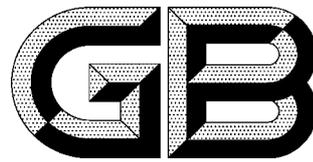


ICS 77.040.10  
CCS H 22



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 40410—2021

---

## 金属材料 多轴疲劳试验 轴向-扭转应变控制方法

Metallic materials—Multiaxial fatigue testing—Axial-torsional  
strain-controlled method

2021-08-20 发布

2022-03-01 实施

---

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

订单号: 0100220207100123 防伪编号: 2022-0207-0226-2669-9084 购买单位: 北京中培质联

北京中培质联 专用

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号和说明 .....	4
5 原理 .....	6
6 试样 .....	6
7 试验设备 .....	7
8 试验程序 .....	8
9 数据处理和分析 .....	10
10 试验报告 .....	10
附录 A (资料性) 数据处理公式 .....	11
参考文献 .....	12

北京中培质联 专用

订单号: 0100220207100123 防伪编号: 2022-0207-0226-2669-9084 购买单位: 北京中培质联

北京中培质联 专用

## 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。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本文件起草单位：北京工业大学、冶金工业信息标准研究院、深圳万测试验设备有限公司、中航工业沈阳飞机设计研究所、力试(上海)科学仪器有限公司、中国航发北京航空材料研究院、中国航发商用航空发动机有限责任公司、钢铁研究总院。

本文件主要起草人：尚德广、董莉、李芳代、李道航、左林玄、曲林锋、刘建中、陈勃、张成成、童第华、高怡斐、王斌、黄星、侯慧宁。

北京中培质联

订单号: 0100220207100123 防伪编号: 2022-0207-0226-2669-9084 购买单位: 北京中培质联

北京中培质联 专用

# 金属材料 多轴疲劳试验

## 轴向-扭转应变控制方法

### 1 范围

本文件规定了应变控制下金属材料轴向-扭转复合疲劳试验的原理、试样、试验设备、试验程序、数据处理分析和试验报告。

本文件适用于金属薄壁管试样在室温及高温下施加恒幅对称、平均应变为零的加载波形及轴向与扭转波形具有相同频率的轴向-扭转复合疲劳试验。

### 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 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法  
 GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法  
 GB/T 7314 金属材料 室温压缩试验方法  
 GB/T 10623 金属材料 力学性能试验术语  
 GB/T 12160 金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定  
 GB/T 12443 金属材料 扭矩控制疲劳试验方法  
 GB/T 16825.1 静力单轴试验机的检验 第1部分：拉力和（或）压力试验机测力系统的检验与校准  
 GB/T 25917.1 单轴疲劳试验系统 第1部分：动态力校准  
 GB/T 26077 金属材料 疲劳试验 轴向应变控制方法  
 JJG 556 轴向加力疲劳试验机  
 JJG 762 引伸计检定规程

### 3 术语和定义

GB/T 10623 和 GB/T 26077 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### 轴向应变 axial strain

$\epsilon$

引伸计标距长度的伸长量  $\Delta L_g$  与引伸计标距长度  $L_g$  的比值，用式(1)计算。

$$\epsilon = \Delta L_g / L_g \quad \dots\dots\dots (1)$$

注：参考工程应变中的轴向应变定义。

购买单位：北京中培质联  
 防伪编号：2022-0207-0226-2669-9084  
 订单号：0100220207100123

北京中培质联 专用

3.2

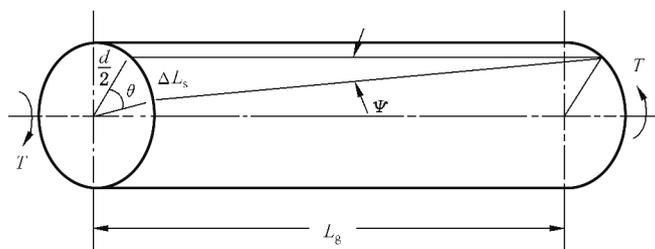
剪切应变 shear strain

$\gamma$

剪切位移  $\Delta L_s$  与引伸计标距长度  $L_g$  的比值,用式(2)计算。

$$\gamma = \Delta L_s / L_g \quad \dots\dots\dots (2)$$

注 1: 由加载在圆柱试样上的扭矩产生,参考工程剪切应变。除剪切位移不一样,其他都类似于轴向应变,剪切位移与引伸计标距方向垂直而不是平行(见图 1)。



注: 图中符号及其说明见表 1。

图 1 扭矩作用下圆柱试样引伸计标距内的扭转截面

注 2: 剪切应变与相对引伸计标距方向的扭转角之间的关系见式(3):

