

航空金属材料  
疲劳性能手册

北京航空材料研究所

1981



# 航空金属材料疲劳性能手册

北京航空材料研究所

1981

## 内 容 简 介

本手册提供96条航空金属材料S-N曲线和28幅等寿命曲线，简短扼要地介绍了疲劳统计分析基础知识和疲劳试件的制备、疲劳试验方法及其数据处理，还附录了国外26幅等寿命曲线。手册可供飞机设计、生产和使用等部门工程技术人员进行疲劳设计和疲劳性能测试时使用，也可供一般机械制造业、冶金工业从事疲劳工作的人员参考使用。同时，还可作为高等工院校、中等技术学校的参考书。

## 前 言

为了对产品进行疲劳设计、估算寿命，及对载荷谱的编制提供有关数据，并且为了衡量材质的疲劳性能，需对各种金属材料进行疲劳性能测试。但是，过去我国未曾系统地开展此项工作，缺少这方面较完整的资料。为此由北京航空材料研究所和北京航空学院共同组织了十八个单位，协作完成了航空常用金属材料疲劳性能的测试工作。试验数据经有关科研、生产、使用和高等院校等四十五个单位参加的技术鉴定会审查通过后汇编成这一手册。

手册汇集了十一种航空常用金属材料的96条 S-N 曲线和28幅等寿命曲线。所用试件包括光滑试件和各种缺口试件。试验是在不同应力比或不同平均应力下进行的。为了保证数据的可靠性，各单位统一了试件图纸及加工工艺，校正了试验机的动态负荷并根据我国实际情况基本统一了试验方法和数据处理方法。

为了便于从事疲劳工作人员使用或学习上的方便，手册还简要介绍了疲劳试件的制备、疲劳试验方法及其数据处理。并以附录的形式提供了33幅本手册试验所用试件图纸和26幅国外航空金属材料等寿命曲线。

参加这项试验研究工作的单位有：

北京航空材料研究所、北京航空学院、六〇二处、国营五七〇三厂、洪都机械厂、飞机结构强度研究所、红原锻铸厂、红安机械厂、彤辉机械厂、峨嵋机械厂、黎明机械厂、松陵机械厂、伟建机械厂、云马机械厂、惠阳机械厂、六〇一研究所、六一一研究所、六〇二研究所等。

本手册编辑小组的成员有：高镇同、刘志静、贾国荣、郭洪全、范世民、鲁君乾，由高镇同主编。

# 目 录

## 前 言

<b>第一部分 试验方法及数据处理</b> .....	( 1 )
一 符号和术语 .....	( 1 )
二 疲劳试件及其制备 .....	( 4 )
三 疲劳统计分析基础知识 .....	( 23 )
四 常规试验方法 .....	( 48 )
五 升降法 .....	( 61 )
六 安全寿命和p-S-N曲线的测定 .....	( 67 )
附表 .....	( 86 )
<b>第二部分 试验数据和图表</b> .....	( 97 )
一 LY12CZ 铝合金板材(轴向加载) .....	( 97 )
二 LY12B铝合金预拉伸厚板 (轴向加载).....	(106)
三 LY12CS 铝合金板材 (轴向加载).....	(122)
四 LY12CZ 阳极化铝合金板材 (轴向加载).....	(128)
五 LY12CZ 铝合金板材 (轴向加载).....	(130)
六 LC9 高强度铝合金棒材 (轴向加载).....	(137)
七 LC9 高强度铝合金过时效板材 (轴向加载).....	(142)
八 LC4 高强度铝合金板材 (轴向加载).....	(152)
九 LD10CS 铝合金棒材 (轴向加载).....	(164)
十 MB15 镁合金棒材 (旋转弯曲).....	(167)
十一 18Cr2Ni4WA 钢棒材 (旋转弯曲).....	(169)
十二 40CrNiMoA钢棒材(旋转弯曲) .....	(171)
十三 40CrNiMoA钢棒材(旋转弯曲) .....	(173)
十四 40CrNiMoA钢棒材(轴向加载) .....	(176)
十五 GC-4钢棒材(轴向加载) .....	(180)
十六 30CrMnSiNi2A钢锻压板 (轴向加载) .....	(191)
十七 30CrMnSiNi2A钢棒材 (轴向加载) .....	(200)
十八 30CrMnSiNi2A钢棒材 (轴向加载) .....	(209)
十九 30CrMnSiNi2A钢板材 (轴向加载) .....	(212)
二十 30CrMnSiA钢棒材(轴向加载) .....	(214)
二十一 30CrMnSiA钢锻件(旋转弯曲) .....	(217)
二十二 45*钢棒材(轴向加载).....	(223)

