

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.07.020

纤维增强塑料弯曲强度测量不确定度评定

曾庆磊,刘秋生,张晓玲

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所,河南洛阳 471023)

摘要: 基于 GB/T 1449-2005 和 JJF 1059-1999 标准,对影响纤维增强塑料弯曲强度的各个因素进行分析,通过对各不确定度分量的计算,给出了扩展不确定度以及分析结果,在置信概率为 95% 的条件下,当弯曲强度为 368.96 MPa 时,扩展不确定度为 9.82 MPa($k=2$)。

关键词: 纤维增强塑料; 弯曲强度; 不确定度

中图分类号: TQ327.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)07-0085-03

Evaluation of Uncertainty of Flexural Strength Test for Fiber Reinforced Plastics

Zeng Qinglei, Liu Qiusheng, Zhang Xiaoling

(725 Institute, China Shipbuilding Industry Corporation, Luoyang 471023, China)

Abstract : Base on GB/T 1449-2005 and JJF 1059-1999, the parameters affecting the uncertainty of flexural strength of fiber reinforced plastics were analyzed. The uncertainties induced by each factors were evaluated and the extend uncertainty of flexural strength was given. Experiment results show that the expanded uncertainty is 9.82 MPa($k=2$), as flexural strength is 368.96 MPa at the 95% confidence level.

Keywords : fiber reinforced plastics ; flexural strength ; uncertainty

玻璃纤维增强塑料是以玻璃纤维为增强材料,不饱和聚酯树脂为基体的复合材料。由于其强度相当于钢材,又具有玻璃那样的色泽,在我国被俗称为玻璃钢^[1]。

玻璃纤维增强塑料在实际应用中对其力学性能有很高的要求,从而对力学性能试验的数据是否准确可靠也会有很高的要求,而这些测量数据是否准确可靠与所用计量仪器是否准确以及测量不确定度评定是否合理密切相关^[2]。在对玻璃纤维增强塑料的实际检测操作中发现,影响材料弯曲测试结果的因素有很多,除了结构不同导致弯曲性能不同外,还有很多其它因素,如测量仪器的精度、测量的重复性等^[3]。因此,研究这些因素对测试结果的影响,并形成不确定度报告,有着一定的实用意义。

1 方法概述

根据 GB/T 1449-2005《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》^[4],在环境温度 23.5℃ 下测量了某玻璃纤维增强环氧树脂试样的弯曲强度,相关试验结果见表 1。

测量原理: 用游标卡尺测量试样中点的宽度 b 和厚度 h ,精确到 0.01 mm; 然后测量调节好的跨度 l ,把试样支撑成横梁,于跨度中心以恒定的速度

(2 mm/min) 对试样施加载荷直至破坏,记录试验破坏载荷 P ,精确到 0.1 N; 代入计算公式得出弯曲强度。

表 1 纤维增强塑料弯曲强度测量结果

试样编号	宽度/mm	厚度/mm	跨距/mm	弯曲强度/MPa
1	15.57	5.04	80	364.49
2	15.73	4.98	80	364.73
3	15.62	4.95	80	385.95
4	15.49	5.08	80	369.53
5	15.50	5.06	80	363.72
6	15.56	5.06	80	361.38
7	15.53	5.04	80	373.50
8	15.58	5.08	80	359.01
9	16.08	5.09	80	377.04
10	15.61	5.02	80	370.27
均值	15.63	5.04	80	368.96

仪器设备: MTS QT/25 型万能电子拉力试验机 (1~25 000 N),示值误差为 $\pm 1.0\%$; 游标卡尺测量范围 0~200 mm,示值误差为 ± 0.01 mm; 钢板尺测量范围 0~300 mm,示值误差为 ± 1 mm。

不确定度评定标准: JJF 1059-1999《测量不确定度评定与表示》^[5]。

联系人: 曾庆磊,硕士,助理工程师,主要从事非金属材料性能评价和检测研究工作

收稿日期: 2013-04-20

2 数学模型

弯曲强度的计算公式为:

$$\sigma = \frac{3P \cdot l}{2b \cdot h^2} \quad (1)$$

式中: σ 为弯曲强度, MPa; P 为破坏载荷, N; l 为跨距, mm; b 为试样宽度, mm; h 为试样厚度, mm。

根据式 (1) 可知, 在检测过程中主要有试样宽度、厚度以及弯曲强度的测量重复性引起的不确定度, 称之为 A 类标准不确定度; 还有破坏载荷、跨距、游标卡尺引起的不确定度, 称之为 B 类标准不确定度。

