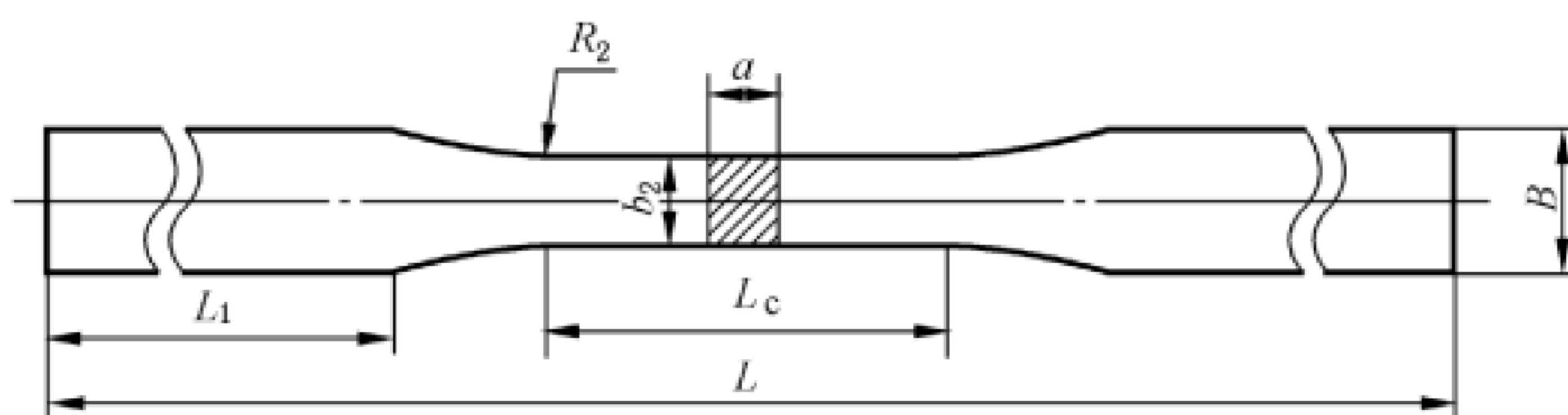
表 3 矩形单截面试样尺寸及偏差

单位为毫米

型材厚度 $a$	试样最小宽度 $b_1$	试样圆弧半径 $R_1$	试样夹持部分宽度 $B$
$\leq 15.00$	$15.00 \pm 0.05$	$120.00 \pm 1.00$	$40.00 \pm 1.00$

### 6.2.2.2 矩形等截面试样

矩形等截面试样的形状示意图见图 6,其尺寸及偏差应符合表 4 的规定。如有特殊要求,由供需双方商定后在订货单(或合同)中注明。



说明：

- $R_2$ ——试样过渡圆弧半径；
- $a$ ——试样厚度；
- $b_2$ ——试样横截面宽度；
- $B$ ——试样夹持部分宽度；
- $L_1$ ——夹持部分；
- $L_c$ ——试样工作部分的平行长度；
- $L$ ——试样总长。

图 6 矩形等截面试样示意图

表 4 矩形等截面试样尺寸及偏差

单位为毫米

型材厚度 $a$	试样横截面宽度 $b_2$	试样过渡圆弧半径 $R_2$	试样工作部分的平行长度 $L_c$	试样夹持部分宽度 $B$
$\leq 15.00$	$15.00 \pm 0.05$	$50.00 \pm 1.00$	$50.00 \pm 1.00$	$40.00 \pm 1.00$

### 6.2.2.3 允许偏差

试样平行部分同轴度允许偏差不大于 0.15 mm, 两端夹持部分同轴度允许偏差不大于 0.40 mm。

## 6.3 试样制备

### 6.3.1 一般要求

- 6.3.1.1 取样位置和方向应符合相关标准或协议的要求,若未对取样位置和方向进行规定,可按 6.3.2 和 6.3.3 进行取样,并对试样进行编号和作出标识。
- 6.3.1.2 试样加工尺寸、形状公差和表面粗糙度等应符合要求,圆弧与平行长度应光滑连接。单截面试样尺寸和形状公差应使用工具显微镜检验和测量。
- 6.3.1.3 在车削和铣削加工过程中,应逐次减少切削深度,并提供足够的切削液,以减少加工硬化和防止过热。
- 6.3.1.4 试样抛光时,应沿着试样纵向抛光,压向试样表面的力尽可能小,以降低表面残余应力的影响。
- 6.3.1.5 试样表面不应有划痕、磕碰和腐蚀等损伤或缺陷。

