

中华人民共和国国家标准

GB/T 15248—2008
代替 GB/T 15248—1994

金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法

The test method for axial loading constant-amplitude
low-cycle fatigue of metallic materials

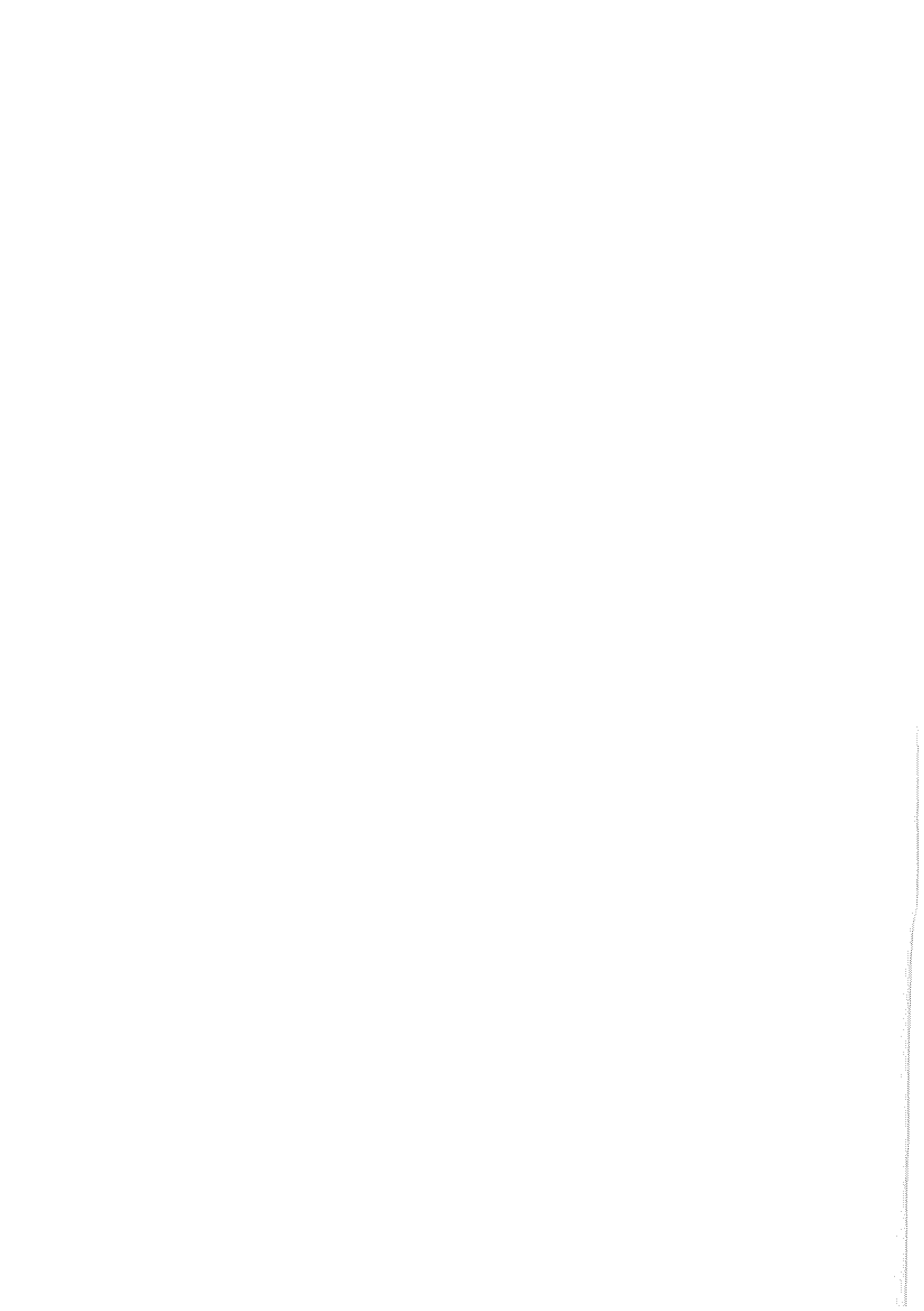
2008-04-09 发布

2008-10-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布



前 言

本标准代替 GB/T 15248—1994《金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法》。

本标准与 GB/T 15248—1994《金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法》相比,主要变化如下:

- 将标准的适用范围从适用于“与时间有关的非弹性应变和与时间无关的非弹性应变相比小得可以忽略不计的温度和应变速率下试验”改为适用于“时间相关的非弹性应变和时间无关的非弹性应变相比较小或与之相当的温度和应变速率”下的试验;
- 删除原附录 C“带过渡圆弧试样应变范围修正”及正文中标距内带圆弧的试样及其相关内容;
- 删除使用差动变压器和上、下引伸杆组成的引伸计系统示意图;
- 在数据处理中推荐采用循环弹性模量进行计算,增加了与循环弹性模量相关的符号和说明;
- 对图、表、设备、试样、试验环境、记录和失效判定等中的部分技术内容进行了修改;
- 将原标准中表述可能引起分歧的部分及文字错误进行了修改。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 和附录 D 均为资料性附录。

本标准由中国航空工业第一集团公司提出。

本标准由中国航空工业第一集团公司归口。

本次标准起草单位:北京航空材料研究院、中国科学院金属研究所、北京钢铁研究总院。

本标准主要起草人:钟斌、张国栋、何玉怀、金磊、李骋、谢济洲、段作祥、侯静泳。

本标准代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 15248—1994。

金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法

1 范围

本标准规定了金属材料轴向等幅低循环疲劳试验的设备、试样、试验程序、试验结果的处理及试验报告等。

本标准适用于金属材料等截面和漏斗形试样承受轴向等幅应力或应变的低循环疲劳试验,不包括全尺寸部件、结构件的试验。适用于时间相关的非弹性应变和时间无关的非弹性应变相比较小或与之相当的温度和应变速率。允许在温度、压力、湿度、介质等环境因素下进行试验,但这些因素在整个试验过程中应保持恒定。

注:本标准可作为材料研制、机械设计、工艺和质量控制、产品性能测定和失效分析时低循环疲劳试验的指南。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 10623 金属力学性能试验术语