3 不确定度评定

3.1 测量不确定度评定方法

A 类标准不确定度分量是用统计分析法来评定的, 可用平均值的标准差 s 与测量次数的开方 $n^{1/2}$ 的比值来计算, 即

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

B 类标准不确定度分量不能用统计分析法评定, 而是基于其它方法估计概率分布或分布假设来评定标准差并得到标准不确定度^[6]。若只是考虑仪器本身的误差, 可以得到 B 类标准不确定度分量为

$$u_B = \frac{a}{c} \quad (3)$$

式中: a 是指仪器本身的误差值, 即其误差范围为 $(x-a, x+a)$; c 的取值与仪器误差分布的特性有关。

若仪器的误差在区间内均匀分布时, 则 $c = \sqrt{3}$ ^[7]。即:

$$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

设测试值 D 与直接测量值 $x, y, z \cdots$ 之间存在函数关系 $D=f(x, y, z \cdots)$, 并分别用 $u(x), u(y), u(z) \cdots$ 来表示各测得值的不确定度, 则总不确定度 $u(D)$ 应是所有不确定度分量的合成。假设 $x, y, z \cdots$ 各个量是相互独立的, 则可得到:

$$u(D) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 u(x)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 u(y)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 u(z)^2 + \cdots} \quad (5)$$

3.2 测量不确定度评定

(1) 试样宽度 b 的不确定度。

①游标卡尺的示值误差引起的不确定度 $u(b_1)$ 。

试验所用游标卡尺的示值误差为 ± 0.01 mm, 其误差范围为 $[-0.01, +0.01]$, 根据式 (4) 可得游标卡尺引起的标准不确定度为:

$$u(b_1) = 0.01/\sqrt{3} = 0.00577(\text{mm})$$

②宽度测量重复性引起的不确定度 $u(b_2)$ 。

根据式 (2) 可得

$$u(b_2) = s/\sqrt{n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (b_i - \bar{b})^2}{10 \times (10-1)}} = 0.0548(\text{mm})$$

故试样宽度的合成标准不确定度为:

$$u'(b) = \sqrt{u(b_1)^2 + u(b_2)^2} = 0.0551(\text{mm})$$

即试样宽度的相对标准不确定度为:

$$u(b) = u'(b)/\bar{b} = 0.0551/15.63 = 0.352\%$$

(2) 试样厚度 h 的不确定度。

①游标卡尺示值误差引起的不确定度 $u(h_1)$ 。

试验所用游标卡尺的示值误差为 ± 0.01 mm, 其误差范围为 $[-0.01, +0.01]$, 根据式 (4) 可得游标卡尺引起的标准不确定度为:

$$u(h_1) = 0.01/\sqrt{3} = 0.00577(\text{mm})$$

②厚度测量重复性引起的不确定度 $u(h_2)$ 。

根据公式 (2) 可得

$$u(h_2) = s/\sqrt{n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (h_i - \bar{h})^2}{10 \times (10-1)}} = 0.0144(\text{mm})$$

故试样厚度的合成标准不确定度为:

$$u'(h) = \sqrt{u(h_1)^2 + u(h_2)^2} = 0.0155(\text{mm})$$

即试样厚度的相对标准不确定度为:

$$u(h) = u'(h)/\bar{h} = 0.0155/5.04 = 0.308\%$$

(3) 弯曲强度 σ 测量重复性的不确定度。

根据式 (2), 可得弯曲强度重复测量引起的不确定度:

$$u(\bar{\sigma}) = s/\sqrt{n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{10 \times (10-1)}} = 2.58(\text{MPa})$$

即弯曲强度的相对标准不确定度为:

$$u(\sigma) = u(\bar{\sigma})/\bar{\sigma} = 2.58/368.96 = 0.699\%$$

(4) 破坏载荷 P 的不确定度。

查阅 MTS QT/25 型电子拉力试验机的检定证书, 可以得知该仪器的示值误差不确定度为 1.0%, 其中包含因子 $k=2$, 所以该仪器的相对标准不确定

度为:

$$u(P)=1.0\%/2=0.500\%$$

(5) 跨距 l 的不确定度。

跨距调节引入的不确定度主要由钢板尺测量的示值误差所致。所用钢板尺示值误差为 $\pm 1 \text{ mm}$, 其误差范围为 $[-1, +1]$, 根据式 (4) 可得钢板尺的标准不确定度为:

$$u'(l) = 1/\sqrt{3} = 0.577(\text{mm})$$

即跨距的相对标准不确定度为:

$$u(l) = u'(l)/\bar{l} = 0.577/80 = 0.721\%$$

3.3 其它因素引起的不确定度

在实际试验中, 影响力学测试的因素还有很多, 如试验环境温度和湿度波动的影响、工装的影响等, 考虑到其对纤维增强塑料弯曲强度测试的影响很微小, 可以忽略。

3.4 弯曲强度合成相对标准不确定度

$$\begin{aligned} u_{\text{rel}} &= \sqrt{u^2(b) + 4u^2(h) + u^2(\sigma) + u^2(P) + u^2(l)} \\ &= 1.33\% \end{aligned}$$