$$\gamma = \tan \Psi \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\Psi$ ——沿着引伸计标距方向的扭转角。

注 3: 式(4)给出了用弧度表达的  $\theta$ 、圆柱试样外径  $d$ ,以及引伸计标距长度  $L_g$  表达的剪切应变:

$$\gamma = (d/2)\theta / L_g \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\theta$ ——剪切位移  $\Delta L_s$  对应的扭转角。

$\Delta L_s$  通过使用校准的扭转引伸计可以直接测量,或者由弧长公式  $\Delta L_s = (d/2)\theta$  求得, $\theta$  值通过旋转变量差动变压器直接测量。

3.3

双轴应变幅值比 biaxial strain amplitude ratio

$\lambda$

剪切应变幅值  $\lambda_a$  与轴向应变幅值  $\epsilon_a$  的比,用式(5)计算。

$$\lambda = \lambda_a / \epsilon_a \quad \dots\dots\dots (5)$$

3.4

轴向应变和剪切应变之间的相位角 phase angle between axial and shear strains

$\varphi$

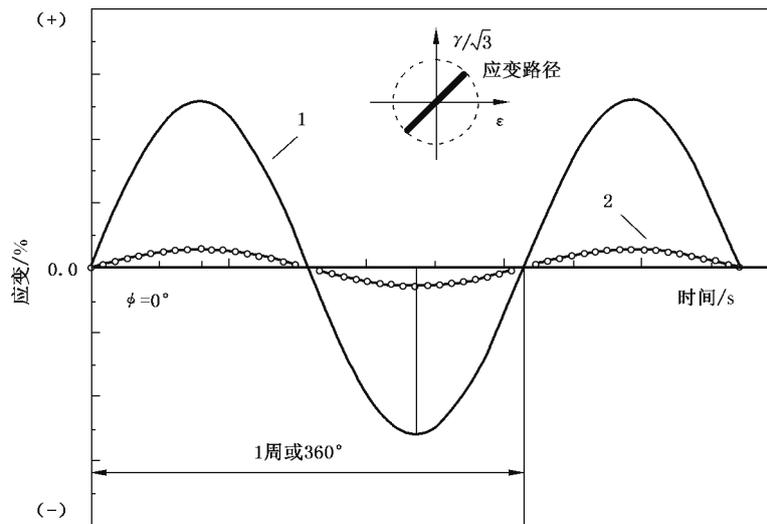
轴向应变波形与剪切应变波形之间的相位夹角,这两个波形为相同类型,如同为三角波或同为正弦波。