第三部分 附录 .....	(227)
一 试验用疲劳试件图 .....	(227)
二 国外航空金属材料等寿命曲线 .....	(236)
1 2024-T4 铝合金各种锻件等寿命曲线 .....	(237)
2 2024-T3 铝合金光滑试件等寿命曲线 .....	(238)
3 2024-T3铝合金缺口 ( $K_t = 1.5$ )试件等寿命曲线.....	(239)
4 2024-T3铝合金缺口 ( $K_t = 2$ )试件等寿命曲线.....	(240)
5 2024-T3铝合金缺口 ( $K_t = 4$ )试件等寿命曲线.....	(241)
6 2024-T3铝合金缺口 ( $K_t = 5$ )试件等寿命曲线.....	(242)
7 7075-T6铝合金各种锻件等寿命曲线 .....	(243)
8 7075-T6铝合金光滑试件等寿命曲线 .....	(244)
9 7075-T6铝合金缺口 ( $K_t = 1.5$ )试件等寿命曲线.....	(245)
10 7075-T6铝合金缺口 ( $K_t = 2$ )试件等寿命曲线.....	(246)
11 7075-T6铝合金缺口 ( $K_t = 4$ )试件等寿命曲线.....	(247)
12 7075-T6铝合金缺口 ( $K_t = 5$ )试件等寿命曲线.....	(248)
13 固溶处理和时效的Ti-6Al-4V钛合金 (厚板) 纵向试件室温时的等寿命 曲线 .....	(249)
14 退火的Ti-6Al-4V钛合金 (挤压件) 缺口试件在600°F时的等寿命曲线 .....	(250)
15 固溶处理和时效的Ti-6Al-4V钛合金 (薄板) 在800°F时的等寿命曲线.....	(251)
16 热处理的 AISI4340 合金钢 (棒) $\sigma_b = 125$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> 时的等寿命曲线 .....	(252)
17 热处理的 AISI4340 合金钢 (棒) $\sigma_b = 150$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> 时的等寿命曲线 .....	(253)
18 热处理的 AISI4340 合金钢(棒) $\sigma_b = 260$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> 时的等寿命曲线 .....	(254)
19 热处理的 AISI4340 合金钢(棒) $\sigma_b = 150$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> , 600°F时的等寿命曲线 .....	(255)
20 热处理的 AISI4340 合金钢(棒) $\sigma_b = 150$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> , 800°F时的等寿命曲线 .....	(256)
21 热处理的 AISI4340 合金钢(棒) $\sigma_b = 150$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> , 1000°F时的等寿命 曲线 .....	(257)
22 300M合金钢光滑试件 $\sigma_b = 280$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> 时的等寿命曲线 .....	(258)
23 300M合金钢光滑试件 (脱碳并喷丸) $\sigma_b = 280$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> 时的等寿命曲线.....	(259)
24 300M合金钢缺口试件 ( $K_t = 2$ ) $\sigma_b = 280$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> 时的等寿命曲线 .....	(260)
25 300M合金钢缺口试件 ( $K_t = 3$ ) $\sigma_b = 280$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> 时的等寿命曲线 .....	(261)
26 300M合金钢缺口试件 ( $K_t = 5$ ) $\sigma_b = 280$ 千磅/英寸 <sup>2</sup> 时的等寿命曲线 .....	(262)

# 第一部分 试验方法及数据处理

## 一、符号和术语

本手册所使用的疲劳试验及其统计分析的名词和术语，参照了美国国家标准协会和美国材料试验学会1972年制定、1979年重新获准的文件“关于疲劳试验和疲劳数据统计分析的标准定义和名词” (ANSI/ASTM E206-72, Reapproved 1979)。所用符号采用了“国际标准化组织”推荐的符号。

### 1. 强度方面

循环应力——泛指随时间作周期性变化的应力。本手册中的试验数据都是在稳态的循环应力作用下取得的。

最大应力  $\sigma_{\max}$  ——在应力循环中具有最大代数值的应力(见图1-1-1)。以拉应力为正；压应力为负。

最小应力  $\sigma_{\min}$  ——在应力循环中具有最小代数值的应力(见图1-1-1)。以拉应力为正；压应力为负。

平均应力  $\sigma_m$  ——最大应力和最小应力的代数平均值(见图1-1-1)，即

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

应力幅  $\sigma_a$  ——最大应力和最小应力的代数差的一半(见图1-1-1)，即

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

$\sigma_a$  永为正值。

应力比  $R$  ——最小应力与最大应力的代数比值，即

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

对称循环——平均应力等于零( $\sigma_m = 0$ )的应力循环。此时， $\sigma_{\min} = -\sigma_{\max}$ ， $R = -1$  (见图1-1-2)。

