



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105910884 B

(45)授权公告日 2018.08.10

(21)申请号 201610237687.X

审查员 耿青梅

(22)申请日 2016.04.15

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105910884 A

(43)申请公布日 2016.08.31

(73)专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 洪友士 姜青青 孙成奇 谢季佳

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.

G01N 3/00(2006.01)

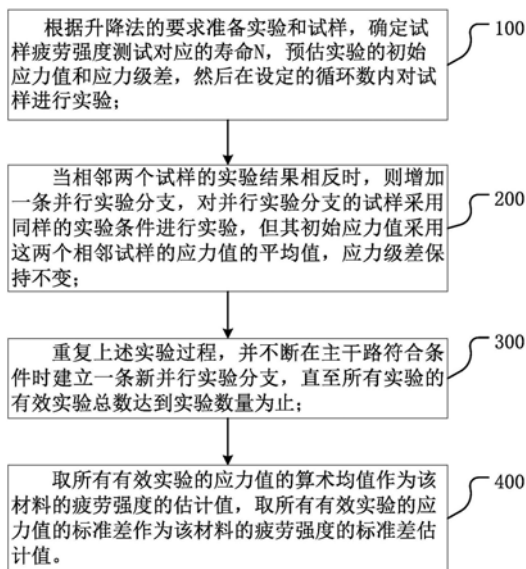
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种用于疲劳强度测试的并行分支升降法

(57)摘要

本发明提供了一种用于疲劳强度测试的并行分支升降法,首先确定试样疲劳强度测试对应的寿命N,预估实验的初始应力值和应力级差;在实验过程中,当相邻两个试样的实验结果相反时,则增加一条新的并行实验分支,直至所有实验的有效实验总数达到实验数量为止;最后取所有有效实验的应力值的算术均值作为该材料的疲劳强度的估计值,取所有有效实验的应力值的标准差作为该材料的疲劳强度的标准差估计值。本发明通过引入多并行分支升降支路同时进行实验,可以大大缩短实验测试周期,快速给出试样的疲劳寿命或疲劳强度的测试结果。本发明可在不降低准确性和可靠度的前提下,缩短试验周期。且试样数越多,本方法优势越明显。



1. 一种用于疲劳强度测试的并行分支升降法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤100,根据升降法的要求准备实验和试样,确定试样疲劳强度测试对应的寿命N,预估实验的初始应力值和应力级差,然后在设定的循环数内对试样进行实验;

步骤200,当相邻两个试样的实验结果相反时,则增加一条并行实验分支,对并行实验分支的试样采用同样的实验条件进行实验,但其初始应力值采用这两个相邻试样的应力值的平均值,应力级差保持不变;

步骤300,重复上述实验过程,并不断在主干路符合条件时建立一条新并行实验分支,直至所有实验的有效实验总数达到实验数量为止;