3.5

同相(比例)轴向-扭转复合疲劳试验 in-phase(proportional) axial-torsional fatigue test

在相同频率下,轴向应变和剪切应变相位角为零( $\varphi=0^\circ$ )的试验(见图 2)。

注: 对于对称循环作用的轴向和剪切应变波形,如果轴向应变波形的最大值与剪切应变波形最大值同时达到,则相位角  $\varphi=0^\circ$ 。



标引序号说明：  
1——剪切应变；  
2——轴向应变。

图2 轴向、剪切应变波形同相(比例)加载

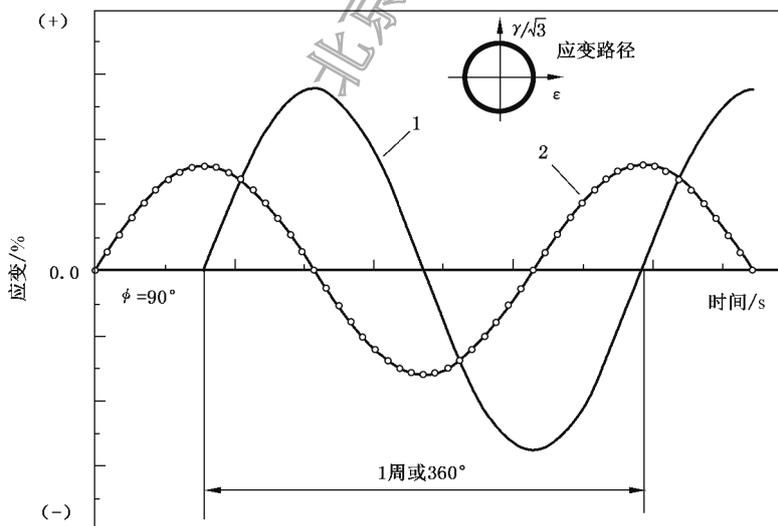
### 3.6

#### 非同相(非比例)轴向-扭转复合疲劳试验 out-of-phase (non-proportional) axial-torsional fatigue test

在相同频率下,轴向应变和剪切应变相位角不为零( $\varphi \neq 0^\circ$ )的试验。

注1: 对于对称循环作用的轴向和剪切应变波形,如果轴向应变波形的最大值与剪切应变波形最大值不同时达到,则相位角  $\varphi \neq 0^\circ$ 。

注2: 图3给出了  $\varphi = 90^\circ$  的非同相轴向-扭转复合疲劳试验加载波形。



标引序号说明：  
1——剪切应变；  
2——轴向应变。

图3 轴向、剪切应变波形非同相(非比例)加载

3.7

剪切应力 shear stress

$\tau$

由于薄壁管试样受到扭矩  $T$  的作用而产生的与轴向正交的切线方向上的应力分量。

注 1: 推荐采用剪切应力均匀分布假设,作用在中径的剪切应力  $\tau$  与扭矩  $T$  的关系见式(6):

$$\tau = \frac{16T}{\pi(d_o^2 - d_i^2)(d_o + d_i)} \dots\dots\dots(6)$$

式中:

$d_o, d_i$ ——试样的外径与内径。

注 2: 弹性加载情况下,在引伸计标距段内,试样内外径范围内直径为  $d$  的位置,其剪切应力  $\tau$  可以由式(7)计算得到:

$$\tau = \frac{16Td}{\pi(d_o^4 - d_i^4)} \dots\dots\dots(7)$$

注 3: 为了建立材料的循环剪切应力-应变关系曲线,可以在相同的加载条件下,在薄壁管的同一个位置通过测定剪切应变和剪切应力来确定。

4 符号和说明

本文件所用符号、说明及单位见表 1。

表 1 符号、说明和单位

符号	说明	单位
$b$	轴向疲劳强度指数	—
$b_\gamma$	扭转疲劳强度指数	—
$c$	轴向疲劳延性指数	—
$c_\gamma$	扭转疲劳延性指数	—
$d$	试样引伸计标距段内直径	mm
$d_G$	试样夹持端的外径	mm
$d_i$	试样引伸计标距段的内径	mm
$d_o$	试样引伸计标距段的外径	mm
$E$	杨氏弹性模量	GPa
$F$	轴向力	N
$G$	剪切弹性模量	GPa
$K'$	轴向循环强度系数	MPa
$K'_\gamma$	扭转循环强度系数	MPa
$L$	试样全长	mm
$L_G$	试样夹持端长度	mm
$L_{GT}$	夹持端和过渡段总长度	mm
$L_g$	引伸计标距长度	mm
$\Delta L_g$	引伸计标距长度的变化量	mm
$L_s$	试样中间平直段的长度	mm