由测试结果可知, 弯曲强度平均值为 368.96 MPa , 故弯曲强度合成相对标准不确定度为:

$$u = u_{\text{rel}} \times \bar{\sigma} = 1.33\% \times 368.96 = 4.91(\text{MPa})$$

3.5 弯曲强度的扩展不确定度

扩展不确定度 U 是由总不确定度 u_R 与置信概率 P 相对应的包含因子 k 的乘积构成, 即

$$U = ku \quad (6)$$

取置信概率为 95%, 查询 JJF 1059-1999 可得, $k=2$ 。故扩展不确定度为: $U=2u=2 \times 4.91=9.82(\text{MPa})$ 。

3.6 不确定度报告

本次试样弯曲强度测试结果为: $\sigma = \bar{\sigma} \pm U = 369.96 \pm 9.82(\text{MPa})$, 包含因子 $k=2$ 。这表明, 可以期望在 $(368.96-9.82) \sim (368.96+9.82) \text{ MPa}$ 的区间包含了弯曲强度测量结果可能值的 95%。

4 结论

(1) 在置信概率为 95% 的情况下, 本次试样弯

曲强度的扩展不确定度为 $U=9.82 \text{ MPa}$, 包含因子 $k=2$ 。

(2) 从不确定度分量评定分析来看, 测量重复性及跨距是否精确对弯曲强度不确定度的影响较大。因此, 在日常测试中, 试验仪器设备的计量要及时、准确, 确保其精度; 同时试验操作要求精确, 减少因失误而引起的不确定度。

参考文献

- [1] 苏越晓, 麦玮琛. 玻璃纤维增强塑料浴缸巴氏硬度测定不确定度的分析评定 [J]. 中国新技术新产品, 2012(15):141-142.
Su Yuexiao, Mai Weichen. Evaluation of uncertainty of Barcol hardness test for glass fiber reinforced plastic bath [J]. China New Technologies and Products, 2012(15):141-142.
- [2] 王鑫刚, 吴非. 纤维增强塑料拉伸强度测量不确定度评定 [J]. 测试技术, 2005, 25(6):65-66.
Wang Xingang, Wu Fei. Evaluation of uncertainty of measurement fiberglass [J]. Metrology & Measurement Technology, 2005, 25(6):65-66.
- [3] 韩露明. 影响玻璃纤维增强塑料弯曲性能测试结果的若干因素 [J]. 中国新技术新产品, 2011(21):12-13.
Han Luming. Several factors affecting the test results of flexural properties of glass fiber reinforced plastics [J]. China New Technologies and Products, 2011(21):12-13.
- [4] 国家质量技术监督局. GB/T 1449-2005, 纤维增强塑料弯曲性能试验方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
The State Bureau of Quality and Technical Supervision. GB/T 1449-2005, Test method for flexural properties of fiber reinforced plastics [S]. Beijing: Standards Press of China, 2005.
- [5] 国家质量技术监督局. JJF 1059-1999, 测量不确定度评定与表示 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
The State Bureau of Quality and Technical Supervision. JJF 1059-1999, Evaluation and expression of uncertainty in measurement [S]. Beijing: Standards Press of China, 1999.
- [6] 费业泰. 误差理论与数据处理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
Fei Yetai. Error theory and data processing [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2010.
- [7] 殷广强, 李斌. 夹层结构弯曲性能测试的不确定度评定 [J]. 科学技术与工程, 2011, 11(22):5 486-5 491.
Yin Guangqiang, Li Bin. Evaluation of uncertainty of flexural property test for sandwich constructions [J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(22):5 486-5 491.

东丽公司将增强在华纤维产能

据共同社消息, 日本东丽与其韩国子公司决定在中国的东丽高新聚化(南通)有限公司增设生产设备。新设备计划

于 2014 年 12 月投产。引进新设备后, 东丽高新聚化的高性能聚丙烯长纤维不织布年产能将增加近 2 万 t, 约达 7.8 万 t, 东丽集团的年产能将达 14.1 万 t。
(中化新网)