### 6.3.2 圆形试样

- 6.3.2.1 型材壁厚大于 15.00 mm 且不大于 40.00 mm 时,在型材壁厚中心位置切取圆形试样;型材壁厚大于 40.00 mm 时,在型材壁厚中心至表面 1/2 位置切取直径为  $d + 5.00$  mm 圆形试样。
- 6.3.2.2 将圆形试样经过粗车加工,使试样直径达到  $d + 0.50$  mm,建议经过 3 次切削,每次切削深度为 1.25 mm,0.75 mm,0.25 mm。
- 6.3.2.3 将粗车后的试样经过精车加工,使试样直径达到  $d + 0.02$  mm,建议经过 3 次切削,每次切削深度为 0.12 mm,0.07 mm,0.05 mm。
- 6.3.2.4 将精加工后的试样沿近似于试样轴线的方向抛光,最后达到试样的标称尺寸,除试样夹持端外,表面粗糙度  $R_a$  不大于 0.32  $\mu\text{m}$ 。

### 6.3.3 矩形试样

- 6.3.3.1 型材壁厚不大于 15.00 mm 时,切取全壁厚矩形试样。

6.3.3.2 矩形横截面试样的表面一般不需要加工,侧面一般采用纵向铣削加工,建议经过 3 次加工,每次铣削深度为 0.50 mm,0.20 mm,0.10 mm。

6.3.3.3 将铣削后的试样纵向抛光,直至达到标称尺寸。除试样夹持端外,侧面表面粗糙度  $R_a$  不高于 0.32  $\mu\text{m}$ 。

6.3.3.4 为避免疲劳裂纹出现在棱边,试样工作部分的棱边沿轴线方向需倒半径为 0.10 mm~0.20 mm 的圆角,且粗糙度不大于 0.32  $\mu\text{m}$ 。

## 7 试验说明

7.1 试验前应对试样进行外观检验,清洁试样表面时不得造成试样损伤,用光学仪器检验试样工作表面,不准许有表面夹杂、裂纹、凿痕、削痕、周向划痕、未融合和腐蚀等缺陷。

7.2 采用工具显微镜测量单截面试样最小横截面的宽度或直径,采用千分尺测量试样的厚度,测量精度均应不低于 0.01 mm。

7.3 装夹试样应保证施加于试样上的载荷是沿轴向的。

7.4 施加载荷应平稳,不得超载。试样过程中应保持载荷稳定。

7.5 试验选择频率范围一般不大于 200 Hz。

7.6 试样在规定的应力下试验,直至试样断裂或试验至规定的循环次数。

7.7 试样断裂发生在非工作部分,试验结果作废。

7.8 记录试验结果及试验过程中的异常情况。

## 8 试验方法及数据处理

### 8.1 通过性试验

#### 8.1.1 试验方法概述

通过性试验用于产品生产过程控制的随机抽样检验性试验。

#### 8.1.2 试样数量

每个检验批次制备试样至少 3 件。

#### 8.1.3 试验条件

试验条件一般为规定的应力水平,应力比  $R$ ,规定的循环次数,试验频率范围。应力水平、应力比和循环次数是由技术标准和技术协议规定的试验条件来确定。

#### 8.1.4 试验结果评定

在规定的试验条件下,如果同一检验批次疲劳试样 3 件全部达到指定循环次数而未断裂,则试验结果评定合格;如果其中任一试样断裂或断裂在非工作部分,则试验结果评定不合格。

## 8.2 疲劳寿命测定

### 8.2.1 试验方法概述

采用成组试验法,测定中寿命区某一应力水平下的中值疲劳寿命和规定存活率的疲劳寿命。

#### 8.2.2 试样数量

一组试样至少 3 件。每级应力水平需要重复的试样数量取决于试验数据的分散程度,应满足所要求的置信度。

### 8.2.3 中值疲劳寿命测定

在同一应力水平下,测定一组试样的疲劳寿命。当要求置信度  $\gamma$  时,应在试验过程中根据变异系数  $C_v = s/\bar{x}$  和给定的置信度  $\gamma$ ,参考附录 A 表 A.1,确定所需最少观测值个数。试验数据处理时,先将各个疲劳寿命取成对数疲劳寿命  $x_i = \lg N_i$ ,然后再进行计算。