步骤400,取所有有效实验的应力值的算术均值作为该材料的疲劳强度的估计值,取所有有效实验的应力值的标准差作为该材料的疲劳强度的标准差估计值。

2. 根据权利要求1所述的并行分支升降法,其特征在于,

所述当相邻两个试样的实验结果相反时,是指相邻出现的分别表示通过当前实验条件和未通过当前实验条件的两个试样的实验数据。

3. 根据权利要求2所述的并行分支升降法,其特征在于,

在主干路的实验过程中,如前一个试样在循环数内被破坏,则下一试样以前一个试样的应力值减去应力级差后作为当前应力值开始进行实验;如

前一个试样在循环数内未被破坏,则下一试样以前一个试样的应力值加上应力级差后作为当前应力值开始进行实验。

4. 根据权利要求1所述的并行分支升降法,其特征在于,

所述应力级差为预估值,取值为所述初始应力值的4%~6%。

5. 根据权利要求1所述的并行分支升降法,其特征在于,

在主干路中,已经作为建立并行实验分支的两个试样的实验数据,不再与别的试样的实验数据配合使用。

6. 根据权利要求1所述的并行分支升降法,其特征在于,

其中实验过程中的试样是采用随机取样的方式。

7. 根据权利要求1所述的并行分支升降法,其特征在于,

在主干路的第一对相邻试样出现相反结果之前的实验数据为无效数据。

一种用于疲劳强度测试的并行分支升降法

技术领域

[0001] 本发明涉及力学实验领域,特别是涉及一种在进行疲劳强度测试主干实验时,增加多条支路同时进行,以缩短实验周期的并行分支升降法。

背景技术

[0002] 升降法是由于敏感性实验的重要方法。在疲劳研究领域,升降法通过敏感性实验和参数估计,给出指定寿命下疲劳强度的分布,或是指定应力下疲劳寿命的分布,一般需要获取该试样的疲劳强度的估计值,和疲劳强度的标准差。然而,在传统升降法的实验过程中,后一个试样的加载应力需要根据前一个试样的实验结果而定,所以实验要依次进行。这大大限制了疲劳实验的效率,特别是应用于高周次的疲劳强度测试中,其耗时将特别长。目前已有一些对升降法的调整和改进,但均着手于最终实验数据的统计和分析上,而在实验测试方面没有实质性的改进和提升。

发明内容

[0003] 本发明的目的是要提供一种在进行疲劳强度测试主干实验时,通过增加多条支路同时进行实验的方式,用于缩短实验周期的并行分支升降法。

[0004] 特别地,本发明提供一种用于疲劳强度测试的并行分支升降法,包括如下步骤:

[0005] 步骤100,根据升降法的要求准备实验和试样,确定试样疲劳强度测试对应的寿命 N ,预估实验的初始应力值和应力级差,然后在设定的循环数内对试样进行实验;

[0006] 步骤200,当相邻两个试样的实验结果相反时,则增加一条并行实验分支,对分支的试样采用同样的实验条件进行实验,但其初级应力值采用这两个相邻试样的应力值的平均值,应力级差保持不变;

[0007] 步骤300,重复上述实验过程,并不断在主干路符合条件时建立一条新分支,直至所有实验的有效实验总数达到实验数量为止;

[0008] 步骤400,取所有有效实验的应力值的算术均值作为该材料的疲劳强度的估计值,取所有有效实验的应力值的标准差作为该材料的疲劳强度的标准差估计值。

[0009] 进一步地,所述当相邻两个试样的实验结果相反时,是指相邻出现的分别表示通过当前实验条件和未通过当前实验条件的两个试样的实验数据。

[0010] 进一步地,在主干路的实验过程中,如前一个试样在循环数内被破坏,则下一试样以前一个试样的应力值减去应力级差后作为当前应力值开始进行实验;如

[0011] 前一个试样在循环数内未被破坏,则下一试样以前一个试样的应力值加上应力级差后作为当前应力值开始进行实验。

[0012] 进一步地,所述应力级差为预估值,取值为所述初始应力值的4%~6%。

[0013] 进一步地,在主干路中,已经作为建立并行实验分支的两个试样的实验数据,不再与别的试样的实验数据配合使用。

[0014] 进一步地,其中实验过程中的试样是采用随机取样的方式。

[0015] 进一步地,在主干路的第一对相邻试样出现相反结果之前的实验数据为无效数据。

[0016] 本发明是对已有升降法的测试过程进行的改进,通过引入并行实验分支,多支路同时进行实验,可以大大缩短实验测试周期,快速给出试样的疲劳寿命或疲劳强度的测试结果。相比传统的升降法,本发明可在不降低准确性和可靠度的前提下,缩短试验周期。且试样数越多,本方法优势越明显。

[0017] 本发明提供了简单的数据统计方法,可以方便地由实验数据得到疲劳强度的估计结果。

附图说明

[0018] 图1是根据本发明一个实施例的并行分支升降法的流程示意图;

