

温度对 40Cr 钢弹性模量影响的实验研究

吉林大学交通学院

刘铁群

吉林大学通信学院

董 冬

大庆石油学院工程训练中心 胥德峰

摘 要

本文报导了温度对 40Cr 钢材料弹性模量影响的实验结果,方法是以应变电测量原理和技术测定 40Cr 钢在 -30°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 、 $+60^{\circ}\text{C}$ 温度下的弹性模量以及温度(1°C)对弹性模量的影响。结果对于传感器弹性体材料的开发和研制具有一定的参考价值,实验方法也可用于其它材料弹性模量的影响。

1 引 言

几乎所有的金属与合金的弹性模量都随温度而变化,一般弹性模量随温度的变化 $\frac{\Delta E}{E}/\Delta t$ 是负值,不同的材料,此值相差很大,对于同一种材料,机械加工与热处理不同时此值也不完全相同。传感器弹性元件的弹性模量随温度而变化会影响传感器的精度,因此,对于高精度的传感器,要测量出其弹性元件的弹性模量随温度的变化数值,以便设法消除或计算出它对传感器精度的影响^[1]。鉴于此,作者对温度对传感器弹性体材料 40Cr 钢的弹性模量影响进行实验研究,方法是以应变电测原理和技术,测定 40Cr 钢在零下 30°C 、零上 20°C 、零上 60°C 时 40Cr 钢的弹性模量,并测得到不同温度时 40Cr 钢的线膨胀系数和电阻应变片灵敏系数,通过实验和理论计算得出温度(1°C)对弹性模量的影响。本实验结果对于传感器弹性体的开发研制,具有一定的参考价值,本实验方法也可用于测量温度对其它材料弹性模量的影响。

2 材料与方法

试验材料为 40Cr 钢,通过机械加工,加工成直径为 10mm,标距为 50mm 的圆柱形试

样,共 5 个。弹性模量测定采用应变测量方法,在 $-30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 内做升温试验,温度对弹性模量的影响也采用应变电测技术进行测量。

3 在 -30°C 、 20°C 、 60°C 下弹性模量与温度对弹性模量影响的测定

在试样中间部位,粘贴标距为 $1 \times 1\text{mm}$ 的胶基泊式电阻应变片,应变片灵敏系数为 2.10,阻值 $120\Omega \pm 0.1\Omega$ 。

试验设备为 CSS41000 电子万能试验机,试验机最大量程为 100kN,载荷通过载荷传感器传递。试验机带有 $-35^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 环境温控箱,可根据需要,在温控仪上设定使用温度,温控仪可使温度保持恒定。

测试用仪器:YJ-Xz 型静态电阻应变仪。

试验温度条件: -30°C 、 20°C 、 60°C 。

将试样装夹到试验机的上、下夹头上,升温或降温,先后测定 -30°C 、 20°C 、 60°C 温度场下,在弹性范围内,对试件施加轴向力。本实验分三级加载,即由:

0 ~ 500N, 500N ~ 1000N, 1000N ~ 15000N
 ΔP 为 500N,取三项加载得出的应变均值。

由 $\sigma = E \cdot \epsilon$ 可知:

$$E = \sigma / \epsilon \quad (1)$$

式中 E —弹性模量

σ —应力

ϵ —应变

(1)式中的 σ , 加载方案确定后, 试件截面积已知, 可计算出来。所以, 只要在材料的比例极限内测出应变 ϵ , 就可以计算出弹性模量 E 。

测试实例, 温度为 -30°C 工况下, 已知试样截面积为 78.5mm^2 , 载荷为 500N , 计算应为 σ 为 0.06369GPa , 测得应变为 0.0003414 , 代入(1)式, 计算出弹性模量为 186.56GPa , -30°C 、 20°C 、 60°C 工况测得的 40Cr 钢弹性模量均值见下表。

40Cr 钢弹性模量均值测试结果表

-30℃时弹性模量 (GPa)	20℃时弹性模量 (GPa)	60℃时弹性模量 (GPa)
186.56	182.4	179.15

在弹性范围内对试件加轴向力 T , 电阻应变片测得轴向应变为 ϵ , 试件材料的弹性模量为^[1]:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{T}{A\epsilon} \quad (2)$$

式中 A —试样的横截面积。

用符号 S 表示电阻应变片对载荷的灵敏度, 即单位载荷下的电阻变化率, 则:

$$S = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{T}{T}} = \frac{K\epsilon}{T} \quad (3)$$

式中 R —电阻

ΔR —电阻改变量

K —电阻应变片灵敏系数

ϵ —应变

T —温度

将式(2)变换为 $\frac{\epsilon}{T} = \frac{1}{AE}$, 并代入上式得:

$$S = \frac{K}{AE} \quad (4)$$

对式(4)两边求导数:

$$\frac{dS}{S} = \frac{dK}{K} - \frac{dA}{A} - \frac{dE}{E}$$

弹性模量的变化率为:

$$\frac{dE}{E} = \frac{dK}{K} - \frac{dA}{A} - \frac{dS}{S} \quad (5)$$

上式中的 $\frac{dE}{E}$ 是温度变化 Δt 时的数值。

温度变化 1°C 时, 弹性模量的变化率为:

$$\frac{\frac{dE}{E}}{\Delta t} = \frac{\frac{dK}{K}}{\Delta t} - \frac{\frac{dA}{A}}{\Delta t} - \frac{\frac{dS}{S}}{\Delta t} \quad (6)$$