脉动循环——最小应力等于零( $\sigma_{\min} = 0$ )的应力循环。此时， $R = 0$  (见图1-1-3)。

非对称循环——除对称循环外的应力循环统称非对称循环(见图1-1-1)。

应力水平——应力水平由一对应力分量 $\sigma_{\max}$  和  $\sigma_{\min}$  来确定。在给定应力比  $R$  或平均应力

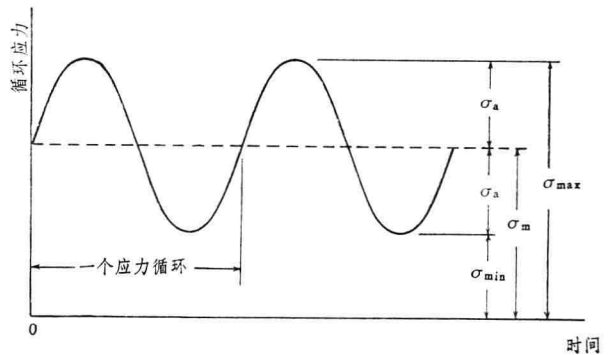


图 1-1-1 非对称循环

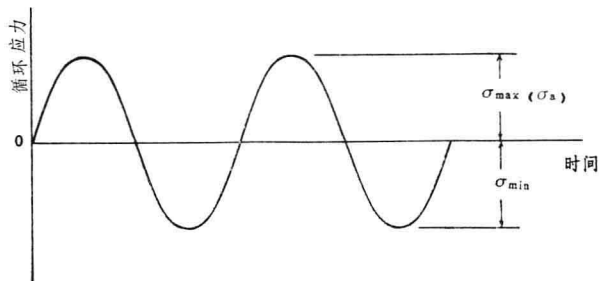


图 1-1-2 对称循环



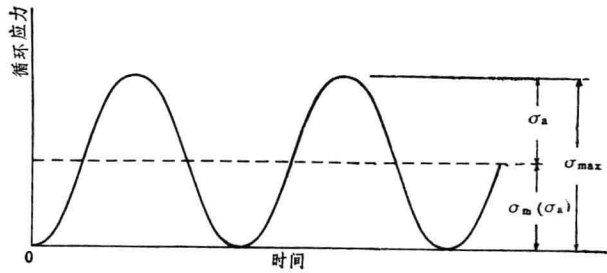


图 1-1-3 脉动循环

$\sigma_m$ 的条件下，应力水平可用最大应力 $\sigma_{max}$ 或应力幅 $\sigma_a$ 表示。应力水平的高低取决于试件破坏循环数的多少。破坏循环数越多，表示施加的应力水平越低。

循环载荷——随时间作周期性变化的载荷(见图1-1-4)。

最大载荷  $P_{max}$ ——在载荷循环中具有最大代数值的载荷(见图1-1-4)。对于轴向加载，以拉伸载荷为正；压缩载荷为负。

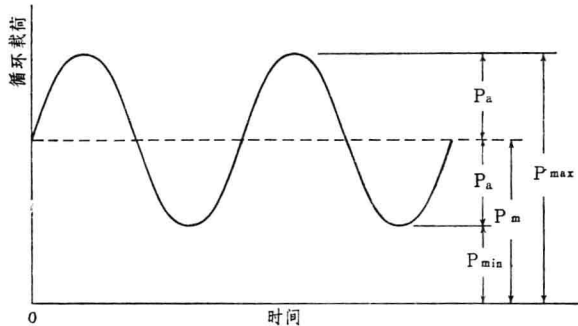


图 1-1-4

最小载荷  $P_{min}$ ——在载荷循环中具有最小代数值的载荷(见图1-1-4)。对于轴向加载，以拉伸载荷为正；压缩载荷为负。

平均载荷  $P_m$ ——最大载荷和最小载荷的代数平均值(见图1-1-4)，即

$$P_m = \frac{P_{max} + P_{min}}{2}$$

载荷幅值  $P_a$ ——最大载荷和最小载荷的代数差的一半(见图1-1-4)，即

$$P_a = \frac{P_{max} - P_{min}}{2}$$

载荷幅值永为正。

局部应力——在圆角、孔洞、沟槽等缺口处，根据弹性力学理论或实验应力分析方法确定的最大正应力 $\sigma_{max}^*$ 或最大剪应力 $\tau_{max}^*$ 。

名义应力——根据材料力学方法，不计缺口处几何形状不连续性的影响，按净截面面积计算出的正应力 $\sigma_n$ 或剪应力 $\tau_n$ 。

静拉伸破坏载荷	$P_b$
材料强度极限	$\sigma_b$
试件强度极限	$\sigma_{bh}$
屈服极限	$\sigma_s$
条件屈服极限	$\sigma_{0.2}$
延伸率(短标距)	$\delta_5$
延伸率(长标距)	$\delta_{10}$
截面收缩率	$\psi$
洛氏硬度	HRC
布氏硬度	HB
试验频率	f

应力集中系数  $K_t$ ——局部应力与名义应力的比值，即

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}^*}{\sigma_n} \text{ 或 } K_t = \frac{\tau_{\max}^*}{\tau_n}$$

