

玻璃纤维单丝弹性模量测试

DUH-003

摘要：本文介绍了参考《GB/T 21838.1-2019/ISO 14577-1:2015 金属材料硬度和材料参数的仪器化压入试验》测试标准，使用岛津 DUH-211S 动态超显微硬度计对直径约为 17 μm 的玻璃纤维单丝进行压入测试。试验结果表明，对测试材料进行加载 - 卸载压入试验得到的试验力 - 压入深度数据中可得出许多材料参数，DUH-211S 动态超显微硬度计可以轻松对玻璃纤维单丝的压入弹性模量进行高精度评价。

关键词：DUH-211S 玻璃纤维单丝 弹性模量

技术特点：

- ❖ DUH-211S 以其载荷高精度、运行高稳定性可以对微米级纤维单丝进行硬度和模量评价。
- ❖ 丰富的软件分析功能可以轻松查看多种曲线图，从而更直观对比不同数据点之间的特性。

玻璃纤维是一种性能优良的无机非金属材料。英文原名：glassfiber 或 fiberglass。其成分有二氧化硅、氧化铝、氧化钙、氧化硼、氧化镁、氧化钠等。它是以玻璃球或废玻璃为原料，经过高温熔融、络纱、织布等工艺制造形成。玻璃纤维单丝的直径从几微米到 20 多微米，相当于一根头发的 1/20-1/5，每束纤维长丝有数百甚至数千根单丝组成，通常作为复合材料在增强材料、电绝缘材料和保温材料、线路板等方面，广泛应用于如光能和光伏、航空航天、汽车、

电子电器、化工、基础设施等国民经济的各个领域。

对于玻璃纤维单丝其直径和性能不同，直接影响到纤维的生产工艺、产品和质量。本文研究中，参考《GB/T 21838.1—2019/ISO 14577-1:2015 金属材料硬度和材料参数的仪器化压入试验》测试标准，使用岛津 DUH-211S 动态超显微硬度计对直径约为 17 μm 的玻璃纤维单丝进行压入试验，测试 3 种不同工艺成形的单丝弹性模量以便更好地评估其力学性能。

■ 实验部分

1.1 仪器

DUH-211S 动态超显微硬度计

1.2 试验条件

试验类型：	加载 - 卸载试验	试验力范围：	0.1~1961 mN
试验力精度：	$\pm 19.6 \mu\text{N}$ 或显示试验力的 $\pm 1\%$	位移测量范围：	0~10 μm
位移测量精度：	0.0001 μm	显微镜放大倍率：	X500

■ 试验介绍

本文根据《GB/T 21838.1—2019/ISO 14577-1:2015 金属材料硬度和材料参数的仪器化压入试验》标准进行测试。通过玻氏 115°正三角锥压头对测试材料进行加载 - 卸载压入试验得到的试验力 - 压入深度数据中可求出多种材料参数，比如马氏硬度 HM、压入硬度 H_{it} 、压入弹性模量 E_{it} 、压入蠕变率 C_{it} 、压入松弛率 R_{it} 、压入功弹性部分 n_{it} 、根据压入硬度 H_{it} 转换得出的维氏硬度 HV。接下来介绍压入弹性模量 E_{it} 的测定方法。图 1 为 DUH-211S 动态超显微硬度计和压入试验过程示意图。图 2 为压头压入材料的横截面示意图。表 1 为样品信息，表 2 为试验条件。