购买单位: 北京中培质联 防伪编号: 2022-0207-0226-2669-9084 订单号: 0100220207100123

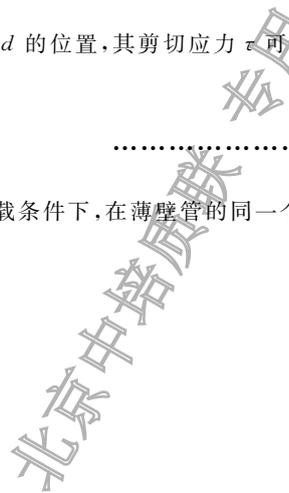


表 1 符号、说明和单位 (续)

符号	说明	单位
$\Delta L_s$	剪切位移	mm
$n'$	轴向循环应变硬化指数	—
$n'_\gamma$	扭转循环应变硬化指数	—
$N_f$	失效时的循环数(疲劳寿命)	—
$R$	过渡弧段半径	mm
$R_a$	表面粗糙度	$\mu\text{m}$
$R_\gamma$	剪切应变比	—
$R_\epsilon$	轴向应变比	—
$R_\sigma$	轴向循环应力比	—
$R_\tau$	剪切循环应力比	—
$S_t$	试样有效横截面积	$\text{mm}^2$
$T$	扭矩	$\text{N} \cdot \text{m}$
$t$	试样引伸计标距段的壁厚	mm
$\gamma$	剪切应变	—
$\gamma_a$	剪切应变幅值	—
$\Delta\gamma$	剪切应变范围值	—
$\gamma_e$	剪切弹性应变	—
$\Delta\gamma_e$	剪切弹性应变范围值	—
$\gamma'_f$	扭转疲劳延性系数	—
$\gamma_p$	剪切塑性应变	—
$\Delta\gamma_p$	剪切塑性应变范围值	—
$\epsilon$	轴向应变	—
$\epsilon_a$	轴向应变幅值	—
$\Delta\epsilon$	轴向应变范围	—
$\epsilon_e$	轴向弹性应变	—
$\Delta\epsilon_e$	轴向弹性应变范围值	—
$\epsilon'_f$	轴向疲劳延性系数	—
$\epsilon_p$	轴向塑性应变	—
$\Delta\epsilon_p$	轴向塑性应变范围值	—
$\theta$	试样引伸计标距部分两端两个平面的扭转角	$^\circ$
$\lambda$	双轴应变幅值比	—
$\sigma$	轴向应力	MPa
$\Delta\sigma$	轴向应力范围值	MPa
$\sigma'_f$	轴向疲劳强度系数	MPa
$\tau$	剪切应力	MPa
$\Delta\tau$	剪切应力范围值	MPa

表 1 符号、说明和单位 (续)

符号	说明	单位
$\tau'_i$	扭转疲劳强度系数	MPa
$\varphi$	轴向应变和剪切应变之间的相位角	°
$\psi$	试样引伸计标距方向的扭转角	°

## 5 原理

以应变作为控制量,对金属管薄壁试样同时施加以轴向和扭向循环载荷,进而测定该材料疲劳性能,可用于获取均匀材料在同相(比例)与非同相(非比例)轴向与扭转组合载荷条件下的疲劳寿命和循环变形数据。

注 1:多轴载荷通常所导致的变形与损伤机制较为独特,与简单单轴加载条件下的损伤机制有很大不同。由于大多数工程构件都受到多轴循环载荷作用,因此有必要描述这种模式下材料的变形和疲劳行为。掌握多轴损伤特性可以可靠地预测工程部件的疲劳寿命。轴向-扭转复合载荷是多轴力系统中的几种可能类型之一,本质上是双轴载荷。