加载系数  $K$ ——最大载荷  $P_{\max}$  与破坏载荷  $P_b$  的比值，或最大应力  $\sigma_{\max}$  与强度极限  $\sigma_b$  的比值，即

$$K = \frac{P_{\max}}{P_b} \quad K = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_b}$$

## 2. 疲劳统计方面

疲劳寿命  $N$ ——在指定的应力水平下，试件疲劳破坏前所经受的应力循环数，即破坏循环数。

对数疲劳寿命  $\lg N$ ——疲劳寿命  $N$  的对数值， $X = \lg N$ 。

母体——研究对象的全体。

个体——母体中的一个基本单位。

子样(样本)——母体包含的个体为数众多，甚至近似无限多。为了推断母体的性质，常从母体中抽取一部分个体来研究，这些被抽取出来的一部分个体称为“子样”。

子样大小(样本容量)  $n$ ——子样所包含的个体的数目，即一个试验组中观测值的个数。

子样平均值  $\bar{x}$ ——一个试验组中各个观测值  $x_i$  的平均值，即

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

它是母体平均值的估计量。

子样中值——如果一个试验组中的观测值为奇数，则子样中值就是所有观测值按大小顺序排列居于正中间的数值。如果观测值为偶数，则子样中值是两个居于中间数值的平均值。它是母体中值的估计量。

子样方差  $s^2$ ——一个试验组中各观测值  $x_i$  与子样平均值  $\bar{x}$  之差的平方之和除以  $n-1$ ，即

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

它是母体方差的估计量。

子样标准差(子样均方根差)  $s$ ——子样方差的平方根。它是母体标准差的估计量。

母体参数——确定母体频率分布的一些常数(通常是未知的),如母体平均值和母体标准差。

母体平均值  $\mu$ ——当子样大小 $n$ 增加时,子样平均值将越来越接近母体平均值。

母体方差  $\sigma^2$ ——当子样大小 $n$ 增加时,子样方差将越来越接近母体方差。

母体标准差  $\sigma$ ——母体方差的平方根。

疲劳寿命 $N_p$ 的存活率  $p$ ——母体中个体疲劳寿命大于疲劳寿命 $N_p$ 的概率。

具有存活率 $p$ 的疲劳寿命  $N_p$ —— $N_p$ 的含义是,母体中有 $p$ 的个体疲劳寿命大于 $N_p$ 。当 $p$ 取较高数值时,如99%、99.9%等,则 $N_p$ 常称做“安全寿命”。

具有存活率 $p$ 的对数疲劳寿命  $x_p$ ——含义与前类似。

疲劳寿命 $N_p$ 的破坏率  $P$ ——母体中个体疲劳寿命小于疲劳寿命 $N_p$ 的概率。它与存活率之间存在如下关系

$$P + p = 1$$

中值疲劳寿命  $N_{50}$ ——具有50%存活率的疲劳寿命。它的含义是,母体中有50%个体疲劳寿命大于 $N_{50}$ ;有50%个体疲劳寿命小于 $N_{50}$ 。

$p$ -S-N曲线——以应力为纵坐标,以存活率 $p$ 的疲劳寿命为横坐标所绘出的曲线,即存活率——应力——疲劳寿命曲线。作图时,疲劳寿命采用对数标尺,或者应力和疲劳寿命均采用对数标尺。

中值 S-N 曲线——以应力为纵坐标,以中值疲劳寿命为横坐标所绘出的曲线,即50%存活率的 S-N 曲线,通常简称“S-N 曲线”。作图时,疲劳寿命采用对数标尺,或者应力和疲劳寿命均采用对数标尺。

N 次循环时的中值疲劳强度——指定寿命为 N 次循环的中值(50%存活率)应力水平。

疲劳极限——指定“循环基数”下的中值疲劳强度。循环基数为一很大数值。对于 S-N 曲线具有水平线段的材料循环基数取 $10^7$ 。对于 S-N 曲线无水平线段的材料,循环基数取 $10^7 \sim 10^8$ 。如不特别注明,材料疲劳极限指平均应力为零时的情况。

自由度  $\nu$ ——见第三章 4 节。

显著度  $\alpha$ ——见第三章 12 节。

置信度  $\gamma$ ——见第三章 12 节。

与存活率相关的标准正态偏量  $U_p$ ——见第三章 8 节。

与置信度相关的标准正态偏量  $U_\gamma$ ——见第六章 8 节。

单侧容限系数  $k$ ——见第六章 8 节。

## 二、疲劳试件及其制备

### 1. 概述

进行疲劳试验时,首先遇到的问题是选择何种类型的试件。这主要是由试验目的决定的。疲劳试件大体上可分为两类:一类是形状简单、尺寸较小的典型“试件”;另一类是实际零构件或局部模拟的元件。本章所讨论的是属于前一类的试件。典型试件又可分为“光滑试件”和“缺口试件”两种。光滑试件指的是在试验段内几乎没有应力集中的试件;而缺口试件则是在试验段内人为地制造有应力集中的试件。