GB/T 12160 单轴试验用引伸计的标定

JJG 556 轴向加荷疲劳试验机检定规程

3 符号

本标准使用的符号、名称、单位和说明见表1。

表1 符号、名称、单位和说明

符号	名 称	单 位	说 明
$\Delta\epsilon_t$	总应变范围	mm/mm	在一次循环中,最大和最小应变的代数差,即: $\Delta\epsilon_t = \epsilon_{\max} - \epsilon_{\min}$
$\Delta\epsilon_t/2$	应变幅	mm/mm	应变范围的一半
ϵ_{\max}	最大应变	mm/mm	在一次循环中,应变的最大代数值。拉伸为正,压缩为负
ϵ_{\min}	最小应变	mm/mm	在一次循环中,应变的最小代数值
$\Delta\epsilon_e$	弹性应变范围	mm/mm	等于应力范围除以弹性模量,即: $\Delta\epsilon_e = \Delta\sigma/E$
$\Delta\epsilon_p$	塑性应变范围	mm/mm	取总应变范围与弹性应变范围之差,即: $\Delta\epsilon_p = \Delta\epsilon_t - \Delta\epsilon_e$
$\Delta\sigma$	循环应力范围	MPa	在一次循环中,最大应力和最小应力的代数差,即: $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$
$\Delta\sigma/2$	应力幅	MPa	应力范围的一半
σ_{\max}	最大应力	MPa	在一次循环中,应力的最大代数值
σ_{\min}	最小应力	MPa	在一次循环中,应力的最小代数值
R_σ	应力比	—	$R_\sigma = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$
R_ϵ	应变比	—	$R_\epsilon = \epsilon_{\min} / \epsilon_{\max}$
N_f	失效循环数	周	到达失效的循环次数
$2N_f$	失效反向数	反向数	到达失效的反向次数

表 1 (续)

符号	名称	单位	说明
b	疲劳强度指数	—	$\lg(\Delta\sigma/2) - \lg 2N_f$ 或 $\lg(\Delta\epsilon_p/2) - \lg 2N_f$ 曲线的斜率
c	疲劳延性指数	—	$\lg(\Delta\epsilon_p/2) - \lg 2N_f$ 曲线的斜率
σ'_f	疲劳强度系数	MPa	取 $\lg(\Delta\sigma/2) - \lg 2N_f$ 曲线上 $2N_f = 1$ 处的纵坐标截距
ϵ'_f	疲劳延性系数	—	取 $\lg(\Delta\epsilon_p/2) - \lg 2N_f$ 曲线上 $2N_f = 1$ 处的纵坐标截距
K'	循环强度系数	MPa	$\lg(\Delta\sigma/2) - \lg(\Delta\epsilon_p/2)$ 曲线上 $\Delta\epsilon_p/2 = 1$ 处的纵坐标截距
n'	循环应变硬化指数	—	$\lg(\Delta\sigma/2) - \lg(\Delta\epsilon_p/2)$ 曲线的斜率
E	弹性模量	MPa	在弹性范围内,应力与应变的比值,采用单调拉伸或物理方法测得
E^*	循环弹性模量	MPa	在循环加载条件下,按照特定要求测得的弹性范围内的应力与应变的比值。可按 8.1.1 中的方法测得
E_{ST}	拉伸卸载模量	MPa	第 N 次循环中,从峰值拉应力卸载时测得的弹性模量
E_{SC}	压缩卸载模量	MPa	第 N 次循环中,从谷值压应力卸载时测得的弹性模量

4 术语和定义

GB/T 10623 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

4.1

应力/应变-寿命曲线 stress/strain-life curve

应力/应变范围与到达失效反向数的关系曲线。

注:用一组试样,选取若干个应力或应变值,分别测定其到达失效的循环数,然后画出 $\Delta\sigma/2 - 2N_f$ 或 $\Delta\epsilon_p/2 - 2N_f$ 曲线,如图 1 和图 2 所示。根据关系式 $\Delta\sigma = \Delta\epsilon_p E$, $\Delta\epsilon_p/2 - 2N_f$ 曲线还可处理成图 3 形式,其函数关系式参见附录 A。在确定 $\Delta\sigma/2$ 时,若无明显的循环稳定值,则取 $N_f/2$ 时的应力范围。

