

YB

中华人民共和国黑色冶金行业标准

YB/T XXXXX—XXXX

炭素材料弯曲性能试验方法

Test method for flexural properties of carbon materials

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

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:中南大学、湖南博云新材料股份有限公司、安徽弘昌新材料有限公司、中国飞机强度研究所、西安超码科技有限公司、湖南金博碳素股份有限公司、冶金工业信息标准研究院、内蒙古清蒙新材料有限公司。

本文件主要起草人:张明瑜、徐惠娟、肖孝天、沈薇、左劲旅、李保健、郑景须、苏哲安、黄启忠、程皓、李军、张旭辉、李丙菊、龚智、安军伟、张亚村。

炭素材料弯曲性能试验方法

1 范围

本文件规定了炭素材料室温弯曲性能试验方法的原理、设备、试样、试验条件、试验步骤、计算和试验报告。

本文件适用于室温下测定三维穿刺炭-炭复合炭素材料和准三维针刺炭-炭复合炭素材料的弯曲强度和弯曲模量。类似结构的炭素材料也可参照执行。

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 1446 纤维增强塑料性能试验方法总则
- GB/T 33501-2017 碳/碳复合材料拉伸性能试验方法

3 术语和定义

GB/T 33501-2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

炭-炭复合炭素材料 C-C composites
碳纤维增强炭基的复合材料。

3.2

三维穿刺碳纤维织物 punctured three-dimensional carbon fibre textile
XY向为连续长碳纤维铺层，Z向采用连续长碳纤维束双向贯穿而制成的三维整体织物。

3.3

三维穿刺炭-炭复合炭素材料 punctured three-dimensional C-C composites
用三维穿刺碳纤维织物作为增强体制备的炭-炭复合炭素材料。

3.4

准三维针刺碳纤维织物 needled quasi-three-dimensional carbon fibre textile
XY向为碳纤维无纬布或碳纤维经编有纬布与短碳纤维网胎铺层，Z向采用针刺工艺引入短碳纤维而制成的准三维整体织物。

3.5

准三维针刺炭-炭复合炭素材料 needled quasi-three-dimensional C-C composites
用准三维针刺碳纤维织物作为增强体制备的炭-炭复合炭素材料。

3.6

XY向 the XY direction
炭-炭复合炭素材料中无纬布或连续长纤维平铺平面的方向。

3.7

Z向 the Z direction
炭-炭复合炭素材料中垂直于XY向的方向。

3.8

弯曲强度 flexural strength

材料在弯曲载荷作用下破坏或达到规定挠度时承受的最大应力。

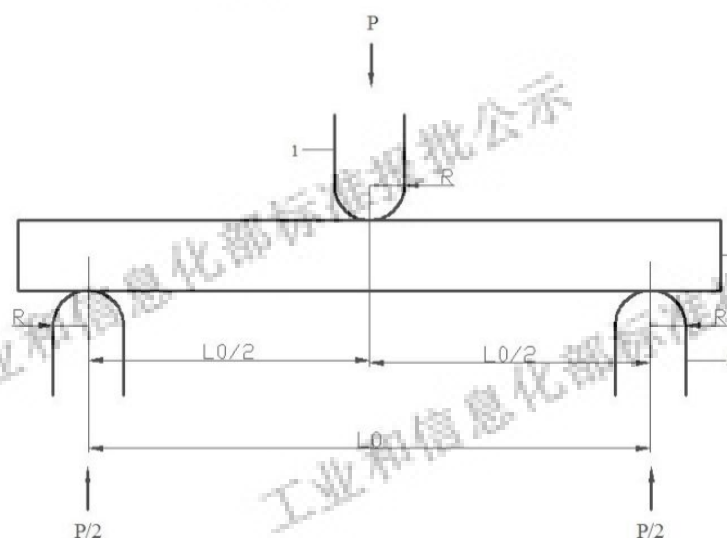
3.9

弯曲模量 flexural modulus

材料在弹性范围内，弯曲应力与相应的弯曲应变之比。

4 原理

采用三点弯曲加载方式，以恒定的速率对试样施加垂直厚度方向的载荷，在试样中间部位形成弯曲应力分布场，直至试样破坏，以测定试样的弯曲强度、弯曲模量。弯曲性能试验原理图见1。