所谓“应力集中”，就是在试件外形突然变化或材料不连续的地方所发生的应力局部增大的现象。如图1-2-1所示，三个板件受拉时沿截面 $m-n$ 的应力分布情况。(a)为带有中心圆孔的薄板；(b)为半圆形边缘缺口的薄板；(c)为带有圆角的薄板。可以看到，当这些板件受拉时，在缺口(包括圆孔、圆角等)处，存在有很大的局部应力 $\sigma_{\max}^*$ 。但稍微离开缺口的地方，应力的变化趋于缓和。在离缺口较远处的截面 $m'-n'$ 上，应力基本上是均匀分布的。

在载荷 $P$ 作用下，根据“材料力学”方法，按净截面积计算出的应力 $\sigma_n$ ，称为“名义应力”。如板厚为 $\delta$ ，则名义应力为

$$\sigma_n = \frac{P}{b\delta}$$

局部应力 $\sigma_{\max}^*$ 是根据“弹性力学”方法计算出的。在很多情况下，由于理论计算比较复杂，因此，常常利用“光测弹性力学”方法直接测量出来。局部应力 $\sigma_{\max}^*$ 与名义应力 $\sigma_n$ 的比值 $K_t$ ，叫做“应力集中系数”：

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}^*}{\sigma_n} \quad (2-1)$$

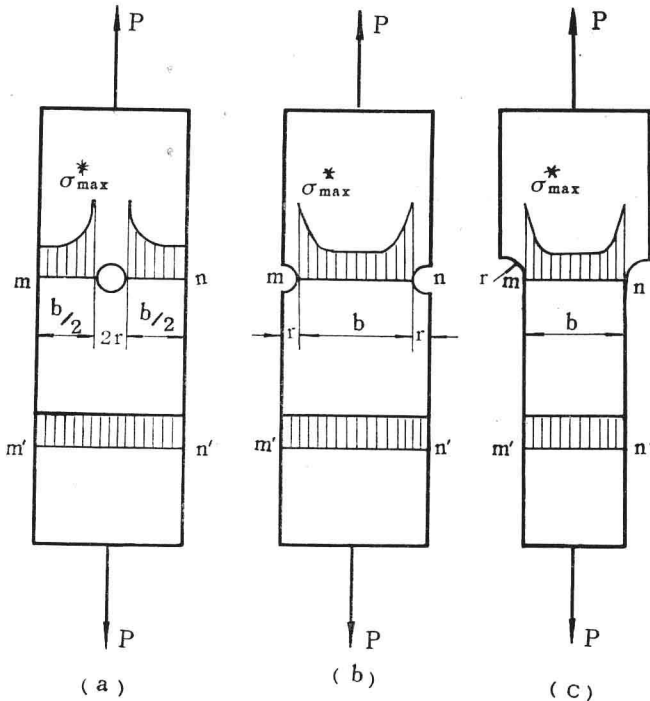


图 1-2-1

应力集中的程度可用应力集中系数表示。缺口半径或圆角半径 $r$ 越小、 $K_t$ 越大，表示应力集中越严重。对于试件的光滑平直部分， $K_t = 1$ 。对于图1-2-1(a)和(b)所示的带有圆孔和半圆缺口的板件，当 $r \ll b$ 时， $K_t \approx 3$ ，表明局部应力大约是名义应力的三倍。

对于塑性材料制成的试件，在静力作用下，应力集中对强度一般没有什么影响。因为，具有局部应力的不均匀分布的情况，只能维持到屈服阶段以前。当局部应力达到屈服应力时，虽然载

荷 $P$ 继续增加, 但已屈服部分的应力不再增加。而同一截面上未屈服部分的应力还不断地增加, 以负担增大的了载荷。这些部分的应力的不断增加, 将会赶上那些已经屈服部分的应力。最后, 会使整个截面上的应力趋于均匀化。这就是在静强度计算中为什么不考虑应力集中的理由。

应力集中对疲劳强度则影响极大, 并且是各种影响因素中起主要作用的因素。因为在循环应力作用下, 一直到破坏以前, 应力基本上处于弹性范围, 所以, 在应力集中区常常存在有较高的局部应力。大量的破坏事件和试验研究都指出, 疲劳源(疲劳裂纹的起始部位)总是出现在应力集中处。根据铝合金板材在对称循环轴向载荷作用下的试验结果, 当对称循环最大应力为抗拉强度极限的一半时, 光滑试件的疲劳寿命, 大约是缺口试件( $K_t = 4$ )的疲劳寿命的一千倍。众所周知, 表面光洁度对疲劳强度有很大影响。促使疲劳强度降低的根本原因, 就是加工后表面缺陷引起的应力集中所致。