4.2

应力-应变迟滞回线 stress-strain hysteresis loop

一次循环中的应力-应变关系曲线,如图 4 所示。

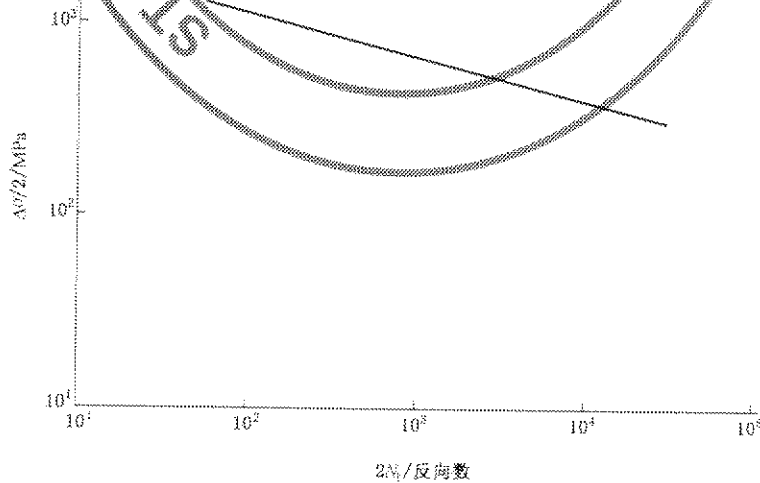


图 1 $\Delta\sigma/2 - 2N_f$ 曲线

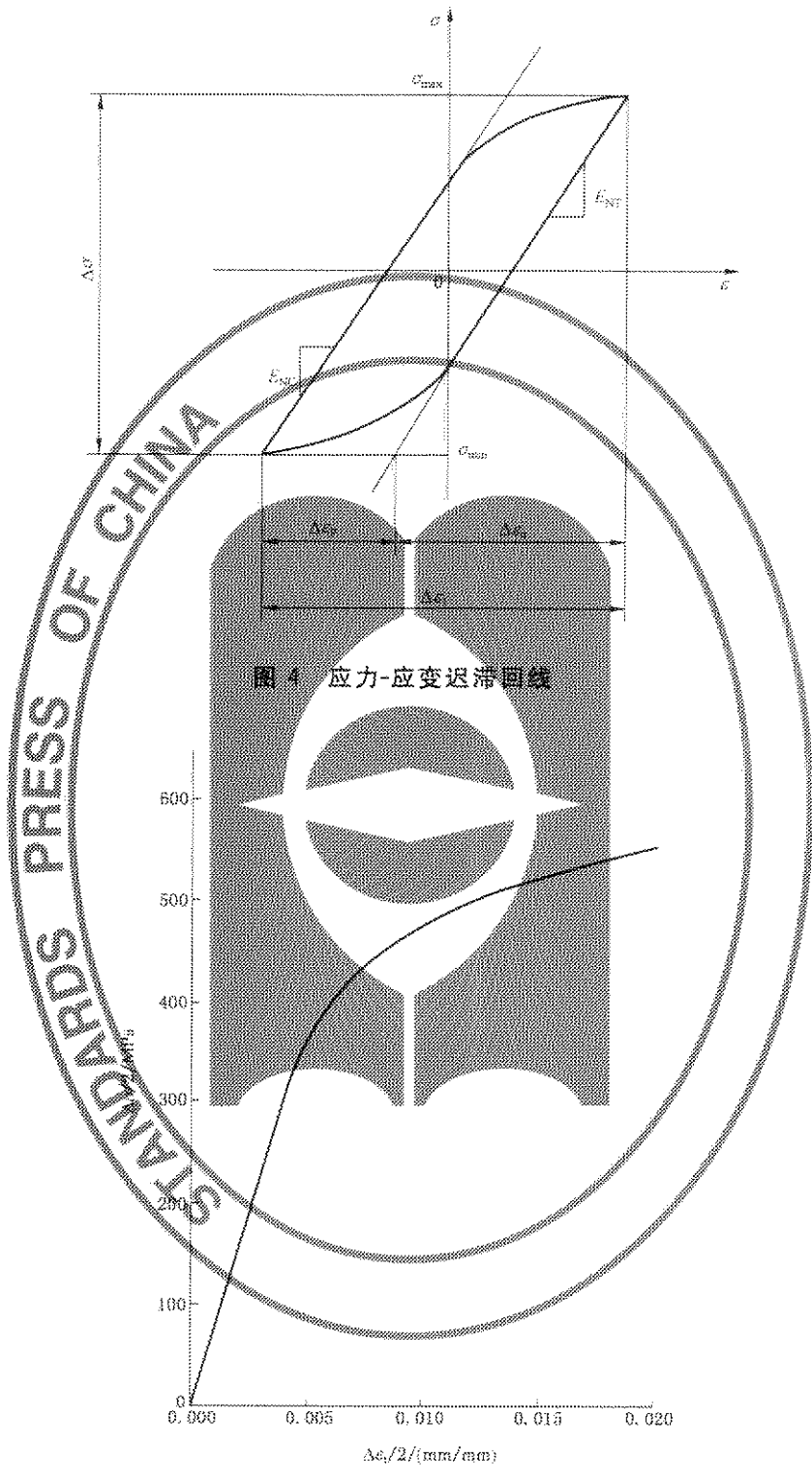


图 4 应力-应变迟滞回线

图 5 循环应力-应变曲线

4.5

循环软化 cyclic softening

在循环加载过程中,当控制应变恒定时,应力随循环数的增加而降低,然后渐趋稳定的现象。

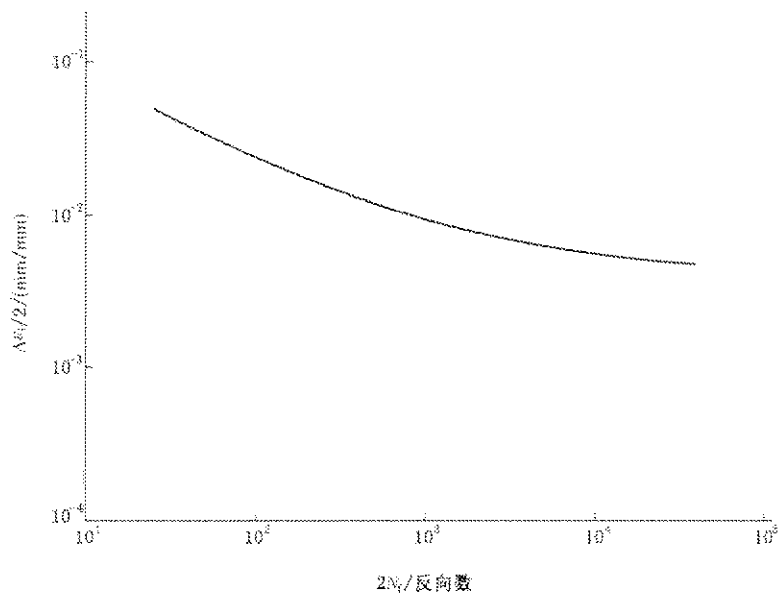


图 2 $\Delta\epsilon_t/2-2N_f$ 曲线

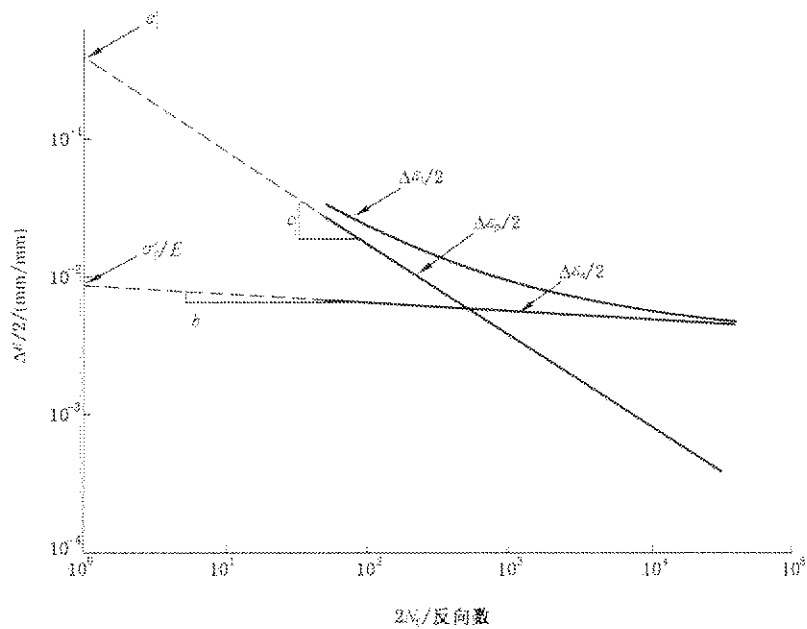


图 3 $\Delta\epsilon_t/2, \Delta\epsilon_e/2, \Delta\epsilon_p/2-2N_f$ 曲线

4.3

循环应力-应变曲线 cyclic stress-strain curve

在不同总应变范围下得到的一系列稳定迟滞回线顶点的轨迹,如图 5 所示。也可用稳定应力幅和塑性应变幅在双对数坐标上作出的关系曲线表示,如图 6 所示,相应的函数关系式参见附录 A。

注:循环应力-应变曲线与一次应力-应变曲线进行比较,是判断金属材料循环硬化或循环软化的标志。一般采用多试样法获得,如条件不允许,也可采用应变范围自小到大的单试样增级试验法获得。