[0019] 图2是根据本发明一个实施例中根据主干路数据建立并行实验分支的流程示意图。

具体实施方式

[0020] 如图1所示,本发明一个实施例的用于疲劳强度测试的并行分支升降法一般性地包括如下步骤:

[0021] 步骤100,根据升降法的要求准备实验和试样,确定试样疲劳强度测试对对应的寿命 N ,预估实验的初始应力值和应力级差,然后在设定的寿命 N 内对试样进行实验;

[0022] 具体的实验条件和实验方式与现有的升降法一致。材料的疲劳强度是在指定疲劳寿命下,试样发生失效时的应力水平,给定疲劳寿命 N 下的疲劳强度被认为是自由变量。

[0023] 初始应力值可以采用预估的方式确定,初始应力值作为第一件试样的加载应力水平。而应力级差同样是一个预估值,也可以以初始应力值作为基准选取其值的4%~6%作为应力台阶值,本实施例选用初始应力值的5%作为此次实验的应力级差。其中每次实验时,试样的选用是采用随机取样的方式。

[0024] 步骤200,当相邻两个试样的实验结果相反时,则增加一条并行实验分支,对并行实验分支的试样采用同样的实验条件进行实验,但其初始应力值采用这两个相邻试样的应力值的平均值,应力级差保持不变;

[0025] 实验过程中,当主干路相邻两个实验数据表现出通过实验和未通过实验时,即为该步骤所说的实验结果相反的情况。试样在给定的应力值下进行疲劳强度测试,在通过设定条件时即为通过实验。而在给定应力值下未通过设定条件的即为未通过实验。此时,新建立一条并行实验分支,并行实验分支的第一个试样的应力值取主干路上这两个试样的应力值的平均值作为加载应力值。该并行实验分支除初始应力值外,其它的条件和实验方式都与主干路完全一致。分支与主干线同时进行实验。

[0026] 步骤300,重复上述实验过程,并不断在主干路符合条件时建立一条新并行实验分支,直至所有实验的有效实验总数达到实验数量为止;

[0027] 新并行实验分支的建立条件即是主干路上出现两个实验数据相反时的情况,在本实施例中仅考虑两个试样的实验数据出现相反的情况,而且已经作为并行实验分支建立条件的试样的实验数据,不再重复考虑。

[0028] 如图2所示,如:主干路的2、3试样的实验结果相反,则可建立一个并行实验分支,并以2、3试样的应力值的平均值作为并行实验分支中第1个试样的初始应力值。此时主干路的5、6也表现出实验结果相反的情况,那么,5试样不会与4试样再作为一个建立新并行实验分支的基础,而是与6试样形成一个建立新并行实验分支的基础。

[0029] 本步骤所说的实验数量是指用于此次疲劳强度试验所使用的试样的数量,每个试样产生一个数据结果。而获取到预定数量的数据,也是一种满足实验数量的方式。如:采用30个试样,主干路用了15个,并行实验分支一中有6个,并行实验分支二中有5个,并行实验分支三中有4个,此时即不需要再建立新的并行实验分支。

[0030] 步骤400,取所有有效实验的应力值的算术均值作为该材料的疲劳强度的估计值,取所有有效实验的应力值的标准差作为该材料的疲劳强度的估计值。

[0031] 这里的有效实验包括主干路和并行实验分支中的所有实验数据。由于初始应力值采用的是预估的方式,所以可能无法立即测试出试样的疲劳强度,只有在经过几次实验调整校后才会产生有用的数据,因此,在主干路的第一对相邻试样出现相反结果之前的实验数据一般视为无效数据。

[0032] 本实施例是对已有升降法的测试过程进行的改进,通过引入并行实验分支,多支路同时进行实验,可以大大缩短实验测试周期,快速给出试样的疲劳寿命或疲劳强度的测试结果。相比传统的升降法,本实施例在不降低准确性和可靠度的前提下,缩短试验周期。且试样数越多,本方法优势越明显。