光滑试件的试验目的, 主要是为了了解材料在各种条件下的疲劳性能。然而, 实际构件或多或少地存在有应力集中, 所以, 材料疲劳性能的好坏, 在很大程度上取决于对缺口的敏感性, 即在有应力集中的情况下疲劳强度降低的程度如何。因此, 近年来, 广泛地采用缺口试件进行疲劳试验。其目的除了用于鉴定材料的疲劳性能外, 还可为疲劳设计的寿命估算提供必要的资料。

所有试件都是由试验段、夹持部分及二者之间的过渡区这三部分组成。夹持部分的形状必须根据试验机夹头的要求来设计, 不宜作统一的规定。但有些原则是必须遵守的。为了避免在夹持部分破坏, 试件夹持端的截面要做得足够大。夹持部分的长度, 在机器夹头允许的条件下, 应尽可能长一些, 以减少机器夹头和夹持部分之间的挤压应力。特别是, 夹持部分必须平直, 并且要保证与试验段截面的同心度, 否则试验时就可能造成附加应力, 从而引起试件过早地破坏。为了防止断口发生在试验段和夹持端之间的过渡区, 此处需要采用较大的圆角半径, 以减小应力集中。对光滑试件, 特别要注意这一点。

由于疲劳试件的形状、尺寸和表面光洁度对疲劳性能都有不同程度的影响, 因此, 为了保证疲劳试验结果具有“可比性”和“再现性”, 本章推荐一些经常采用的典型试件及其制备方法, 以供参考。

## 2. 光滑试件

光滑试件的形状主要取决于施加载荷的类型, 一般可分为下列四种

- (1) 轴向加载试件(拉——拉试件, 拉——压试件);
- (2) 平面弯曲试件;
- (3) 旋转弯曲试件;
- (4) 扭转试件。

它们之中又有棒材和板材之分, 以下分别简称为“光滑圆试件”和“光滑板试件”。

图1-2-2和图1-2-3所示的试件中间没有等直段, 试验段和过渡区由同一个半径为 $R$ 的圆弧构成。试件危险截面的尺寸根据材料的强度和机器所能施加的载荷来选定。

图 1-2-2 为承受轴向载荷的圆试件, 其圆弧半径 $R$ 和最小直径 $d$ 的关系列于表2-1中。此种试件轴向加载的应力集中系数 $K_t < 1.03$ 。该试件也可用作扭转疲劳试验的试件。

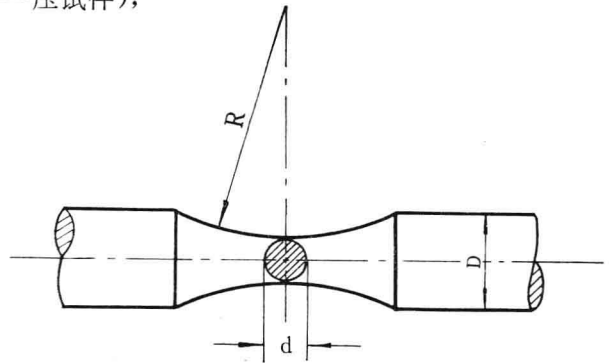


图1-2-2 轴向加载光滑圆试件

表 2—1 光滑圆试件试验段尺寸

$d$ (毫米)	$R = 8d$ (毫米)
6	48
10	80
13	104

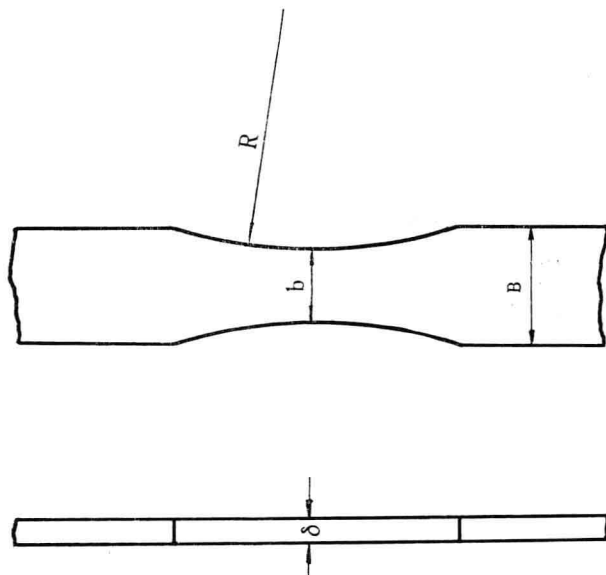


图1-2-3 轴向加载光滑板试件

图1-2-3为轴向加载光滑板试件。其最小截面宽度 $b$ 与板厚 $\delta$ 的关系以及圆弧半径 $R$ 与宽度的关系列于表2-2中，此种试件轴向加载的应力集中系数 $K_t < 1.03$ 。

表 2—2 光滑板试件试验段尺寸

$\delta$ (毫米)	$b$ (毫米)	$R = 10b$ (毫米)
1	10	100
2	15	150
3	15	150
4	15	150
5	15	150
7.5	15	150
10	20	200