4.4

循环硬化 cyclic hardening

在循环加载过程中,当控制应变恒定时,其应力随循环数增加而增加,然后渐趋稳定的现象。

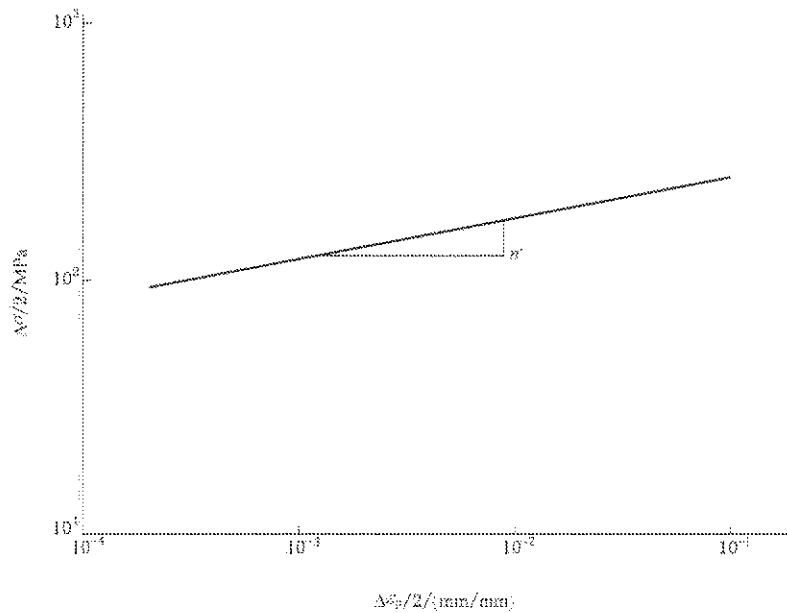


图6 $\Delta\sigma/2-\Delta\varepsilon_p/2$ 曲线

5 设备

5.1 试验机

- 5.1.1 任何能控制载荷和变形的低循环疲劳试验机均可使用。
- 5.1.2 试验机的静载荷按 JJG 556 进行定期检定。其系统误差不大于±1%，偏差不大于1%。
- 5.1.3 关于应力或应变控制的稳定性。相继两循环的重复性应在所试应力或应变范围的1%以内，或平均范围的0.5%以内，整个试验过程应稳定在2%以内。

5.2 夹具

- 5.2.1 连接试样的夹头可采用任何方式，如螺纹或带台肩等。但试验时试样与夹头和试验机的连接应固紧，以免载荷换向时试样与夹头松动或造成间隙。
- 5.2.2 高温试验应对夹具进行冷却，以防止载荷链中的其他元件如力传感器等受到损坏。通常采用水冷装置。应注意水冷装置的使用不应影响力传感器的检定和载荷链的同轴度。
- 5.2.3 应有良好的同轴度。采用标定试样，在其中部圆周上均匀分布4片阻值相同的应变片，在试样的弹性范围内，测量其弯曲变形率。测量时重复3次，然后转动90°再测。其弯曲变形率应在5%范围内。弯曲变形率(PBS)按公式(1)~公式(4)计算：

$$PBS = \frac{\sqrt{(g_{1,3})^2 + (g_{2,4})^2}}{g_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$g_0 = (g_1 + g_2 + g_3 + g_4)/4 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$g_{1,3} = [(g_1 - g_0) - (g_3 - g_0)]/2 = (g_1 - g_3)/2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$g_{2,4} = [(g_2 - g_0) - (g_4 - g_0)]/2 = (g_2 - g_4)/2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

g_1, g_2, g_3, g_4 ——分别为四个应变片3次测得的应变平均值。

5.3 应变引伸计

5.3.1 应变引伸计应适合于长时间内动态测量和控制,测量试样标距长度内的变形时,测量精度应不低于 $\pm 1\%$ 。

5.3.2 应变引伸计采用机械式的和光电式的(如光电或激光的)。根据所用试样选取轴向的或径向的应变引伸计,如图7、图8所示。安装引伸计时应格外小心,以防损伤试样表面出现过早断裂。

5.3.3 按 GB/T 12160 单轴试验用引伸计的标定定期检定。

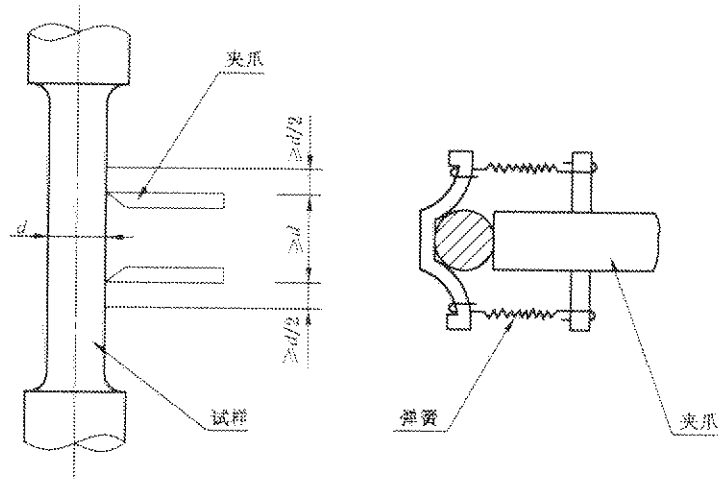


图7 轴向引伸计测量示意图

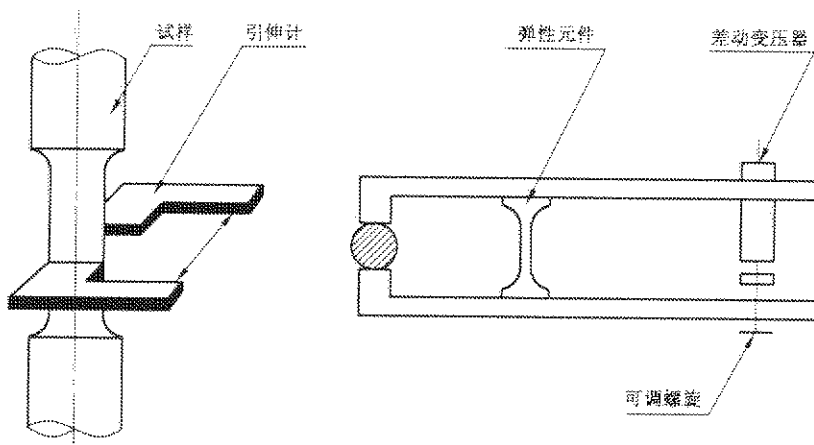


图8 径向引伸计测量示意图

5.4 数据采集与记录系统

5.4.1 数据记录的准确度应保持在满量程的1%以内。

5.4.2 推荐采用电子计算机数据采集系统对载荷、变形及循环次数等试验数据进行采集和存储。数据采集的频率应满足清楚记录应力-应变迟滞回线的需要,采集和存储的数据可随时绘制曲线或传输至打印机。

5.4.3 在条件不具备时,可使用 X-Y 记录仪或带照相功能的示波器记录载荷-变形或应力-应变迟滞回线;使用循环计数器记录总的循环数,并附带一计时器,以便对循环计数器和频率进行检验。

5.4.4 使用漏斗形试样进行径向应变控制的低循环疲劳试验时,试验采集的是径向应变信号,推荐使用应变计算机将径向应变和轴向应力转换成轴向应变。其转换原理和关系式见附录 B。

6 试样

6.1 试样设计

6.1.1 概述

试样设计应保证其受载时正常工作,不致失稳,并使试样断在有效工作段。推荐采用如图9所示的试样。

6.1.2 圆形截面试样

6.1.2.1 图9a)为等截面试样,通常选用该试样。图9b)为漏斗形试样,选用时应根据材料的各向异性和抗弯性进行斟酌。等截面试样通常用于约2%以内的总应变范围,大于2%总应变范围的试验,建议采用漏斗形试样。关于漏斗形试样的曲率半径与试样最小半径之比,一般为12:1,若有特殊需要,可使用8:1和16:1范围内的各种比例。较低的比值会使应力集中增加,可能影响疲劳寿命。较高的比值会降低试样的抗弯能力。当材料是各向异性时,应采用等截面试样。