子样平均值  $\bar{x}$  :

子样标准差  $s$  :

中值疲劳寿命  $N_{50}$ :

#### 8.2.4 规定存活率的疲劳寿命测定

规定存活率  $P$  的对数疲劳寿命  $x_P$  :

式中,存活率  $P$  对应的标准正态偏量  $u_P$  数值参考表 A.2,根据  $u_P$  的特性,当  $P \geq 50\%$  时取负值,当  $P < 50\%$  时取正值。

规定存活率  $P$  的疲劳寿命  $N_P$ :

注：如果用户或产品技术条件要求进行样本标准差修正或单侧容限系数修正，或采用疲劳试验因子 F 法评定疲劳寿命，可参照附录 B、附录 C 和附录 D 进行数据处理。

### 8.3 疲劳强度的测定

### 8.3.1 试验方法概述

采用升降试验法,测定长寿命区规定循环次数下的中值疲劳强度和规定存活率的疲劳强度。

### 8.3.2 试样数量

一般需要有效试样 15 件左右。每级应力水平需要重复的试样数量取决于试验数据的分散程度，应满足所要求的置信度  $\gamma$ 。

### 8.3.3 中值疲劳强度测定

升降试验法相邻两级应力水平的应力增量  $\Delta\sigma = \sigma_{i+1} - \sigma_i$  应为预计疲劳极限或中值疲劳强度的 3%~5%。应力水平级数取决于应力增量的大小和试验数据的分散程度,一般以 3~5 级为宜。第一件试样的试验应力水平应略高于预计疲劳极限或中值疲劳强度,随后试样的试验应力水平取决于前一试样的试验结果。凡前一试样未达到规定循环次数发生破坏,则随后的一次试验将在低一级的应力水平下进行;凡前一根试样达到规定循环次数未破坏,则随后的一次试验在高一级应力水平下进行,直至完成全部试验为止。对第一次出现相反结果以前的试验数据,在后续试验中可以使用一次。

中值疲劳强度  $\sigma_{50}$  :

式中：

$n$  ——有效试验总次数；

$m$  ——应力级数；

$\sigma_i$  ——第  $i$  级应力水平;

$V_i$  ——第  $i$  级应力水平的试验次数。

如果试验需要求出中值疲劳强度和标准差，则应将相邻应力水平的各数据点按一个断裂点(×)和一个未断裂点(○)配成一对，如果升降图是封闭的，则所有试验点都能配成对子，这时中值疲劳强度的估计量按式(7)计算，式(7)和式(6)计算的结果相同。

中值疲劳强度  $\sigma_{50}$ :

式中：

$n^*$  ——配成对子的总数,即试样数量  $n$  的一半;

$m^*$ ——配成对子的级数,即应力级数  $m$  减 1,即  $m^* = m - 1$ ;

$\sigma_i^*$ ——配成对子的应力水平 $(\sigma_i + \sigma_{i+1})/2$ ;

$V_i^*$ ——相邻两级配成的对子数。

标准差：

当要求置信度  $\gamma$  时, 应在试验过程中根据变异系数  $C_v = s/\bar{x} = s/\sigma_{50}$  和给定的置信度  $\gamma$ , 参考表 A.1 和表 A.2, 确定所需最少观测值个数。

### 8.3.4 规定存活率的疲劳强度测定

规定存活率  $P$  的疲劳强度：

式中,标准正态偏量  $u_P$  数值参见表 A.2。

注：如果用户或产品协议要求进行样本标准差修正或单侧容限系数修正，可参照附录 B 或附录 C 进行数据处理。

## 8.4 S-N 曲线测定

#### 8.4.1 单点 S-N 曲线测定

当试样件数或试验条件受到限制时,可采用单点法粗略的测定 S-N 曲线。试样数量 10 件左右。在中寿命区,应力水平不应少于 5 级。测定疲劳极限  $\sigma_N$  时,如果试样在第  $i$  级应力  $\sigma_i$  下,未达到规定的循环次数发生断裂,而在较低的第  $i+1$  级应力  $\sigma_{i+1}$  下未发生断裂,并且两级应力差值  $(\sigma_i - \sigma_{i+1})$  不超过  $\sigma_{i+1}$  的 5%,则  $\sigma_i$  与  $\sigma_{i+1}$  的平均值可为疲劳极限参考值,即:

#### 8.4.2 S-N 曲线和 P-S-N 曲线测定

#### 8.4.2.1 中寿命区线段

中寿命区线段,选取3~5级应力水平,采用成组试验测定中值疲劳寿命和规定存活率下疲劳寿命。

#### 8.4.2.2 长寿命区线段

长寿命区线段,在规定循环次数  $N$  下(例如: $N=1\times 10^7$ ),采用升降法试验测定中值疲劳强度和规

定存活率的疲劳强度；如果需要，也可以在规定其他循环次数  $N$  下（例如： $N = 5 \times 10^6$ ），采用升降试验法测定其中值疲劳强度和规定存活率下的疲劳强度。

### 8.4.2.3 S-N 曲线和 P-S-N 曲线拟合

在半对数坐标下,以应力  $\sigma$  为纵坐标,以循环次数  $N$  为横坐标(对数坐标  $\lg N$ )绘制 S-N 曲线和 P-S-N 曲线。在中寿命区,S-N 曲线和 P-S-N 曲线拟合表达式如式(11)和式(12):

式中,  $a$ 、 $b$  均为待定系数, 用最小二乘法求得。

### 8.5 Goodman 曲线测定

根据 8.3 和 8.4 测定数据或规定的应力水平指标绘制 Goodman 曲线(或等寿命-应力关系曲线)。在规定的循环次数下(例如: $N = 1 \times 10^7$ )下,由至少三个不同的应力比  $R$ (例如: $R = -1, 0.1, 0.5$ ),以及最大应力  $\sigma_{\max}$ 、最小应力  $\sigma_{\min}$ 、应力幅  $\sigma_a$  和平均应力  $\sigma_m$  绘制 Goodman 曲线。Goodman 曲线拟合表达式的二元一次方程组式(13)如下:

式中,  $A$ 、 $B$  和  $C$  均为待定系数, 用最小二乘法求得。

工程材料疲劳性能应满足式(14)的要求:

9 数值修约

- 9.1 力(单位:N)和应力(单位:MPa)修约到个位数。
  - 9.2 试样尺寸修约到 0.01 mm。
  - 9.3 试验频率修约到个位数。
  - 9.4 疲劳寿命或循环次数用  $10^n$  形式表示,保留三位有效数位,例如: $3.56 \times 10^5$ 。

## 10 试验报告

试验报告应包括下述内容：

- a) 本标准编号；
  - b) 型材合金牌号、状态、型号和批号等；
  - c) 试样类型、尺寸、取样方向和取样位置等；
  - d) 试验条件，包括：疲劳试验机型号、加载方式、应力水平、应力比、试验频率、试验波形和试验温度等；
  - e) 试验结束判据，循环次数( $N = 1 \times 10^7$ )，或试样失效，或其他判据；
  - f) 试验结果，包括：试验分析数据，可包括表达式和关系曲线图形等；
  - g) 试验人员、试验日期和试验单位；
  - h) 试验过程中的异常情况。

附录 A  
(资料性附录)  
数值表

表 A.1~表 A.5 给出了相关数值表。

表 A.1 规定置信度  $\gamma$  时,最少试样个数表( $P=50\%$ ,相对误差  $\delta=\pm 5\%$ )

变异系数 $C_V = \frac{s}{x}$ 小于		最少试样个数
$\gamma=95\%$	$\gamma=90\%$	
0.020 1	0.029 7	3
0.031 4	0.042 5	4
0.040 3	0.052 4	5
0.047 6	0.060 8	6
0.054 1	0.068 1	7
0.059 8	0.074 6	8
0.065 0	0.080 6	9
0.069 9	0.086 3	10
0.074 4	0.091 5	11
0.078 7	0.096 4	12
0.082 8	0.101 2	13
0.086 6	0.105 6	14
0.090 3	0.109 9	15
0.093 8	0.114 1	16
0.097 2	0.118 1	17
0.100 5	0.121 9	18
0.103 7	0.125 7	19
0.106 8	0.129 3	20

表 A.2  $P$  数值表

$u_P$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.500 0	0.504 0	0.508 9	0.512 0	0.516 0	0.519 9	0.523 9	0.527 9	0.531 9	0.535 9
0.1	0.539 8	0.543 8	0.547 8	0.551 7	0.555 7	0.559 6	0.563 6	0.567 5	0.571 4	0.575 3
0.2	0.579 3	0.583 2	0.587 1	0.591 0	0.594 8	0.598 7	0.602 6	0.606 4	0.610 3	0.614 1
0.3	0.617 9	0.621 7	0.625 5	0.629 3	0.633 1	0.636 8	0.640 6	0.644 3	0.648 0	0.651 7
0.4	0.655 4	0.659 1	0.662 8	0.666 4	0.670 0	0.673 6	0.677 2	0.680 8	0.684 4	0.687 9