图1-2-4为悬臂式平面弯曲疲劳试件。这种试件一般是矩形截面，试验段做成等强度，即沿试件轴线方向应力是不变的。载荷加在由试验段斜边延线所形成的三角形顶点上。

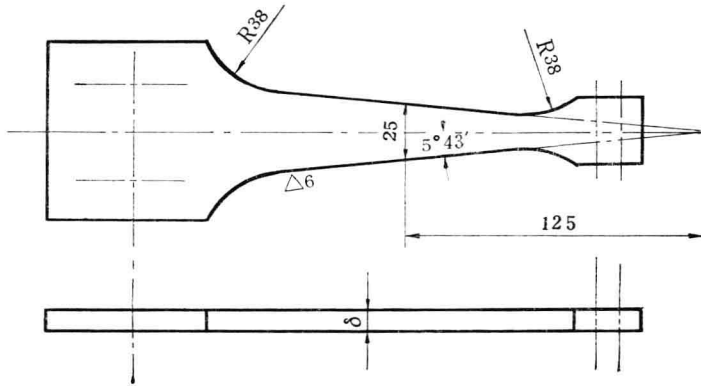


图 1-2-4 悬臂式平面弯曲疲劳试件

图 1-2-5 为悬臂式旋转弯曲疲劳试件。试验段是按等强度观点设计的，理论外形是一条三次曲线，但实际上是用两条直线代替。两端用圆角过渡，以保证断口不发生在过渡区。并且沿试验段长度应力基本相同，因此，有多个危险截面。