注 2:由于薄壁管试样的应力状态在整个试验截面上是恒定的,在主应力或应变空间,轴向与扭转组合加载比平面双轴加载更为方便。

## 6 试样

### 6.1 一般要求

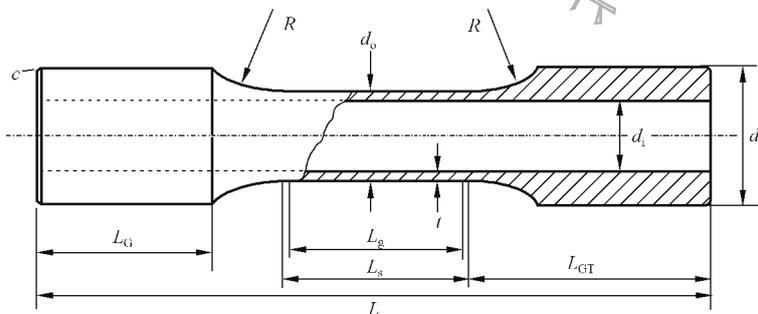
本文件以圆形截面的薄壁管为试样进行试验。为了避免循环载荷下的不稳定性,试样的壁厚应满足平均直径与壁厚的比值为 10 : 1 的薄壁管准则。对于多晶体材料,应保证壁厚部分至少存在 10 个晶粒来保持各向同性。

注:试样平均直径  $d_m = (d_o + d_i) / 2$ 。

### 6.2 材料要求

应预知试样的拉伸和压缩性能。设计试样时,可按 GB/T 228.1、GB/T 228.2 和 GB/T 7314 测定拉伸和压缩性能。如需要测定材料的平均晶粒尺寸,应按 GB/T 6394 进行测定。

推荐试样形状如图 4 所示。试样设计时,应保证同心度,避免附加弯曲应力。



注:图中符号及其说明见表 2。

图 4 薄壁管轴向-扭转疲劳试验试样

### 6.3 尺寸要求

试样的具体尺寸要求见表 2。

表 2 薄壁管试样的尺寸要求

名称	单位	尺寸要求
试样引伸计标距段的壁厚 $t$	mm	$0.5(d_o - d_i)$
试样引伸计标距段的外径 $d_o$	mm	$14t \pm 3t$
试样引伸计标距段的内径 $d_i$	mm	$0.85d_o \pm 0.04d_o$
试样夹持端的外径 $d_G$	mm	$1.6d_o \pm 0.4d_o$
倒角 $C$	°	45°
过渡弧段半径 $R$	mm	$3.2d_o \pm 0.4d_o$
试样全长 $L$	mm	$8.5d_o \pm 1.5d_o$
夹持端长度 $L_G$	mm	$2d_o \pm 0.3d_o$
夹持端和过渡段总长度 $L_{GT}$	mm	$3.5d_o \pm 0.5d_o$
试样中间平直段的长度 $L_s$	mm	$1.5d_o \pm 0.5d_o$
试样中间引伸计标距段的长度 $L_g$	mm	$0.9d_o \pm 0.3d_o$
$d_o$ 和 $d_i$ 的同心度	mm	$\pm 0.015t$
壁厚 $t$ 的典型取值范围	mm	$2.0 \pm 0.5$

### 6.4 附加说明

6.4.1 非多晶体材料(如单晶材料和定向凝固材料)管状试样的壁厚应足够大,以保证充分包含该材料的典型微观结构。

6.4.2 通常在包含扭转的循环载荷下,疲劳寿命与管状试样的内外径之比  $d_i/d_o$  有关。因此,应注意比较材料相同但具有明显不同内外径比值试样的疲劳寿命。承受轴向-扭转复合载荷时,在内外径比值的标准取值范围内试样疲劳寿命的差别不应过大。

### 6.5 试样制备

试样内表面应研磨,以防止疲劳裂纹在试样内表面萌生。试样的引伸计标距部分的内表面与外表面应从一端到另一端一次性加工成型。试样平行段内外表面粗糙度  $R_a$  应小于  $0.2 \mu\text{m}$ 。

## 7 试验设备

### 7.1 试验机

所有的试验要在能够施加拉压和扭转载荷的试验系统上进行。试验系统应具有足够的轴向刚度和扭转刚度,使得试验系统能够减小试验框架在额定最大轴向力和扭矩下的变形。试验机应满足 GB/T 26077 中轴向疲劳试验要求及 GB/T 12443 中扭转疲劳试验要求。

### 7.2 固定夹具

用于夹持试样的夹具应具有一定使用耐久性。夹具的设计很大程度上取决于试样的设计。典型的液压夹头装置和具有光滑圆柱形夹持部位的试样结合使用,能够较好地满足对中性及轴向刚度要求。