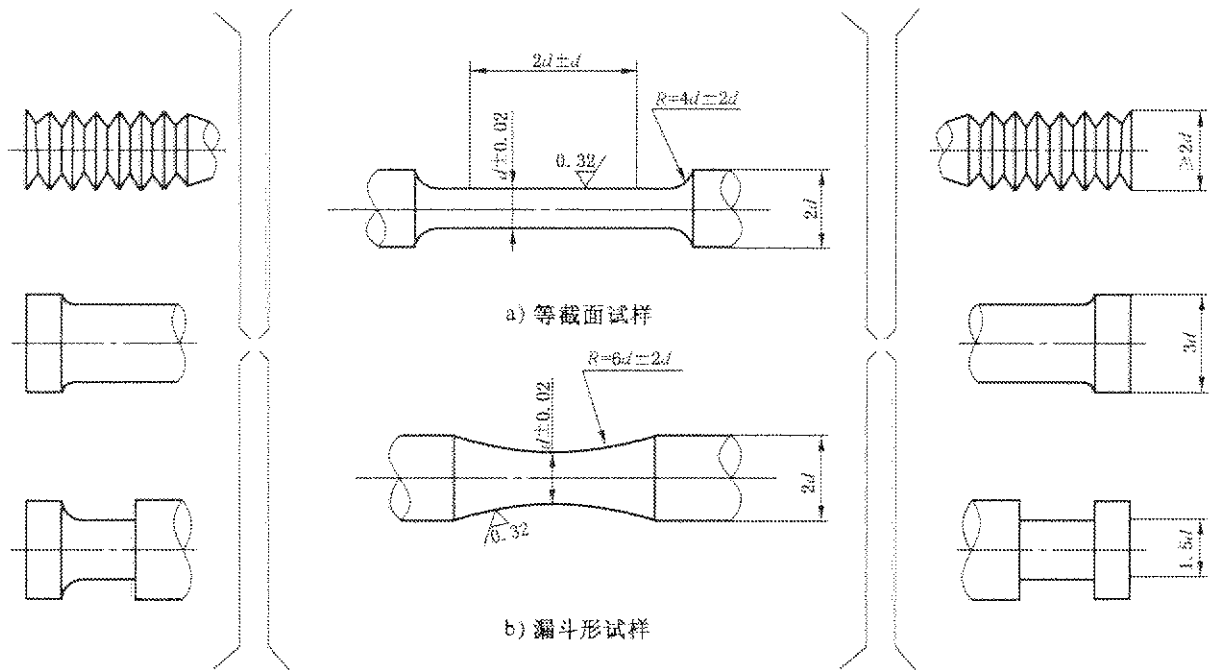


图9 推荐的低循环疲劳试样

6.1.2.2 推荐工作部分的最小直径为5 mm。

6.1.2.3 试样的头部根据所用夹具和材料来选择。高温下由于螺纹局部氧化而粘结时,建议采用带台肩试样头部或加防粘结剂。

6.1.3 板材试样

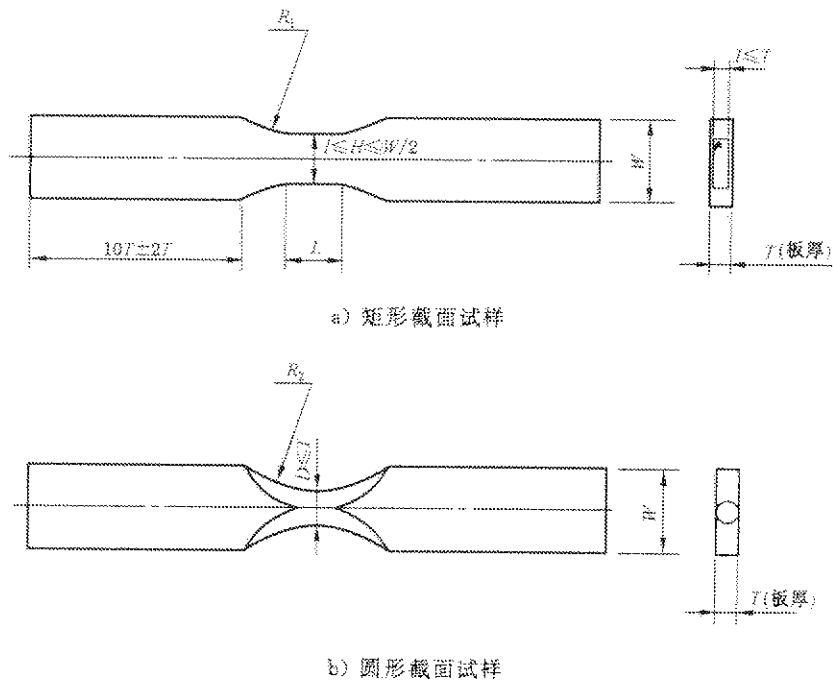
对于板材试样,一般来说,板厚小于6 mm时可采用如图10所示的试样,但应有特殊夹持装置。

图10a)所示的矩形横截面试样适合于2.5 mm板厚、施加1%总应变幅值。对于较高的应变幅,建议采用图10b)中所示的圆形截面漏斗形试样。

6.1.4 非标准试样

在本标准范围内,试样也可设计成管状试样或直径小于5 mm的圆形截面试样。建议轴向应变控制等截面试样的标距长度与工作部分直径之比不大于4;试样夹持部分的截面积与工作部分截面积之比不小于4。试样工作部分与夹持部分的同轴度应在0.01 mm以内。

可以根据具体情况,采用其他形状的试样进行试验,但应在试验报告中说明。



a) 矩形截面试样

b) 圆形截面试样

$$L = 3T \pm T/2; R_1 = 2T \pm T/2; W = 4T \pm T;$$

$$D \geq 2.5 \text{ mm}; 2.5 \text{ mm} \leq I \leq T; R_2 = 6D \pm 2D$$

图 10 低循环疲劳板材试样

6.2 试样的制备与储存

6.2.1 试样应从均质的原材料或毛坯上切取,以便统计地表征材料的性能。当材料条件允许时,根据试验目的可以从构件和所要求的轧制方向上切取试样。

6.2.2 试样经热处理后试验时,则先经热处理再加工成试样。若热处理后硬度过高,难于机加工,可先进行粗加工,热处理后再进行精加工。但其毛坯应包括最后加工余量及热处理时可能引起挠曲的尺寸。

6.2.3 试样在整个制作过程中,除试验目的在于测定特定表面条件对疲劳的影响外,不应使金属受冷作硬化或过热作用。推荐采用一致的机械加工而使其表面光洁度高而均匀,以及采用使表层金属畸变最小的机加工或抛光工艺作为最后工序。附录 C 提供了机加工方法实例。

