ICS 27.120.10

CCS Q 53

|  |
| --- |
|  |

T/CNS

中国核学会团体标准

T/CNS XXXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

高温气冷堆核动力厂

核石墨构件加工倒角应力集中系数测定方法

Determination of Stress Concentration Factor for Machined Chamfers of Nuclear Graphite Components in High-Temperature Gas-Cooled Reactor Nuclear Power Plants

|  |
| --- |
|  |
| 本稿完成日期：2025年7月 |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国核学会   发布

目  次

[目  次 I](#_Toc17687)

[前  言 III](#_Toc28404)

[高温气冷堆核动力厂核石墨构件加工倒角应力集中系数测定方法 1](#_Toc27839)

[1 范围 1](#_Toc5732)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc12502)

[3 术语和定义 1](#_Toc23056)

[4 符号和说明 1](#_Toc15872)

[5 试验原理及计算公式 2](#_Toc9298)

[5.1 试验原理 2](#_Toc28951)

[5.2 计算公式 2](#_Toc23415)

[6 试验设备 2](#_Toc19301)

[6.1 试验机 2](#_Toc27831)

[6.2 试验夹具 2](#_Toc12996)

[6.3 测量工具 4](#_Toc29313)

[6.4 铭牌和标识 4](#_Toc3528)

[7 试样 4](#_Toc15341)

[7.1 试样制备 4](#_Toc17219)

[7.2 试样加工精度 4](#_Toc735)

[7.3 外观 5](#_Toc25184)

[7.4 试样数量 5](#_Toc19277)

[8 试验程序 5](#_Toc4842)

[8.1 实验室标准环境条件 5](#_Toc10966)

[8.2 试验步骤 5](#_Toc29946)

[9 结果计算 5](#_Toc1599)

[9.1 应力集中系数计算 5](#_Toc21265)

[9.2 数据修约 5](#_Toc15275)

[10 试验报告 5](#_Toc25049)

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。

本标准由中国核学会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中核能源科技有限公司，上海交通大学，清华大学核能与新能源技术研究院，成都方大炭炭复合材料股份有限公司。