对于其他类型的固定装置(如具有螺纹连接端试样固定的装置),若符合对中性准则,也可使用。但是相对于具有光滑圆柱形夹持部位的试样,具有螺纹连接端的试样较难满足对中性准则的要求。因此,应优先选择具有光滑圆柱形夹持部位的试样。

### 7.3 力和扭矩传感器

试验机测力系统应按 GB/T 16825.1 进行静态校准,其准确度应为 1 级或优于 1 级。应确保动态力测量误差不超过所需测力范围的 $\pm 1\%$ 。推荐使用 GB/T 25917.1 或 JJG 556 作为检查方法。

### 7.4 引伸计

引伸计应按 GB/T 12160 或 JJG 762 进行检定/校准,并符合 1 级引伸计要求。

### 7.5 数据采集系统

轴向和扭向滞后环及轴向力/应变和扭矩/剪切应变随时间的变化,应采用数字采集系统对循环试验数据进行采集。数据采集应根据具体加载路径确定采集频率,以避免四个通道响应信号削峰损失。

## 8 试验程序

### 8.1 试验条件

8.1.1 对于室温试验,一般在  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内进行。对温度要求严格的试验,试验温度应为  $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

8.1.2 对于高温试验,温度一般不超过  $1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,试样引伸计标距段内的温度变化应不超过  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,或在名义试验绝对温度的  $1\%$  以内,取两者中的较大者。

8.1.3 如有任何超出试验要求极限的温度冲击,应将所有这些温度值记录在试验报告中。

### 8.2 试样尺寸测量

8.2.1 薄壁管试样引伸计标距部分的内径和外径应至少进行三次测量(两端和中间)。为确保同心度,应附加三次相应的测量。由测量结果计算得到的平均值作为试样的计算尺寸用于试验控制和试验数据的后处理。

8.2.2 对于高温试验,由室温下的测量数据算得的平均值应利用热膨胀系数修正得到试验温度下的试样尺寸。并用计算得到的高温下尺寸评估试验控制参数以及用于试验数据的后处理。热膨胀系数可以在进行疲劳测试前通过测量每个试样得到,或通过材料手册查得。

### 8.3 试样安装

试样应在不受任何轴向或扭向预载荷的情况下安装在试验机上。在安装接触型引伸计或其他接触型仪器时应尽量避免划伤试样内外表面。

### 8.4 轴向和剪切应变的计算

为精确控制试验,轴向应变和剪切应变值都应以试样的引伸计标距段为准计算得出。剪切应变在试样的薄壁截面沿径向成线性变化,应以试样的外径为准,用式(4)计算得出。

### 8.5 加载控制模式

单轴拉压、扭转和轴向-扭转复合(同相和非同相)疲劳试验应在应变控制下进行。为进行应变控制下单轴拉压疲劳试验,扭转通道控制器应在零扭矩状态。在进行应变控制下的扭转疲劳试验时,轴向通

道控制器应在零载荷状态。

## 8.6 指令波形

8.6.1 轴向与扭转应变的指令波形可为三角波或正弦波。对于室温试验,为防止薄壁管试样由于塑性变形而过热(即滞后加热),加载波形的应变速率(三角波)或频率(正弦波)应足够低。试验中所采用的应变率或频率一般不能使试样温度增高超过 $5^{\circ}\text{C}$ ,或超过名义绝对试验温度的 $1\%$ ,取两者较大者。对于非同相轴向-扭转复合试验,轴向波形与扭转波形之间应有一定的相位角,且扭转波形滞后于轴向波形。

8.6.2 对于金属材料,疲劳寿命可能与应变速率或频率相关。例如,应变速率相差10倍或以上,可能会产生不同的疲劳寿命数据。因此,为建立上述情况下的疲劳寿命关系,试验中所采用的应变速率或频率应和其他数据一并列出。

8.6.3 在一定温度下,一些材料的疲劳寿命可能与加载波形(比如三角波或正弦波)有一定的相关性。由于三角波波形能够产生恒定的有效应变速率,因此为了准确描述轴向-扭转复合加载下材料的循环变形行为,一般认为三角波比正弦波更为合适。