6.2.4 试样精加工后,应仔细清洗,立即防护,妥善保存,以防试样变形、表面损伤和腐蚀。

7 试验程序

7.1 试验环境

7.1.1 室温试验时,应对室温进行检测和记录。超出 $10^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ 范围的温度应在报告中说明。

7.1.2 高温试验时试样工作部分的温度波动应不大于 $\pm 2^\circ\text{C}$,标距长度内的温度梯度应在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 或试验温度的 1% (两者取较大值)以内,否则应在报告中说明。其他要求应根据双方要求进行协议。

7.1.3 高温试验可采用高频感应炉、辐射炉或电炉加热。为使试样温度均匀,应有足够的保温时间。使用前两种方法时,建议在炉子和试样之间设一个均热屏。

7.1.4 在空气中进行试验时,应对湿度进行监测和记录。

7.2 试样尺寸的测量

为准确计算试样的横截面积,应采用读数精度不低于 0.01 mm 的测量仪器来测量试样尺寸。对于等截面试样应在标距长度内至少两个不同位置进行测量。

7.3 试验机的控制

7.3.1 根据试验目的,试验时可以控制一个或几个变量,并同时监测其他变量随循环的变化。

7.3.2 低循环疲劳试验中,一般控制总应变范围。根据试验要求也可控制非弹性应变范围。对于低延性材料和较长寿命的低循环疲劳试验,其非弹性应变范围很小,若能保持所要求的应变范围,又能对其载荷范围进行定期调整时,也允许控制载荷。

7.3.3 为了实现能连续控制所规定的试验变量,一般采用闭环控制疲劳试验机。若使用非连续可控的试验机,则应严格控制所用变量的极限。

7.3.4 对于各向异性材料,如定向凝固、单晶材料等,应采用轴向应变控制。

7.3.5 除试验目的是研究起始加载效应外,所有试验应以相同的拉伸或压缩半循环开始。

7.4 波形

7.4.1 除试验目的是测定波形的影响外,在整个试验过程中,应变或应力对时间波形应保持一致。在无特定要求或设备受限制时,一般采用三角波。

7.4.2 带保持时间的高温低循环疲劳试验采用梯形波,试验按附录 D 进行。

7.5 应变速率或循环频率

7.5.1 除试验目的是测定应变速率或循环频率的影响外,试验的应变速率或循环频率应保持不变。一般来说恒定的应变速率更常用,而恒循环频率试验对于某些机械零件的疲劳分析可能更切合实际。

7.5.2 若由于设备的限制使用非三角波,不能进行恒定应变速率试验,或者由于时间的限制不能进行恒频率试验时,则可采用其他的速率控制方法。通常采用恒定的平均应变速率(应变范围和频率乘积的两倍)。当试验采用非弹性应变控制时,最合适的方法是保持平均非弹性应变速率恒定。

7.5.3 选用的应变速率或频率范围应确保试样温度升高不超过 2℃。试验机控制系统的能力和精度要求,以及引伸计的响应频率是限制试验速率或频率的两个重要因素。所用实际频率值应在试验报告中注明。

7.6 记录

若使用计算机数据采集系统,应按适当的间隔(如 1, 2, 5, 10, 20, ……)连续记录循环应力-应变数据。若无计算机数据采集系统,则可使用 X-Y 记录仪记录应力-应变迟滞回线。对于循环数超过 100 的试验,允许进行间断记录或抽样,除了记录最初的迟滞回线外,还应记录不少于 10 个的迟滞回线。条件许可时还应记录随时间而变化的其他相关变量。

7.7 失效判定

7.7.1 根据试验目的和所试材料特性确定失效标准。可选择的判定标准如下:

- a) 试样断裂;
- b) 最大载荷或应力或拉伸卸载弹性模量降低一定百分数;
- c) 试样表面出现可检测裂纹时,当此裂纹增长到符合试验目的要求的某一预定尺寸;
- d) 拉伸卸载弹性模量 E_{NT} 与压缩卸载弹性模量 E_{NC} 的比值 q_N (即 E_{NT}/E_{NC}) 降低至首个循环的 50% (即 $q_{N_1} = 0.5q_1$) 时;
- e) 迟滞回线的压缩部分出现拐点,拐点的数值 σ_c , 即峰值压应力减去压缩加载曲线拐点处的应力,达到峰值压应力的某一规定百分数,如图 11 所示。

7.7.2 当试验要求规定或条件允许时,试验除按预定的失效外,可一直进行到试样断裂。

7.8 有效性判定

等截面试样断在标距长度内,或漏斗形试样断在最小直径附近,方为有效。若断在其他位置,或在断口上发现有杂质、孔洞或机加工缺陷等情况,则结果无效。

注:若试样总断在同一位置,则可能是同轴度问题或引伸计安装造成的“刀口”断裂,应予以纠正。

7.9 试样数量

7.9.1 测定应力/应变-寿命曲线时,一般需 12~15 根试样,选取几级应力或应变水平,分别测定其失效循环数。若要求进行统计分析时,则应按试验目的确定试样数量。

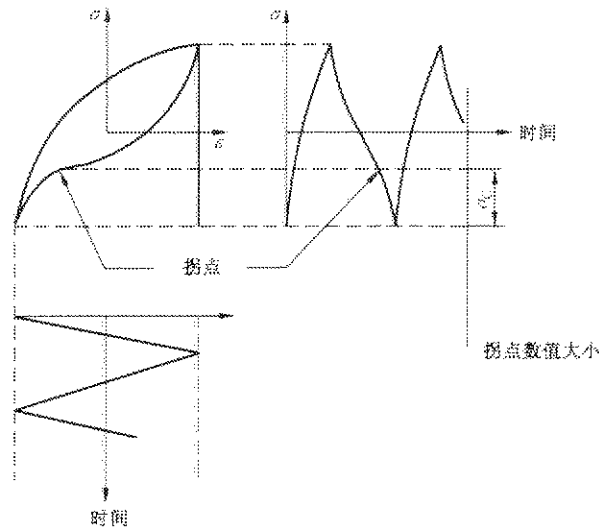


图 11 确定失效拐点的定义

7.9.2 在规定的应力或应变值下测定其到达失效的循环数时,一般不少于 3 根试样。

8 试验结果的处理

8.1 概述

推荐按 8.2 所述方法对试验数据进行处理,也可采用其他模型进行数据处理。

8.2 推荐的试验数据处理方法

8.2.1 绘制出 $\Delta\epsilon/2(\Delta\sigma/2)-2N_f$ 曲线(图 1、图 2 所示)和 $\Delta\epsilon_p/2, \Delta\sigma_p/2-2N_f$ 曲线(图 3),推荐采用双对数坐标。

数据处理时,推荐采用循环弹性模量 E^* 进行计算。在设备条件许可时, E^* 按公式(5)计算:

$$E^* = \frac{E_{NF} + E_{NC}}{2} \dots\dots\dots(5)$$

若由于设备限制无法按公式(5)获得 E^* 时,可采用试验前应力水平低于弹性极限的循环加载试验来测定,或采用单调拉伸弹性模量 E 进行计算。

8.2.2 根据所绘制的图 3 曲线和表 1 中的符号及说明,计算出金属材料在所试条件下的疲劳延性指数 c 、疲劳强度指数 b 、疲劳延性系数 ϵ'_f 和疲劳强度系数 σ'_f 。在确定 $\Delta\sigma/2$ 时,若无明显的循环稳定值,则取 $N_f/2$ 时的应力范围。