[0033] 进一步地,在本发明的一个实施例中,为获取更好的实验结果,在实验过程中,如前一试样在指定寿命N之前发生破坏,则下一试样以前一试样的应力值减去应力级值后作为本身的应力值进行实验,如前一个试样在指定寿命N内未发生破坏,则下一试样以前一试样的应力值加上应力级差后作为自身的应力值进行实验。

[0034] 如:设前一个试样的应力值为 $S(i)$,应力级差为 d ,如其加载达到指定寿命N仍未发生破坏,则后一试样的应力值为 $S(i)+d$,应力级差 d 保持不变。其中 i 表示前一个试样,如其未到指定寿命N就发生破坏,则后一试样的应力值为 $S(i)-d$,应力级差 d 保持不变。

[0035] 给定疲劳寿命N下的疲劳强度被认为是自由变量,通常按照正态分布来表达,

$$[0036] \quad P(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right] dy$$

[0037] 式中 $y=S$ (在N下的疲劳强度), μ_y 和 σ_y 分别是 y 的平均值和标准差。预估在该寿命下的疲劳强度平均值 μ_y 和疲劳强度的标准差 σ_y 。

[0038] 以下以具体的例子来说明本方法的执行过程。

[0039] 设所需有效实验的试样数为30,随机选取一件试样,取初始应力值 S_1 为700MPa,应力台阶值 d 为预估为50MPa,表1给出了主干路的实验数据。

[0040] 表1 主干路的实验数据

[0041]

| 试样序列号 | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 应力 (Si/MPa) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 800 | | | × | | × | | × | | | | × |
| 750 | | ○ | | ○ | | ○ | | × | | ○ | |
| 700 | ○ | | | | | | | | ○ | | |

[0042] 其中○表示试样在给定疲劳寿命N之前没有发生破坏, ×表示试样在给定疲劳寿命N之前发生破坏。

[0043] 由表1中可看出, 由于第2件试样和第3件试样实验结果相反, 所以第2件试样开始为有效数据, 且由于这两件相邻实验出现了相反结果, 由这两件实验之后, 即增加并行实验分支1, 初始应力(并行实验分支中第一件试样的加载应力) 取为 $(750+800)/2=775\text{MPa}$ 。并行实验分支1的实验数据如表2所示。

[0044] 表2并行实验分支1的升降法数据

| 试样序列号 | | | | | | | | |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 应力 (Si/MPa) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 875 | | | | | | | × | |
| 825 | | | | | | ○ | | ○ |
| 775 | × | | × | | ○ | | | |
| 725 | | ○ | | ○ | | | | |

[0045]

[0046] 主干路的第4和第5件试样是第2次相邻实验出现相反结果, 第6和第7件, 第8和第9件均出现相邻实验的相反结果, 因此增加第2、第3、第4并行实验分支。第11和12件也是相邻实验出现相反结果, 但是第5并行实验分支开设之前, 总的有效实验数量已经达到30件, 故不需再增加新的并行实验分支。第2和3并行实验分支的实验数据分别如表3和4所示。第4并行实验分支只进行了两次实验, 应力水平分别为725MPa、775MPa。

[0047] 表3 并行实验分支2的升降法实验数据

| 试样序列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------|---|---|---|---|---|---|
| 825 | | | | × | | |
| 775 | × | | ○ | | × | |
| 725 | | ○ | | | | ○ |

[0048]

[0049] 表4 并行实验分支3的升降法实验数据

| | 试样 | | | |
|------------|----|---|---|---|
| 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| [0050] 825 | | × | | |
| 775 | ○ | | × | |
| 725 | | | | ○ |

[0051] 表5给出了本组升降法数据的汇总。

[0052] 表5 并行实验分支升降法实验数据(应力单位:MPa)

| | 加载顺序 | | | | | | | | | | |
|-------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 分支 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 主干 | 700 | 750 | 800 | 750 | 800 | 750 | 800 | 750 | 700 | 750 | 800 |
| [0053] 分支 1 | | | | 775 | 725 | 775 | 725 | 775 | 825 | 875 | 825 |
| 分支 2 | | | | | | 775 | 725 | 775 | 825 | 775 | 725 |
| 分支 3 | | | | | | | | 775 | 825 | 775 | 725 |
| 分支 4 | | | | | | | | | | 725 | 775 |