## 8.7 试验开始

材料所表现的初始循环变形取决于试验开始时的试验加载程序。同一系列的所有疲劳试验都应从相同的方向开始。例如,在轴向-扭转复合加载试验中,轴向加载波形通常开始于拉伸方向(正向),扭转加载波形通常开始于剪切应变正方向。图2和图3分别给出了轴向-扭转同相、非同相试验开始时的加载波形。对于较大应变幅度试验,为防止产生过冲现象或者引伸计与试样之间产生滑动,轴向与剪切应变分别在10周次内达到各自最终的稳定应变幅即可。

## 8.8 试验监测

试验监测在试验过程中需监测各试验控制变量(试样温度,轴向与扭向通道指令波形),且各控制变量应满足以下要求:

- 所控制的应变幅度变化范围不能超过各自通道名义值的 $1\%$ ;
- 在轴向-扭转复合加载疲劳试验中,轴向与扭向应变波形之间的相位角相对于预设值的偏移量不能超过 $3^{\circ}$ ;
- 试样温度变化范围不应超过 $5^{\circ}\text{C}$ ,或名义试验温度的 $1\%$ ,取两者中的较大者。

若试验过程中任一控制变量偏离其相应的规定极限范围,则畸变数据应在试验报告中说明。

## 8.9 数据记录

8.9.1 在疲劳试验最初的10个循环周次内,应记录其轴向力、轴向应变、扭矩和剪切应变,来研究材料的初始循环硬化/软化。在整个疲劳试验过程中,上述控制变量都应以对数循环间隔的方式进行相应记录(如,循环数10、20、50、100、200、500、1 000、2 000、5 000等)。

8.9.2 通常在试验的最后阶段,当试样表面出现目视可见裂纹时,应适当减小数据记录的循环间隔以更好地检测试样失效现象。

## 8.10 试样失效的确定

与单轴拉压试验不同,纯扭转疲劳试验中试样通常不会分离成两块。载荷下降百分比方法或基于循环应力-应变行为(硬化或软化)的方法都可用于定义试样失效。

- 载荷下降百分比方法:当试样加载载荷相对于先前记录的轴向或扭向数据峰值下降 $5\%$ 或 $10\%$ 时,认为试样已失效。

- b) 基于循环应力-应变行为(硬化或软化)方法:通过考虑材料的循环硬化或软化行为来定义试样失效。通常对于恒幅轴向-扭转复合疲劳试验,在绝大部分疲劳寿命内,载荷范围相对于循环数曲线关系的斜率是一个常数(零或者对于循环硬化材料为一较小的正数,对于循环软化材料为一负数)。此时失效定义为轴向载荷或扭转载荷范围相对于循环数的曲线与比实际硬化或软化曲线低 10% 的曲线相交时的载荷值。

注:表面复型技术也可用于定义试样失效:用乙酰纤维素薄膜复制试样引伸计标距内表面,以预定的循环间隔中断疲劳试验后检查薄膜是否存在表面裂纹。通过观察到的最长裂纹(通常为 0.1 mm 或 1.0 mm)来确定试样失效。

## 9 数据处理和分析

### 9.1 弹塑性载荷条件下的轴向和剪切应力-应变关系曲线

在弹塑性加载条件下,轴向和剪切应变由弹性和塑性部分组成。常用来描述循环轴向或剪切应力-应变关系的数据处理公式参见附录 A。

### 9.2 轴向、剪切应变幅值与疲劳寿命关系

通过分别使用轴向及剪切的应力幅值范围和弹性模量计算,总的轴向应变范围/剪切应变范围可以区分为弹性和塑性部分。在拉压和纯扭转载荷条件下,描述轴向或剪切应变与疲劳寿命的关系函数参见附录 A。这些轴向和扭转疲劳寿命的关系可分别或结合起来使用,预测轴向-扭转复合载荷下的疲劳寿命。