8.2.3 关于循环应力-应变曲线,用成对的稳定应力范围之半与总应变范围之半作出图 5 曲线。或用成对的稳定应力范围和塑性应变范围作出图 6 曲线,其数学表达式见附录 A 中公式(A.1)。

8.2.4 关于循环应变硬化指数 n' 的测定。根据成对的稳定应力幅和塑性应变幅的数据,在双对数坐标上画出 $\Delta\sigma/2-\Delta\epsilon_p/2$ 曲线,如图 6 所示,其曲线的斜率就是该金属材料在所试条件下的循环应变硬化指数。

8.3 断口形貌观察

根据研究目的,可用扫描电镜对断口形貌进行观察。若研究疲劳过程中所发生的组织变化或冶金组织对疲劳性能的影响,可使用光学金相技术和透射电镜。

9 试验报告

试验报告一般应包括以下内容：

- a) 材料的牌号和标准号、生产厂、炉批、规格、化学成分、热处理工艺及常规力学性能；
- b) 取样部位、试样形状、尺寸和表面状态；
- c) 试验设备的型号；
- d) 试验条件,包括试验温度及控制方法、环境介质、循环频率或循环应变速率、波形、应力比或应变比、控制方式；
- e) 试验过程中不符合本标准的任何情况；
- f) 试验结果：
 - 1) 应力范围、应变范围和非弹性应变范围的起始值、稳定值或 $N_f/2$ 值；
 - 2) 循环弹性模量 E^* 及其测定方法说明；
 - 3) 到达失效的循环数 N_f ,以及确定失效的标准；
 - 4) 循环应力-应变性能的分析结果,其中包括循环硬化指数和循环强度系数；
 - 5) 应变-寿命特性分析结果,其中包括疲劳强度指数、疲劳延性指数、疲劳强度系数和疲劳延性系数；
 - 6) 试验日期、试验者和校对者。

附 录 A
(资料性附录)
函数关系式

A.1 概述

用来描述许多金属的低循环疲劳数据的函数关系式见公式(A.1)~(A.4)。

A.2 循环应力-应变关系式

循环应力-应变关系式见公式(A.1)；

$$\Delta\sigma/2 = K'(\Delta\varepsilon_p/2)^n \quad \dots\dots\dots(A.1)$$

A.3 疲劳寿命关系式

疲劳寿命关系式见公式(A.2)~(A.4)；

$$\Delta\sigma/2 = \sigma'_f(2N_f)^b \quad \text{或} \quad \Delta\varepsilon_s/2 = \frac{\sigma'_f}{E}(2N_f)^b \quad \dots\dots\dots(A.2)$$

$$\Delta\varepsilon_p/2 = \varepsilon'_f(2N_f)^c \quad \dots\dots\dots(A.3)$$

$$\Delta\varepsilon_s/2 = \frac{\sigma'_f}{E}(2N_f)^b + \varepsilon'_f(2N_f)^c \quad \dots\dots\dots(A.4)$$

附录 B
(资料性附录)

各向同性材料从径向至轴向应变的换算

各向同性材料从径向至轴向应变的换算方法如下：

a) 径向应变换算成轴向应变时,应首先按公式(B.1)和公式(B.2)从总应变中分出弹性和塑性分量：

$$\epsilon_t = \epsilon_e + \epsilon_p \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$\epsilon_d = \epsilon_{de} + \epsilon_{dp} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

- ϵ_t ——总轴向应变；
- ϵ_e ——弹性应变；
- ϵ_p ——塑性应变；
- ϵ_d ——径向应变；
- ϵ_{de} ——径向弹性应变；
- ϵ_{dp} ——径向塑性应变。

b) 通过泊松比 ν 把轴向和径向应变联系起来,见公式(B.3)：

$$\epsilon_e = -\epsilon_{de}/\nu_e \text{ 和 } \epsilon_p = -\epsilon_{dp}/\nu_p \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

c) 将公式(B.3)重新整理成公式(B.4)：

$$\epsilon_{dp} = \epsilon_d - \epsilon_{de} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

$$\epsilon = -\epsilon_{de}/\nu_e = (\epsilon_d - \epsilon_{dp})/\nu_p \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

d) 借助 ν 和弹性模量 E ,将 ϵ_{de} 与轴向应力联系起来,导出公式(B.5)：

$$\epsilon_{de} = -(\nu_e \sigma)/E \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

$$\epsilon = \sigma/E - \epsilon_d/\nu_p - (\nu_e \sigma)/(\nu_p E) \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

e) 假定塑性变形在恒值条件下发生,即 $\nu_p = 1/2$,则导出公式(B.6)：

$$\epsilon = (\sigma/E)(1 - 2\nu_e) - 2\epsilon_d \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

f) 在试验中使用径向引伸计和轴向载荷传感器, σ 和 ϵ_d 连续可得,若 E 不随循环而改变,则从 $\sigma - \epsilon_d$ 线的弹性部分斜率可得 ν_e/E 。径轴向应变转换原理框图见图 B.1。

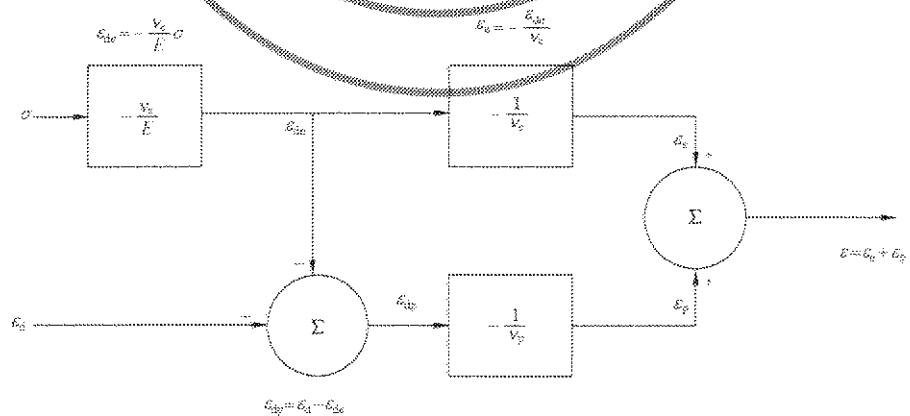


图 B.1 径轴向应变转换原理框图

附 录 C
(资料性附录)
试样机械加工方法实例

C.1 车削

C.1.1 车削粗加工

将试样直径从 $(X+5)$ mm (X 为试样名义直径 d 加上表面抛光余量 0.025 mm) 车至 $X+0.5$ mm 时,应逐次减少其切削深度。建议切削深度为 1.25 mm、0.75 mm 和 0.25 mm。