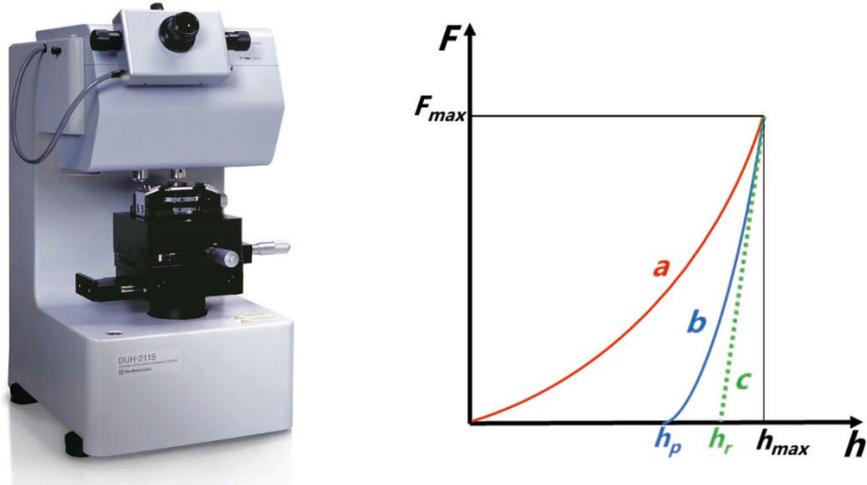


图 1 DUH-211S 动态超显微硬度计和压入试验过程示意图

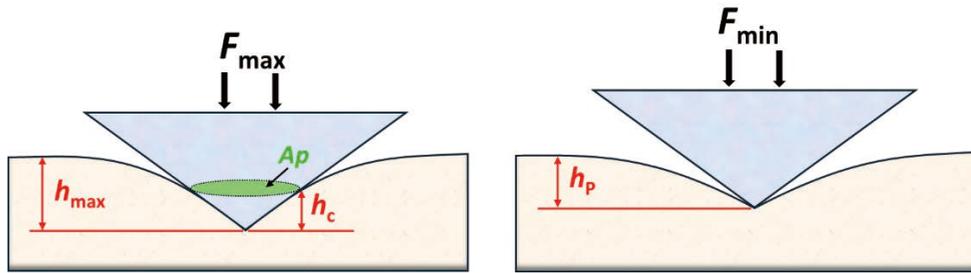


图 2 压头压入材料的横截面示意图

其中：

F_{max} ：最大试验力； F_{min} ：最小试验力；

曲线 a：试验力加载曲线；曲线 b：试验力卸载曲线；曲线 c：曲线 b 在 F_{max} 的切线；

h_{max} ：最大试验力下的最大压入深度；

h_r ：曲线 b 的最大试验力处的切线 c 与压入深度坐标轴的交点

h_c ：最大试验力下压头与试样的接触压入深度；

h_p ：卸载试验力后残余压入深度；

A_p ：从压头顶端到 h_c 处的压头接触投影面积；

$$A_p = 23.96 \times h_c^2$$

H_{it} ：压入硬度，

$$H_{it} = F_{max} / A_p$$

E_{it} ：压痕模量（材料杨氏模量）

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu^2}{E_{it}} + \frac{1 - \nu_i^2}{E_i}$$

E_r ：根据压痕接触情况转换弹性模量；

C_s ：接触柔度，试验力卸载曲线 b 在最大试验力处 dh/dF 的值；

$$\frac{1}{C_s} = \frac{dF}{dh} = \frac{2 \times E_r \times \sqrt{A_p}}{\sqrt{\pi}}$$

V_i : 压头泊松比 (0.07) ;
 E_i : 压头杨氏模量 (1140 Gpa) ;
 V : 试样泊松比;

表 1 样品信息

样品名称	样品尺寸
玻璃纤维单丝 A、B、C	直径约为 17 μm

表 2 试验条件

参数	参数设定
试验模式	加载 - 卸载测试
仪器	DUH-211S 动态超显微硬度计
压头	玻氏 115°正三角锥压头 (金刚石)
最大试验力 (mN)	15
最小试验力 (mN)	0.1
加载最大力保持时间 (s)	20
卸载最小力保持时间 (s)	20
加载速度 (mN/s)	1.4632

■ 试验结果

图 3 为直径 17 μm 的玻璃纤维单丝压入试验前后图。表 3 为 A、B、C 三种玻璃纤维单丝压入试验结果平均值。图 4 为 A、B、C 三种玻璃纤维单丝压入载荷 - 深度曲线图。图 5 为 A、B、C 三种玻璃纤维单丝压入硬度 H_{it} 和压入模量 E_{it} 结果对比柱形图, 可以明显看出, C 工艺成形单丝相较于 A、B 工艺成形单丝的 H_{it} 和 E_{it} 最大, 分别为 5.08 GPa 和 57.14 GPa。

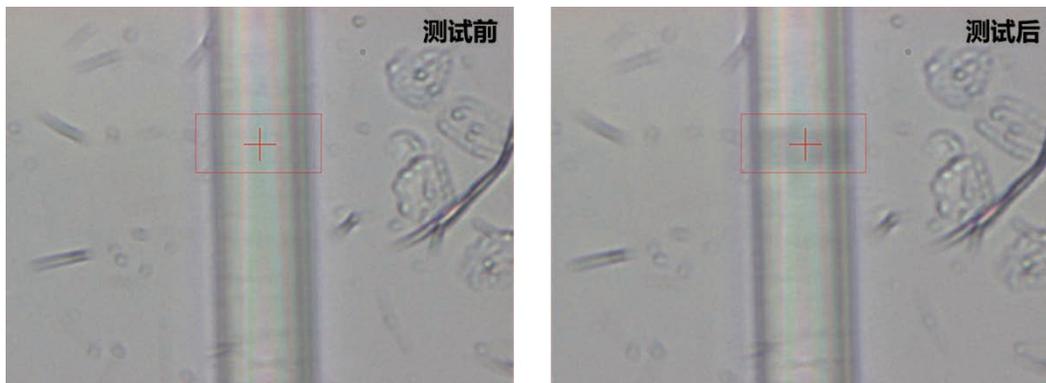


图 3 玻璃纤维单丝压入试验前后图

表 3 试验结果

序号	F_{max} (mN)	F_{min} (mN)	h_p (μm)	h_r (μm)	H_{it} (GPa)	E_{it} (GPa)
A	15.18	1.1157	0.6076	0.9517	0.56	15.85
B	15.21	0.7242	0.4510	0.5516	1.47	24.63
C	15.10	0.4196	0.2114	0.2771	5.08	57.14