[0054] 表5中,除去主干路的第一件试样的初始应力值700MPa为非有效数据外,其余的30件实验均为有效数据。则该材料的疲劳强度为这30件试样测试应力的算术平均:771.66MPa;标准偏差的估值为这30件有效试样测试应力的标准差,即:

[0055]

$$\sqrt{[(750-771.66)^2 + (800-771.66)^2 + (750-771.66)^2 + \dots + (725-771.66)^2 + (775-771.66)^2] / (30-1)} = 39.79\text{MPa}$$

[0056] 用蒙特卡洛方法进行模拟实验,对本申请的方法和《GBT 24176-2009金属材料疲劳试验数据统计方案与分析方法》中的方法以及一种“对子升降法”进行对比,每次实验后,用参数估计方法求均值、标准差。用每种升降法进行1000次实验,并计算这些估计值与实际值的偏差的二阶矩,当二阶矩为0时,表明该参数估计方法能准确地估计出原参数。实验结果如表6和表7所示。其中,表6中,每次升降法实验的有效试样数为30;表7中,每次升降法实验的有效试样数为80。

[0057] 表6 不同升降法参数估计偏差

| | 方法 | 均值 | 标准差 |
|--------|------------|---------------|---------------|
| [0058] | GB | 0.0042 | 0.1235 |
| | 对子升 | 0 | 0.1006 |
| [0059] | 降法 | 0 | 0.0628 |
| | 分支升 | 0 | 0.0628 |
| | 降法 | 0 | 0.0628 |

[0060] 表7 不同升降法参数估计偏差

| | 方法 | 均值 | 标准差 |
|--------|-----------|---------------|---------------|
| | GB | 0.0044 | 0.0510 |
| [0061] | 对子升降法 | 0 | 0.0814 |
| | 分支升降法 | 0 | 0.0436 |

[0062] 用不同的参数估计方法所得到的参数对1%失效概率对应的疲劳强度进行估计,1000次估计的结果与实际值进行对比,同样用估计值与实际值的偏差的二阶矩来评估估计结果。当样本试样数为30件时,三种升降法对应的偏差的二阶矩分别为:GB,0.0114;对子升降法,0.0062;加速升降法,0.0046。当样本试样数为80件时,三种升降法对应的偏差的二阶矩分别为:GB,0.0088;对子升降法,0.0051;加速升降法,0.0027。

[0063] 由3种估值方法估值结果的对比看出,并行分支升降法显著降低了实验周期(试样数为30件时,实验时间减少了76%;试样数为80件时,实验时间较少了80%),估值精度没有降低,反而高于传统的升降法,明显优于传统方法。