本标准主要起草人：易亚楠、朱少民、马少鹏、史力、孙立斌、汪银、刘福生、石琦、彭明锋、陈景、高旭、周俊杰、雍龙海、周士潮。

高温气冷堆核动力厂核石墨构件加工倒角应力集中系数测定方法

1. 范围

本标准规定了高温气冷堆核动力厂核石墨构件加工倒角应力集中系数测定所用的试验原理、试验设备、试样、试验程序和结果计算方法。

本标准适用于核石墨构件加工倒角应力集中系数的测定,其他石墨材料加工件可参照使用。

1. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 1427-2016 炭素材料取样方法

GB/T 8721-2019 碳素材料抗拉强度测定方法

GB/T 3159-2008 液压式万能试验机

GB/T 16491-2022 电子式万能试验机

GB/T 1184-1996 形状和位置公差 未注公差值

GB/T 1800.1-2020 产品几何技术规范（GPS）线性尺寸公差ISO代号体系 第1部分：公差、偏差和配合的基础

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。



应力集中系数 stress concentration factor

倒角区域最大应力与名义应力的比值，用于量化几何突变对局部应力的放大作用。



核石墨构件 nuclear graphite component

用于核反应堆堆芯或辐射环境中的高纯度、高强度、高各向同性石墨材料制成的结构件。



加工倒角 machined chamfer

通过机械加工在构件边缘形成的斜面过渡结构，用于减少几何突变引起的应力集中。

1. 符号和说明

下列符号适用于本文件。

——应力集中系数（无量纲）

——倒角区域最大应力（MPa）

——倒角区域名义应力（MPa）

——抗拉强度（MPa）

——试样受到的拉力载荷（N）

——试样的破坏载荷（N）

*r* ——倒角半径（mm）

*Φ* ——通孔直径（mm）

*L* ——外边长度（mm）

*l* ——载荷作用线与*AA′*截面中心点距离（mm）

*h* ——试样单边宽度（mm）

*a* ——*AA′*截面长度（mm）

*b* ——试样厚度（mm）

1. 试验原理及计算公式
   1. 试验原理

采用L型构件作为核石墨构件加工倒角（沟槽或拐角）的一种简化模型，通过单轴拉伸实验测量L型构件在受载状态下倒角区域的最大应力和名义应力，计算构件的应力集中系数。

作出以下2条合理假设：

1. *A*点处于单向拉伸应力状态且存在拉伸应力集中，所以当*A*点的拉伸应力达到核石墨材料的抗拉强度时，局部破坏便会在试件倒角处发生；
2. 试件一旦在倒角处发生了局部破坏，裂纹便会迅速向试件内部扩展，并造成整个试件的破坏。则当试样加载至最大破坏载荷时，倒角区域最大应力值实际上为材料的抗拉强度。
   1. 计算公式

试样的应力集中系数可表示为：

……………………………（1）

1. 试验设备
   1. 试验机

试验机要求如下。

采用液压式万能试验机时，试验机的性能应符合 GB/T 3159-2008 的规定，测量误差、同轴度级加载速度相对误差不低于1级要求。

采用电子式万能试验机时，试验机的性能应符合 GB/T 16491-2022 的规定，测量误差、同轴度级加载速度相对吴超不低于1级要求。

满足第6.1.1条或6.1.2条时，应同时满足力传感器精度优于0.5%，试样最大加载载荷应在传感器量程的10%~90%之间。

* 1. 试验夹具

夹具与试样的连接形式见图1。

夹具的结构型式、主要尺寸应符合图2的要求，其中，夹具上拉杆与夹具下拉杆尺寸可根据所选试验机实际夹具情况进行调整，需确保夹持的稳定性。

夹具材料应选用在试验条件下不发生变形的金属材料，宜高强度不锈钢。

尺寸公差按 GB/T 1800.1 的规定执行，注公差定为 IT12级。

形位公差按 GB/T 1184 的规定执行，注公差定为 11级。

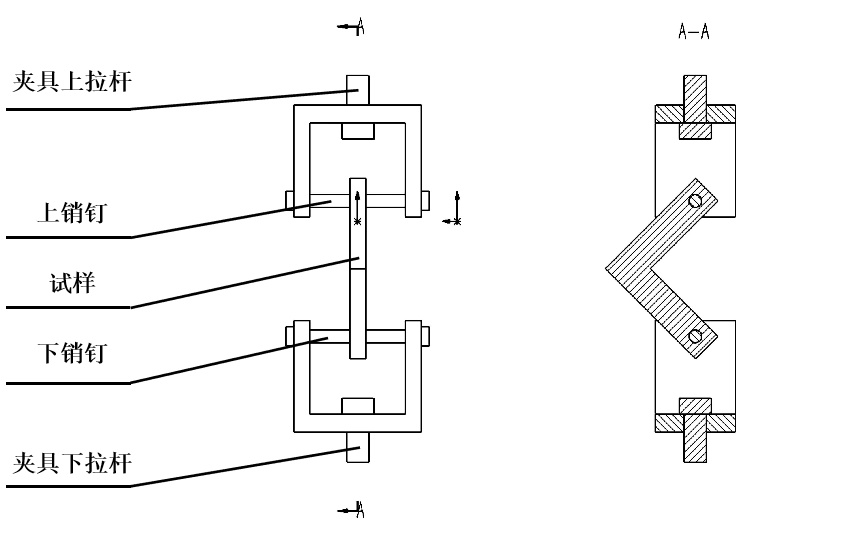
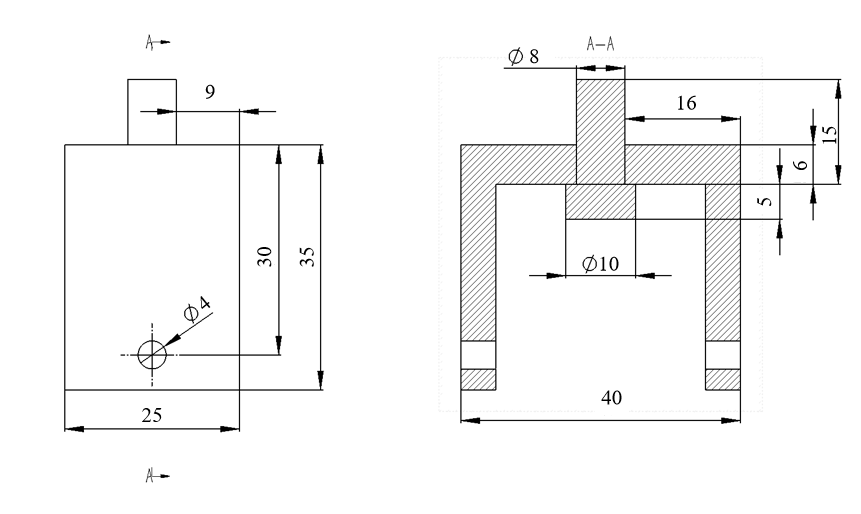
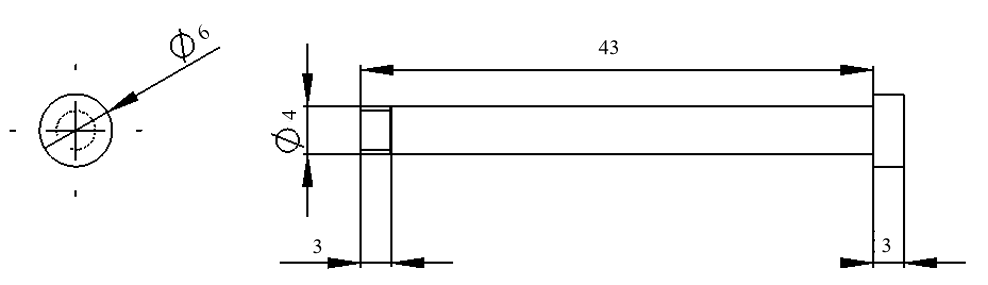