表 A.2 (续)

$u_P$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.5	0.691 5	0.695 0	0.698 5	0.701 9	0.705 4	0.708 8	0.712 3	0.715 7	0.719 0	0.722 4
0.6	0.725 7	0.729 1	0.732 4	0.735 7	0.738 9	0.742 2	0.745 4	0.748 6	0.751 7	0.754 9
0.7	0.785 0	0.761 1	0.764 2	0.767 3	0.770 4	0.773 4	0.776 4	0.779 4	0.782 3	0.785 2
0.8	0.788 1	0.791 0	0.793 9	0.796 7	0.799 5	0.802 3	0.805 1	0.807 8	0.810 6	0.813 3
0.9	0.815 9	0.818 6	0.821 2	0.823 8	0.826 4	0.828 9	0.831 5	0.834 0	0.836 5	0.838 9
1.0	0.841 3	0.843 8	0.846 1	0.848 5	0.850 8	0.853 1	0.855 4	0.857 7	0.859 9	0.862 1
1.1	0.864 3	0.866 5	0.868 6	0.870 8	0.872 9	0.874 9	0.877 0	0.879 0	0.881 0	0.882 0
1.2	0.884 9	0.886 9	0.888 8	0.890 7	0.892 5	0.894 4	0.896 2	0.898 0	0.899 7	0.901 5
1.3	0.903 2	0.904 9	0.906 6	0.908 2	0.909 9	0.911 5	0.913 1	0.914 7	0.916 2	0.917 7
1.4	0.919 2	0.920 7	0.922 2	0.923 6	0.925 1	0.926 5	0.927 9	0.929 2	0.930 6	0.931 9
1.5	0.933 2	0.934 5	0.925 7	0.927 0	0.938 2	0.939 4	0.940 6	0.941 8	0.942 9	0.944 1
1.6	0.945 2	0.946 3	0.947 4	0.948 4	0.949 5	0.950 5	0.951 5	0.952 5	0.953 5	0.954 5
1.7	0.955 4	0.956 4	0.957 3	0.958 2	0.959 1	0.959 9	0.960 8	0.961 6	0.962 5	0.963 3
1.8	0.964 1	0.964 9	0.965 6	0.966 4	0.967 1	0.967 8	0.968 6	0.969 3	0.969 9	0.970 6
1.9	0.971 3	0.971 9	0.972 6	0.973 2	0.973 8	0.974 4	0.975 0	0.975 6	0.976 1	0.976 7
2.0	0.977 2	0.977 8	0.978 3	0.978 8	0.979 3	0.979 8	0.980 3	0.980 8	0.981 2	0.981 7
2.1	0.982 1	0.982 6	0.983 0	0.983 4	0.983 8	0.984 2	0.984 6	0.985 0	0.985 4	0.985 7
2.2	0.986 1	0.986 4	0.986 8	0.987 1	0.987 5	0.987 8	0.988 1	0.988 4	0.988 7	0.989 0
2.3	0.989 3	0.989 6	0.989 8	0.990 1	0.990 4	0.990 6	0.990 9	0.991 1	0.991 3	0.991 6
2.4	0.991 8	0.992 0	0.992 2	0.992 5	0.992 7	0.992 9	0.993 1	0.993 2	0.993 4	0.993 6
2.5	0.993 8	0.994 0	0.994 1	0.994 3	0.994 5	0.994 6	0.994 8	0.994 9	0.995 1	0.995 2
2.6	0.995 3	0.995 5	0.995 6	0.995 7	0.995 9	0.996 0	0.996 1	0.996 2	0.996 3	0.996 4
2.7	0.996 5	0.996 6	0.996 7	0.996 8	0.996 9	0.997 0	0.997 1	0.997 2	0.997 3	0.997 4
2.8	0.997 4	0.997 5	0.997 6	0.997 7	0.997 7	0.997 8	0.997 9	0.997 9	0.998 0	0.998 1
2.9	0.998 1	0.998 2	0.998 2	0.998 3	0.998 4	0.998 4	0.998 5	0.998 5	0.998 6	0.998 6
3.0	0.998 7	0.998 7	0.998 7	0.998 8	0.998 8	0.998 9	0.998 9	0.998 9	0.999 0	0.999 0
3.1	0.999 0	0.999 1	0.999 1	0.999 1	0.999 2	0.999 2	0.999 2	0.999 2	0.999 3	0.999 3
3.2	0.999 3	0.999 3	0.999 4	0.999 4	0.999 4	0.999 4	0.999 4	0.999 5	0.999 5	0.999 5
3.3	0.999 5	0.999 5	0.999 5	0.999 6	0.999 6	0.999 6	0.999 6	0.999 6	0.999 6	0.999 7
3.4	0.999 7	0.999 7	0.999 7	0.999 7	0.999 7	0.999 7	0.999 7	0.999 7	0.999 7	0.999 8