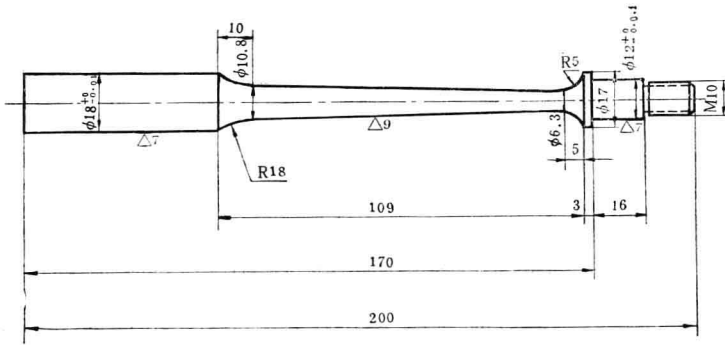


图 1-2-5 悬臂式旋转弯曲疲劳试件（多危险截面）

图 1-2-6 也是悬臂式旋转弯曲疲劳试件。但试验段是圆弧形，危险剖面只有一个，在最小直径处。其弯曲应力集中系数  $K_t < 1.03$ 。

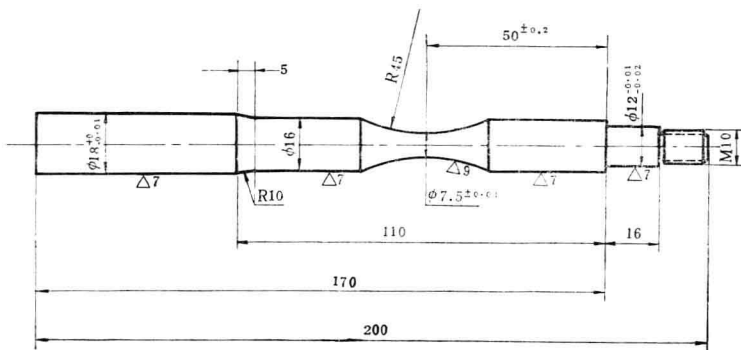


图 1-2-6 悬臂式旋转弯曲疲劳试件（单危险截面）

图1-2-7为悬臂式旋转弯曲小试件。对于贵重金属或取材受到限制时，常常采用此种小型试件。其弯曲应力集中系数 $K_t < 1.03$ 。

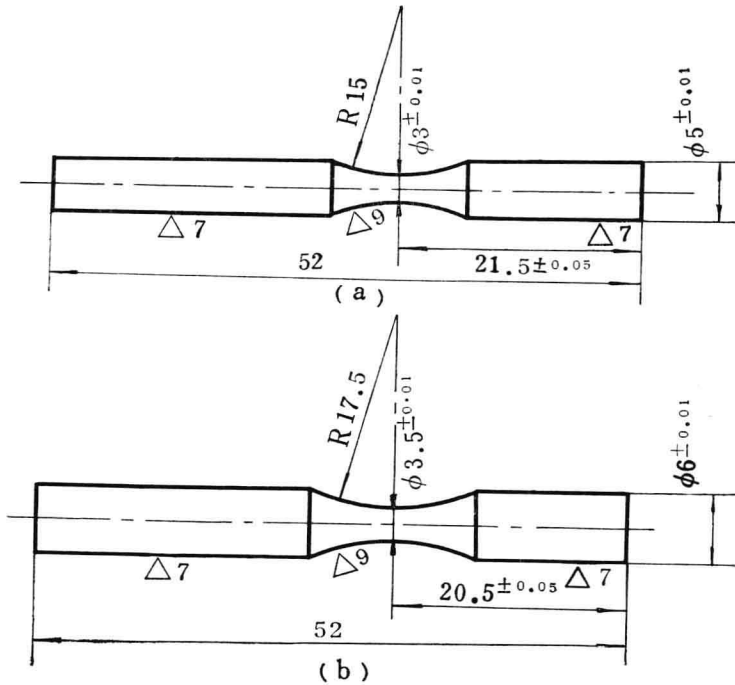


图 1-2-7 悬臂式旋转弯曲小试件

图1-2-8为纯弯式旋转弯曲疲劳试件。用于双支点梁形式的旋转弯曲疲劳试验机。试验段是等直的，由于在试验段内弯矩不变，因此试验段内各截面上的应力也是相等的。但由于在过渡区圆弧处受应力集中的影响，断口容易发生在过渡区内，因此对这部分加工要特别注意。

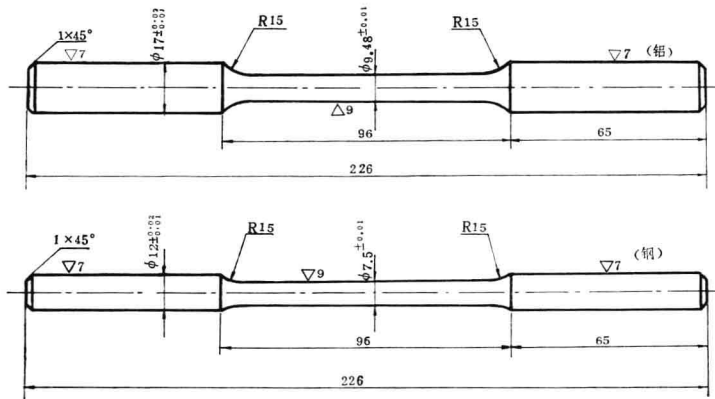


图 1-2-8 纯弯式旋转弯曲疲劳试件

### 3. 缺口试件

对于带有边缘缺口，中心圆孔和沟槽等的试件，统称做“缺口试件”。



缺口试件的疲劳性能主要取决于缺口处的应力集中系数  $K_t$  值，与试件缺口形式关系不大。一些试验已经证实 对于形状不同但  $K_t$  值相等的缺口， $S-N$  曲线基本相近，因而这个  $K_t$  可以看作是缺口试件的特征值。

缺口试件也分为板试件和圆试件两类，分别由板材和棒材制成。试件形式的设计一般都不做统一规定。本章推荐了几种典型的缺口试件，供做参考。此外，还可以根据实际需要，利用附图 1-2-1 至附图 1-2-9 给出的应力集中系数  $K_t$  值，自行设计各种  $K_t$  的缺口试件。

### (1) 板试件

图 1-2-9 所示 U 形缺口板试件适应于拉—拉疲劳试验。它是边缘缺口板试件最普通的形式，加工制造比较方便。其试验段尺寸及  $K_t$  值的关系列于表 2-3 中。对于此种试件，当取  $B/b \approx 1.5$  时，即使尺寸  $b$  的大小不十分准确，对  $K_t$  值也没有什么影响。但缺口底部圆角半径  $r$  对  $K_t$  的影响则很大，因此加工时必须注意。

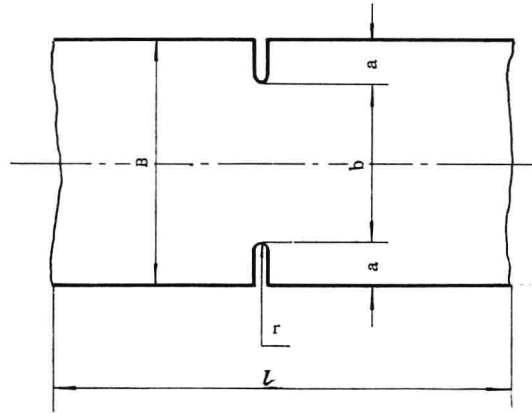


图 1-2-9 U 形缺口板试件

表 2-3 U 形缺口板试件试验段尺寸

$B$ (毫米)	$b$ (毫米)	$a$ (毫米)	$l \approx 4.5B$ (毫米)	$r$ (毫米)	$K_t$
30	20	5.0	135	5.3	2
30	21	4.5	135	1.5	3
30	20	5.0	135	0.75	4
57	38	9.5	256	10	2
57	38	9.5	256	3.5	3
56	38	9.0	252	1.4	4

注： $l$ ——试验段长度（不包括夹持部分）

有中心圆孔的板试件(图 1-2-10)是常用的一种缺口试件，可以用于轴向加载疲劳试验。对于  $K_t = 2.5$  的试验段尺寸列于表 2-4 中。