C.1.2 车削精加工

将试样从 $(X+0.5)$ mm 车至 X 时,应进一步逐次减少切削深度。建议切削深度为 0.125 mm、0.075 mm 和 0.05 mm。

应采用较小的走刀量,如每转不超过 0.06 mm。

C.2 磨削

对因热处理而提高强度以致不易车削加工的材料,可将试样毛坯直径车至 $(X+0.5)$ mm 后进行热处理。然后以每次走刀量不超过 0.005 mm 的速率利用外圆磨削至 X 。建议磨削深度为:

比名义直径大 0.1 mm 之前为 0.03 mm;

比名义直径大 0.025 mm 之前为 0.005 mm;

以 0.0025 mm 的磨削深度磨至试样直径 X 。

C.3 表面抛光

用逐级变细的砂布或砂纸,沿近似平行于试样的轴向进行机械或手工抛光,去掉试样的最后余量 0.025 mm,以获得表面粗糙度最大为 $0.2 \mu\text{m}$ 。

抛光后留下的机加工条纹不应是横向的。在约 20 倍放大镜下用肉眼检查时,在试样圆周表面上无明显的机加工痕迹。

软质材料的试样,如铜、铅、铝等,宁肯用车削和随后抛光去掉最后余量。

C.4 脱脂

对精加工后的试样表面进行脱脂。

附录 D
(资料性附录)
带保持时间的高温试验

D.1 概述

本附录对出现与时间有关的高温低循环疲劳试验作必要的补充和修正,以扩大本标准的使用范围。允许在可能出现与时间有关的非弹性应变的温度和应变速率下进行试验。

不限制试样所承受的应力或应变循环形式,允许应力或应变保持。这时会出现与时间有关的非弹性应变,因此,研究应变速率的影响,松弛和循环蠕变行为,也可以根据这类试验进行。

D.2 术语和定义

除第3章规定的术语、定义及符号外,增加如下术语、定义及符号。

D.2.1

非弹性应变 ϵ_{in} inelastic strain

在等温条件下,非弹性应变按公式(D.1)计算:

$$\epsilon_{in} = \epsilon_t - \epsilon_e \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

ϵ_t ——总应变;

ϵ_e ——弹性应变。

在高温下,时间相关非弹性应变按公式(D.2)计算:

$$\epsilon_{in} = \epsilon_c + \epsilon_p \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

ϵ_c ——蠕变应变;

ϵ_p ——疲劳塑性应变。

D.2.2

保持时间 τ_h hold period

一个循环中应力或应变保持恒定的时间,其中包括拉伸和压缩保持时间两部分。

D.2.3

循环周期 τ_t total cycle period

一个循环的总时间,其中包括保持和非保持两部分。

$$\tau_t = \tau_h + \tau_{nh} \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

τ_{nh} ——一次循环中非保持部分的时间。当频率不变时, τ_t 是频率的倒数。

D.2.4

瞬时应力-应变关系 instantaneous stress-strain relationships

常采用公式(D.4)(参看图D.1)确定许多金属材料的瞬时应力-应变关系:

$$\epsilon_t = \epsilon_e + \epsilon_p \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中: $\epsilon_e = \sigma/E^*$; E^* 代表材料的变量,可能是环境和试验条件的函数,在试验中随试样发生冶金或物理变化而改变,但在许多情况下却是一个常量。 E^* 可采用试验前应力水平低于弹性极限的循环加载试验来测定。

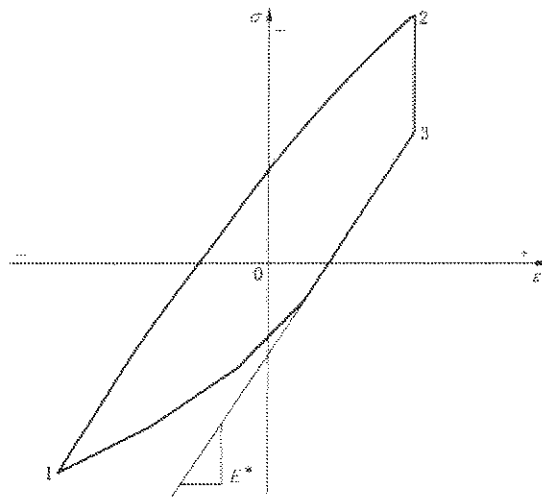


图 D.1 应变保持 σ - ϵ 迟滞回线

从点 1 到点 3, 应变的变化为公式(D.5):

$$\epsilon_{13} - \epsilon_{e1} = (\epsilon_{3in} + \sigma_3/E^*) - (\epsilon_{1in} + \sigma_1/E^*) \dots\dots\dots (D.5)$$

整理后可得公式(D.6):

$$\epsilon_{3in} - \epsilon_{1in} = \epsilon_{13} - \epsilon_{e1} + \sigma_1/E^* - \sigma_3/E^* \dots\dots\dots (D.6)$$

同样, 应变保持期间, 非弹性应变的变化为公式(D.7):

$$\epsilon_{3in} - \epsilon_{2in} = (\sigma_2 - \sigma_3)/E^* \dots\dots\dots (D.7)$$

D.3 设备

高温试验需增加对设备的冷却装置, 如水冷圈等, 以防损坏载荷传感器、应变引伸计和其他试验机零件。安装时要小心, 以免影响传感器标定和加载系统的同轴度。

除对连续循环试验使用三角波外, 对保持时间试验需要带可调保持时间的装置。

D.4 试验机的控制

当存在与时间有关的效应时, 可不再采用仅仅是所规定的应力或应变范围。可连续控制必要的控制参数, 以获得所需的应力-应变关系。

采用保持时间和出现与时间有关的非弹性应变时应格外谨慎。例如, 保持径向应变将允许在循环过程中总应变是变化的, 但得不到准确的松弛数据。

研究与时间有关的效应时, 为了记录而降低试验速度将会改变应力-应变特性, 这时应考虑这种周期性的速率降低对试样疲劳寿命的影响。

复合波形与时间有关的非弹性应变大大地缩小了极限控制方法的可行性。若需要对试验机作周期性的调整, 以便产生预期的应力-应变特性时, 应在报告中说明。

D.5 数据的表达

当存在明显的与时间有关的非弹性应变时,附录 A 中给出的经验表达式无效。为此,全部数据应在报告中提出,数据处理方法应精心推敲,并提出资料,以便使用其他目前流行的分析方法进行分析。

松弛数据也包括在保持时间试验里,其中包括松弛应力值,松弛的总量以及保持周期中非弹性应变量的变化。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法
GB/T 15248—2008

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 34 千字

2008年6月第一版 2008年6月第一次印刷

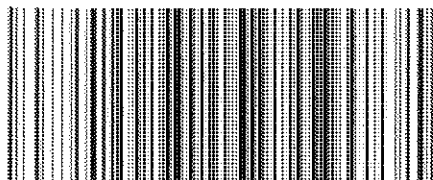
*

书号:155066·1-31800 定价 20.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 15248-2008