标引序号说明：

1——压头；

2——试样；

3——支座；

R ——半径；

P ——载荷；

L_0 ——跨距。

图1 弯曲性能试验原理图

5 设备

5.1 试验机和测量仪器

试验机量程 50 kN，载荷测量精度为示值的 $\pm 1\%$ ；游标卡尺精度为 0.02mm，千分尺精度为 0.01 mm。

5.2 挠度计或引伸计

挠度计量程 5 mm，引伸计标距 25 mm。

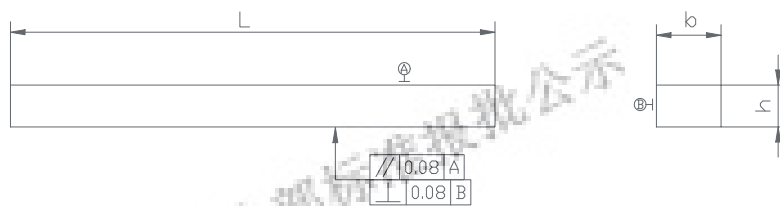
5.3 试验夹具

弯曲试验夹具包括横梁、支座和加载头，支座和加载头的半径 R 为 3 mm，推荐硬度为 HRC42~HRC45，其表面粗糙度 R_a 不大于 $1.6 \mu\text{m}$ 。

6 试样

6.1 试样形状与尺寸

炭素材料弯曲试样为长方体状，试样形状和尺寸分别见图 2 和表 1。



标引序号说明：

L ——弯曲试样长度；

b ——弯曲试样宽度；

h ——弯曲试样厚度。

图 2 炭素材料弯曲试样

表 1 炭素材料弯曲试样尺寸

单位为毫米

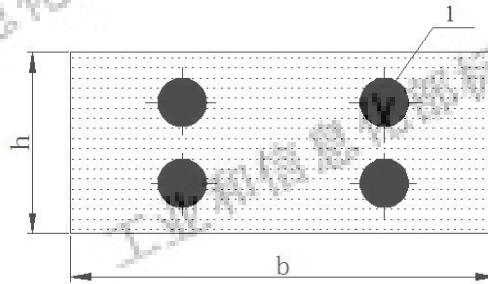
试样类型	方向	形状	试样尺寸			
			L	b	h	L_0
三维穿刺	XY	长方体状	60 ± 0.2	8 ± 0.04	5 ± 0.04	50 ± 0.1
	Z					
准三维针刺	XY					
	Z					

6.2 试样制备

试样制备过程中应遵循如下原则：

- 样坯从制品上切取后，应及时做好方向标记并注明此样坯将会制取成何种方向的弯曲试样；
- 加工后的弯曲试样应进行外观目视检查，不应有纤维剥落、孔洞、掉边掉角、分层等瑕疵；

c) 三维穿刺XY方向取样时，应确保试样长度方向平行坯体X方向或Y方向；Z向取样时，应确保试样长度方向平行坯体Z方向，同时保证Z向纤维束的完整，并与试样厚度方向的两个平面平行，位于试样厚度的对称面上，见图3。



标引序号说明：

1——穿刺纤维束；

b——弯曲试样宽度；

h——弯曲试样厚度。

图3 三维穿刺Z向横截面剖面图

6.3 试样数量

每组有效试样应不少于 5 个。

7 试验条件

实验室标准环境条件应确保：温度为 $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $(50 \pm 10) \%$ 。

8 试验步骤

8.1 试验前准备

8.1.1 按 GB/T 1446 中的规定检查试样外观，对每个试样编号。

8.1.2 试验前，将试样放置在实验室标准环境条件下进行状态调节至少放置 24 h。

8.1.3 试样状态调节后，在试样工作段左、中、右三个截面测量宽度和厚度，并取三次测量的算术平均值。测量精度不小于 0.02 mm。

8.1.4 在试验件长度方向中心位置画一条垂直线，并以该垂线为中心分别画出两条对称的跨距线。

8.1.5 将试验夹具底座横梁上的支座跨距调整为 50 mm，精度为 ± 0.1 mm；然后将 夹具横梁对中放置于试验机压缩平台上，上压头对中夹持于试验机夹头内，压头与支座的轴线平行。

8.1.6 将试样放置于夹具支座上，试样上的中心线与压头中心线对齐，两条跨距线与支座的中心线对齐。

8.1.7 在夹具底座横梁两支座中间位置安装挠度计或引伸计，挠度计的顶头或引伸计转接装置与试样下表面接触。

8.2 试验

8.2.1 载荷调零，挠度计或引伸计位移调零。

8.2.2 以设定的(1~2) mm/min的加载速率对试样连续施加弯曲载荷，直至试样破坏或载荷下降幅度达10%，连续测量载荷-位移数据，记录破坏时的最大载荷和破坏模式。