## 10 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 本文件编号;
- b) 材料牌号和规范编号、生产厂家、炉批号、材料规格、热处理制度;
- c) 材料微观结构和沿着长度方向以及薄壁管厚度方向的晶粒尺寸、化学成分和常规力学性能等(如适用);
- d) 试样的形状、尺寸、表面状态等;
- e) 试验设备的基本信息;
- f) 试验控制变量:试验温度,频率,应变速率,应力比或应变比,载荷或应变最大、最小值和波形,轴向、扭向应变波形之间的相位角;
- g) 试验过程中不符合本文件的任何情况;
- h) 试验结果:轴向应力、应变,扭向应力、应变随时间变化关系;典型循环的迟滞回线;轴向应变与轴向应力关系,扭向应变与应力关系;试样失效的确定方法;导致试样失效的主裂纹方向;与引伸计和试样的接触点有关联的裂纹以及所有超出规定界限外的控制变量差值。

附 录 A  
(资料性)  
数据处理公式

### A.1 轴向应力-应变公式

轴向循环应力-应变关系可由轴向的 Ramberg—Osgood 公式描述,见式(A.1)和式(A.2):

$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\Delta \epsilon_e}{2} + \frac{\Delta \epsilon_p}{2} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\Delta \sigma}{2E} + \left( \frac{\Delta \sigma}{2K'} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

### A.2 扭转循环应力-应变曲线

剪切循环应力-应变关系可由扭向的 Ramberg—Osgood 公式描述,见式(A.3)和式(A.4):

$$\frac{\Delta \gamma}{2} = \frac{\Delta \gamma_e}{2} + \frac{\Delta \gamma_p}{2} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$\frac{\Delta \gamma}{2} = \frac{\Delta \tau}{2G} + \left( \frac{\Delta \tau}{2K'_\gamma} \right)^{\frac{1}{n_\gamma}} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

### A.3 轴向应变幅-疲劳寿命关系

轴向应变与疲劳寿命的关系可由轴向的 Manson-Coffin 公式表达,见式(A.5):

$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\sigma'_f}{E} (2N_f)^b + \epsilon'_f (2N_f)^c \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

### A.4 剪切应变幅-疲劳寿命关系

剪切应变与疲劳寿命的关系可由扭向的 Manson-Coffin 公式表达,见式(A.6):

$$\frac{\Delta \gamma}{2} = \frac{\tau'_f}{G} (2N_f)^{b_\gamma} + \gamma'_f (2N_f)^{c_\gamma} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

参 考 文 献

- [1] GB/Z 40387—2021 金属材料 多轴疲劳试验设计准则
- [2] ASTM E2207-15 Strain-Controlled Axial-Torsional Fatigue Testing with Thin Walled Tubular Specimens
- [3] Socie D F, Marquis G B, Marquis G.B, Multiaxial Fatigue, SAE, Warrendale, 2000
- 

北京中培质联 专用

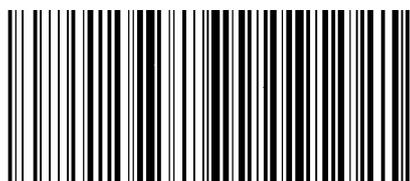
北京中培质联 专用

 **版权声明**

中国标准在线服务网(www.spc.org.cn)是中国标准出版社委托北京标科网络技术有限公司负责运营销售正版标准资源的网络服务平台,本网站所有标准资源均已获得国内外相关版权方的合法授权。未经授权,严禁任何单位、组织及个人对标准文本进行复制、发行、销售、传播和翻译出版等违法行为。版权所有,违者必究!

中国标准在线服务网  
<http://www.spc.org.cn>

标准号: GB/T 40410-2021  
购买者: 北京中培质联  
订单号: 0100220207100123  
防伪号: 2022-0207-0226-2669-9084  
时 间: 2022-02-07  
定 价: 29元



GB/T 40410-2021



码上扫一扫 正版服务到

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准

**金属材料 多轴疲劳试验  
轴向-扭转应变控制方法**

GB/T 40410—2021

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.org.cn

服务热线:400-168-0010

2021年8月第一版

\*

书号: 155066·1-67838

版权专有 侵权必究