用增量形式表示为:

$$\frac{\frac{\Delta E}{E}}{\Delta t} = \frac{\frac{\Delta K}{K}}{\Delta t} - \frac{\frac{\Delta A}{A}}{\Delta t} - \frac{\frac{\Delta S}{S}}{\Delta t} \quad (7)$$

假如试件的线膨胀系数为 β , 则 $\frac{\Delta A}{A}/\Delta t =$

2β , 代入(7)式得:

$$\frac{\frac{\Delta E}{E}}{\Delta t} = \frac{\frac{\Delta K}{K}}{\Delta t} - 2\beta - \frac{\frac{\Delta S}{S}}{\Delta t} \quad (8)$$

式中 $\Delta k/k/\Delta t$ 可以由电阻应变片性能试验求得, 测试方法详见参考文献[2][3], 按参考文献[2][3]的方法测试后计算出:

$$\frac{\frac{\Delta K}{K}}{\Delta t} = 12.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$$

测量 $\frac{\Delta S}{S}$ 的步骤为: 首先对试件加轴向力

P , 根据应变片的灵敏系数 K_1 和测量得到的 ϵ_1 。由(2)式求得 S_1 , 然后加温 Δt , 测得轴向应变 ϵ_2 , 根据温度 t_2 下的 K_2 由(2)式求得 S_2 , 则 $\Delta S = S_2 - S_1$, 将测得数据代入公式后计算出 $\Delta S/\Delta t = 0.62 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。试件的线膨胀系数, 也同样采用应变电测技术测出。将测得数据代入(6)式, 计算出试件温度每变化 1°C 时弹性模量变化率为 $-0.66 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 。

4 结 论

1. -30°C 时 40Cr 钢弹性模量为 186.56GPa , 20°C 时弹性模量为 182.41GPa , 60°C 时弹性模量为 179.15GPa 。

2. $-30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 40Cr 钢弹性模量温度每变化 1°C 时弹性模量变化率为 $-0.66 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 。

(下转第 43 页)

取三种不同型号的槽钢,考察槽钢截面尺寸对试验机基频的影响。

型号	尺寸(mm)				基频(Hz)
	h	b	d	t	
28a	280	82	7.5	12.5	11.915
28b	280	84	9.5	12.5	12.128
28c	280	86	11.5	12.5	12.132

2.2.4 考察槽钢长度对试验机基频的影响

	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组	第六组	第七组
长度(mm)	607	627	647	667	687	707	727
基频(Hz)	11.953	11.830	11.895	11.915	11.793	11.681	11.869

3 结论

由以上几组表格分析试验机的基频与试验机主要结构参数的关系。

1. 试验机立柱:立柱的直径是对试验机的基频影响最大的结构参数,随着直径的增大试验机的基频迅速增大;立柱长度和中心距对试验机基频的影响不显著,但随着立柱长度的增大试验机的基频小幅降低。

2. 试验机下横梁:其长度对试验机的基频没有显著的影响,并且无明显规律可寻,故对试验机的固有频率来说属非关键尺寸。随着下横梁的宽度和高度的增大,试验机的基频逐渐增加。

3. 试验机上横梁:其长度对试验机的基频没有显著的影响,并且无明显规律可寻,故对试验机的固有频率来说属非关键尺寸。

随着上横梁的宽度和高度的增大,试验机的基频逐渐减小。

4. 底座槽钢:随着槽钢的截面尺寸的增加,试验机的基频有略微的增加;槽钢的长度对基频无显著的影响,并且没有显著的规律可寻。

参考文献

- 1 屈维德,唐恒龄.机械振动手册.机械工业出版社.
- 2 张义民.机械振动力学.吉林科学技术出版社,2000.
- 3 李皓月,周田朋,刘相新.ANSYS 工程计算应用教程.
- 4 王国强.实用工程数值模拟技术及其在 ANSYS 上的实现.
- 5 沃德·海伦,斯蒂芬·拉门兹,波尔·萨斯.模态分析理论与试验.
- 6 李德军,项辉宇,王炽鸿,王东.22-25YE2000 型材料试验机机身的静动态有限元分析.工程设计,1995.4.

(上接第 24 页)

参考文献

- 1 吴宗岱,陶宝祺编著.应变电测原理及技术.北京:国防工业出版社,1982,651~655.
- 2 四川省建筑科学研究所,成都科技大学,重庆建筑

工程学院编著.电阻应变测试技术.北京:中国建筑工业出版社,1983,16~20.

- 3 吉林工业大学农机系,第一机械工业部农业机械科学研究所编著.应变片电测技术.1978,53~58.