8.2.3 对试样破坏部位进行外观检查，记录试样破坏模式和拍照。炭素材料弯曲试验的破坏模式参见附录A。

9 计算

9.1 弯曲强度

弯曲强度按公式(1)计算，结果保留3位有效数字：

$$\sigma_f = \frac{3P_{\max}L_0}{2bh^2} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- σ_f ——弯曲强度，单位为兆帕(MPa)；
- P_{\max} ——破坏时最大载荷，单位为牛顿(N)；
- L_0 ——弯曲试样跨距，单位为毫米(mm)；
- b ——试样宽度平均值，单位为毫米(mm)；
- h ——试样厚度平均值，单位为毫米(mm)。

9.2 弯曲模量

弯曲应变按公式(2)计算：

$$\varepsilon_f = \frac{6\delta h}{L_0^2} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

- ε_f ——弯曲应变；
- δ ——跨中挠度，单位为毫米(mm)。

弯曲模量按公式(3)计算，结果保留3位有效数字：

$$E_f = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- E_f ——弯曲模量，单位为兆帕(MPa)；
- $\Delta\sigma$ ——在0.005%~0.03%应变范围内选定的两个应变点间弯曲应力之差，单位为兆帕(MPa)；
- $\Delta\varepsilon$ ——在0.005%~0.03%应变范围内选定的两个应变点间应变差。

9.3 统计

按GB/T 1446的规定计算算术平均值和变异系数。

10 试验报告

试验报告应至少包括下列内容：

- a) 试验项目名称、执行标准；
- b) 试验时间、地点及试验环境条件；
- c) 试样来源、材料品种及规格；
- d) 试样编号、尺寸、试样方向及数量；
- e) 试验设备、仪器的型号及规格；
- f) 加载速率；
- g) 每个试样的载荷-位移曲线；
- h) 每个试样的测定值，每组试样的平均值、标准差与离散系数；
- i) 试验人员、日期及其他。

附录 A
(资料性)

炭素材料弯曲试验的破坏模式

A.1 炭素材料弯曲试验的破坏模式采用三代码形式，用三个大写英文字母表示代码，见表 A.1。

表 A.1 试样破坏模式代码

第 1 个字母		第 2 个字母		第 3 个字母	
破坏类型	代码	破坏区域	代码	破坏部位	代码
拉伸	T	加载头处	A	顶面	T
压缩	C	支座头处	S	底面	B
屈曲	B	加载头和支座头之间	L	左侧	L
层间剪切	S	——	——	右侧	R
断裂	R	——	——	中间	M
多模式	M(x,y,z)	——	——	——	——

注：“——”表示无内容或无代码。

A.2 典型破坏模式和代码示例见图 A.1。

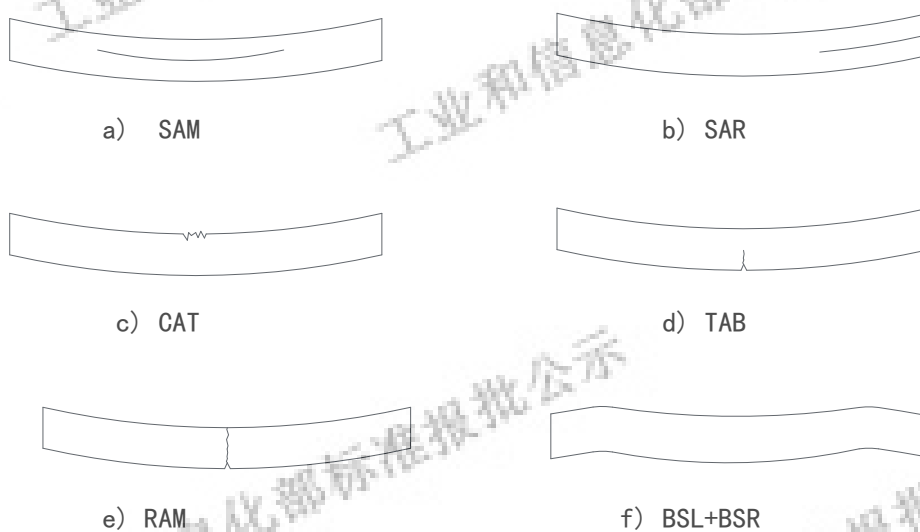


图 A.1 炭素材料弯曲试验典型破坏模式/代码示例