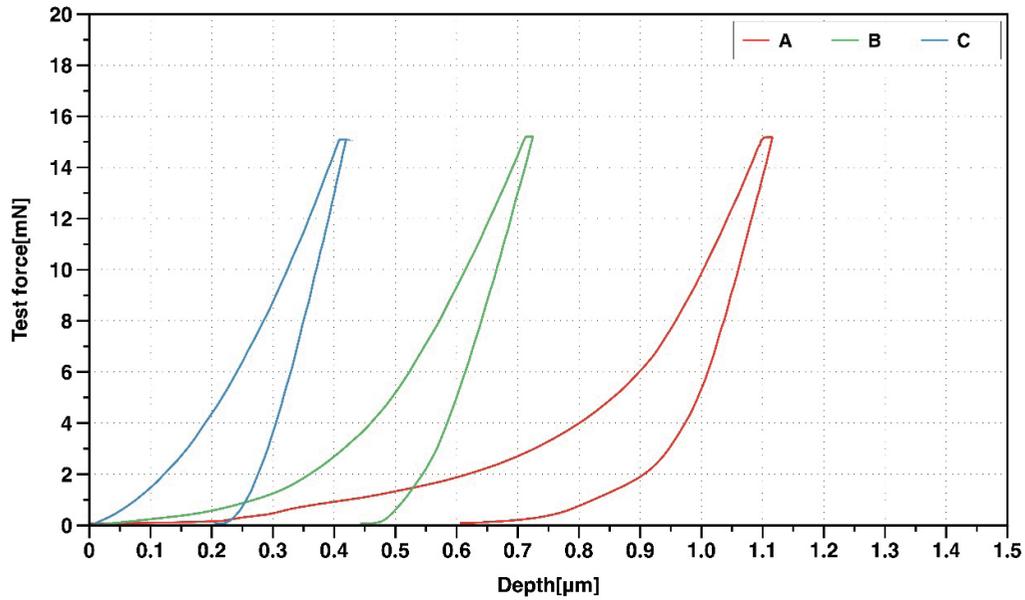


图 4 载荷 - 深度曲线图

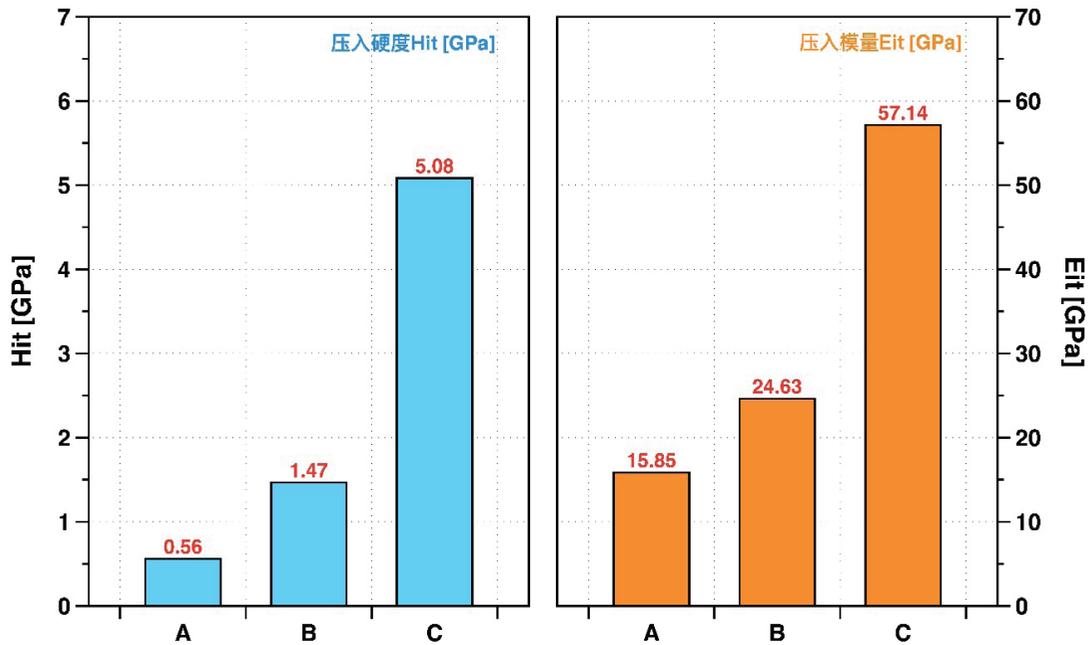


图 5 压入硬度 Hit 和压入模量 Eit 结果对比柱形图

■ 结论

综上所述，参考《GB/T 21838.1—2019/ISO 14577-1:2015 金属材料硬度和材料参数的仪器化压入试验》测试标准，使用岛津 DUH-211S 动态超显微硬度计对直径约为 17 μm 的玻璃纤维单丝进行压入测试，可以轻松对不同工艺成形的微米级纤维单丝进行压入弹性模量高精度评价以便更好地评估其力学性能，从而可以为纤维的生产工艺、质量控制，产品应用提供更好地指导。

岛津应用云