[0064] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

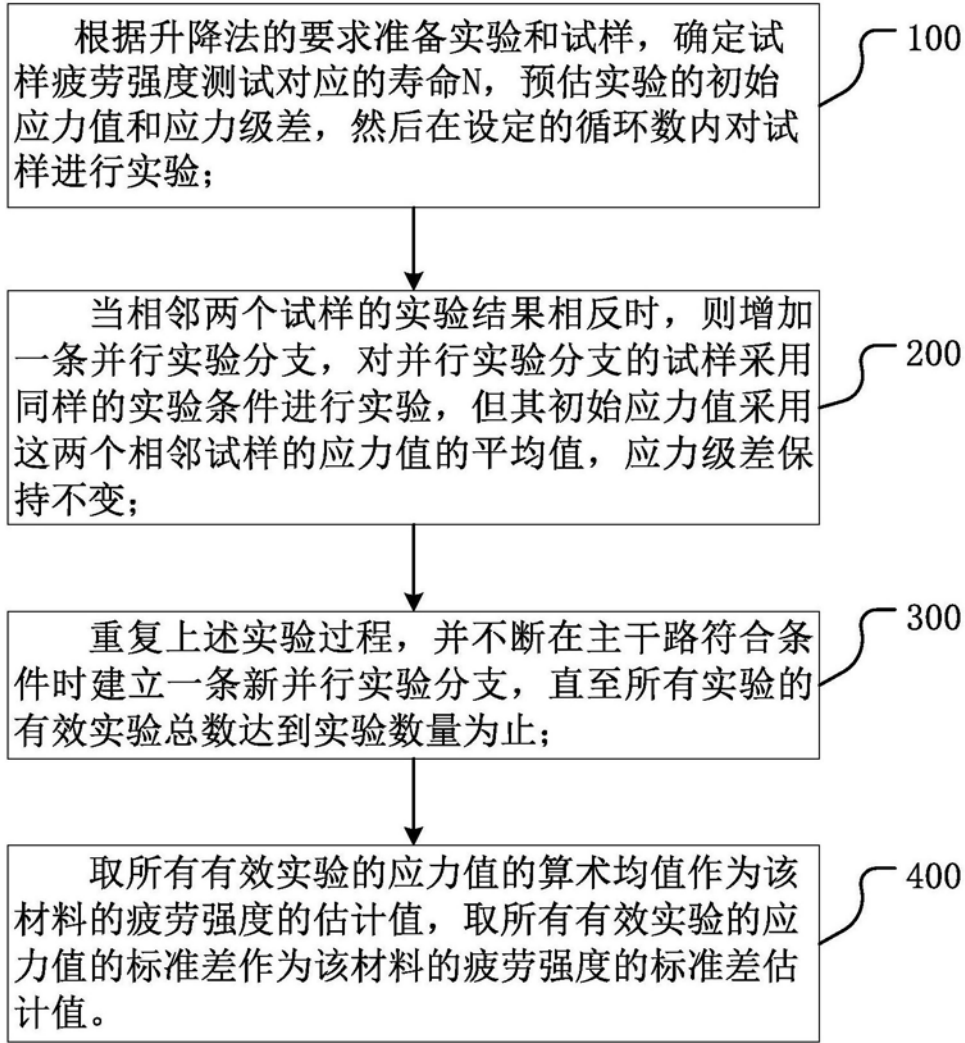


图1

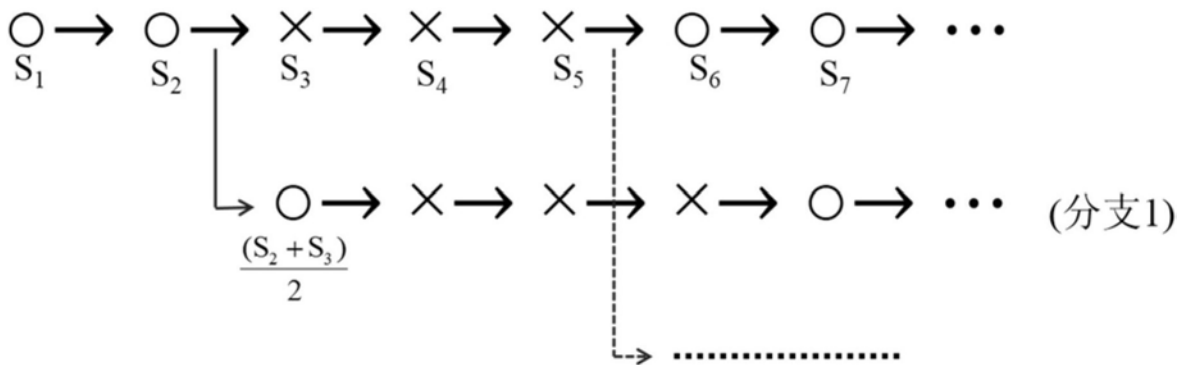


图2