表 A.3  $t_\alpha$  数值表

自由度	$\alpha$						
	0.90	0.50	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
2	0.142	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.137	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.134	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.132	0.727	1.476	2.015	2.671	3.365	4.032
6	0.131	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	4.707
7	0.130	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.130	0.708	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.129	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.129	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.129	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.128	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.128	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.128	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.128	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.128	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.128	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.127	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.127	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.127	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.127	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.127	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.127	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.127	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.127	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.127	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.127	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.127	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.127	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.127	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750

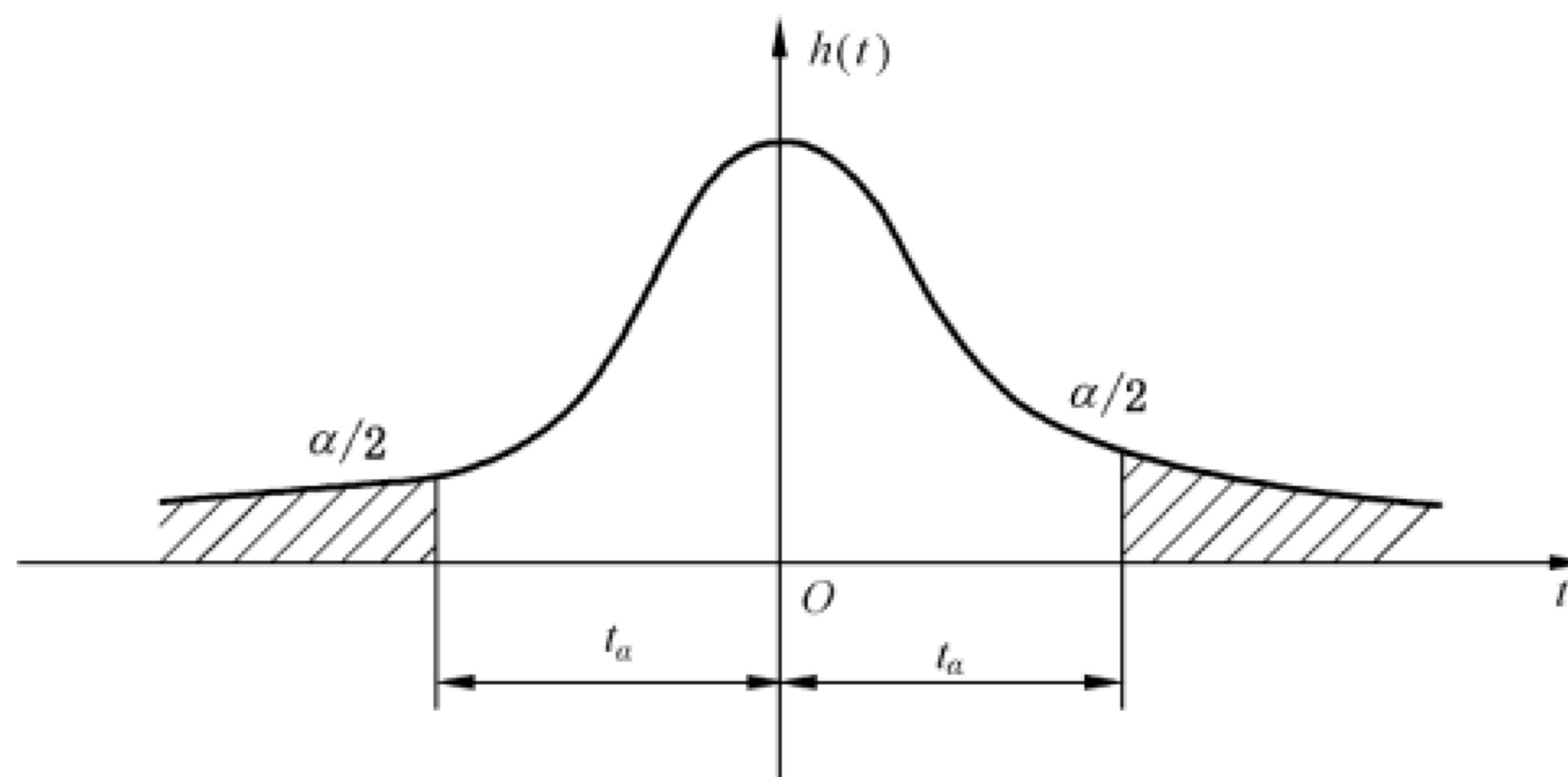


表 A.4 不同自由度相应的  $\chi^2$  分布 0.95 分位数

自由度	$\chi^2_{0.95}$	自由度	$\chi^2_{0.95}$
1	3.84	16	26.30
2	5.99	17	27.59
3	7.81	18	28.87
4	9.49	19	30.14
5	11.07	20	31.41
6	12.59	21	32.67
7	14.07	22	33.92
8	15.51	23	35.17
9	16.92	24	36.42
10	18.31	25	37.65
11	19.68	26	38.88
12	21.03	27	40.11
13	22.36	28	41.34
14	23.68	29	42.56
15	25.00	30	43.77

表 A.5  $k_P$  数值表

$n$	$k_P$
3	3.871 5
4	2.993 7
5	2.664 2
6	2.492 6
7	2.386 4
8	2.314 1
9	2.261 7
10	2.218 9
11	2.189 5
12	2.165 9
13	2.145 4
14	2.128 2
15	2.114 0

## 附录 B

### (资料性附录)

按照正态分布母材标准差  $\sigma$ :

式中：

$s$  ——子样标准差；

$\beta$ ——子样标准差修正系数,  $\beta$  值查表 B.1。

规定存活率  $P$  的  $x_P$ :

式中:母材均值  $\mu \approx X$ ,子样平均值  $\bar{X}$ ,由此得:

表 B.1  $\beta$  数值表

$n(n^*)$	5	6	7	8	9	10	11	12
$\beta$	1.063	1.051	1.042	1.036	1.031	1.028	1.025	1.023
$n(n^*)$	13	14	15	16	17	18	19	20
$\beta$	1.021	1.020	1.018	1.017	1.016	1.015	1.014	1.014

## 附录 C (资料性附录)

单侧容限系数修正方法,规定存活率  $P = 97.5\%$ ,置信度  $\gamma = 95\%$  的疲劳强度  $\sigma_{(P=97.5\%, \gamma=95\%)}$ ,按式(C.1)、式(C.2)计算:

$$k_{(P, 1-\alpha/2, n^*-1)} = k_1 k_2 + k_3 = Z_{(1-\alpha/2)} \sqrt{\frac{n^*}{\chi^2_{(\alpha/2, n^*-1)}}} + \frac{t_{(1-\alpha/2, n^*-1)}}{\sqrt{n^*}}$$

.....( C.2 )

式中：

$\alpha$  ——误差限度；

$\gamma$  ——置信度,  $\gamma = (1 - \alpha)\%$ ;

$n^*$  ——升降法试验对子个数；

$s^*$  —— 对子标准差。

Z(即  $u_P$ )、 $\chi^2$  和  $t$  值分别参见正态分布表 A.2、 $\chi^2$  分布表 A.4 和  $t_a$  分布表 A.3。 $k_{(P, 1-\alpha/2, n^*-1)}$  值的部分计算结果(即  $k_P$  值)列入表 A.5。

# 附录 D

## (资料性附录)

在规定的应力水平和循环次数  $N_0 = 10^7$  条件下, 存活率  $P = 97.5\%$  的疲劳寿命评定方法, 疲劳寿命  $N$  应符合式(D.1)要求:

式中：

$F$ ——疲劳试验因子,  $F$  查表 D.1。

表 D.1 疲劳试验因子  $F$  数值表

N	试样数量/件							
	1	2	4	6	8	9	10	100
N <sub>mean</sub>	3.80	3.12	2.73	2.55	2.48	2.44	2.40	2.09
N <sub>min</sub>	3.80	2.67	2.01	1.75	1.60	1.54	1.54	0.91