图1 夹具与试样连接形式



(a)夹具本体



(b)销钉

图2 夹具结构型式及尺寸（单位：mm）

* 1. 测量工具

游标卡尺：测量范围0mm~200mm，精度0.01mm.

千分尺：测量范围0mm~25mm，25mm~50mm，精度0.01mm。

* 1. 铭牌和标识

试验机应在显著位置钉有牢固的铭牌，铭牌上至少应清晰标识下列内容：

1. 制造商名称、商标；
2. 试验机的型号和名称；
3. 准确度等级、测量范围；
4. 编号和出厂日期。
5. 试样
   1. 试样制备

根据采购方要求进行取样，或参考GB/T 1427 按批取样。与核石墨构件同批次、同工艺制备的试样。

图3时试样尺寸和形状，试样以*AA’*截面完全对称，其中：*L*=50mm；*l*=25mm；*h*=14mm；*b*=10mm；*Φ*=5mm；*a*与倒角半径相关（约为20mm）；建议倒角半径范围*r*∈[1.0 3.0]mm，倒角半径根据实际设计参数确定。

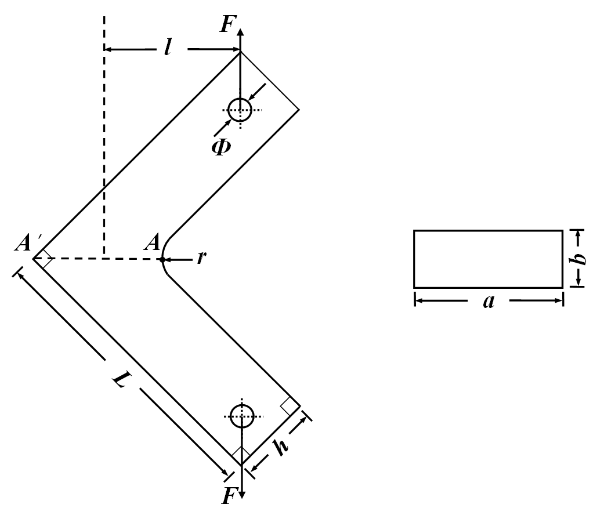


图3 试样形状及尺寸

* 1. 试样加工精度

试样加工精度要求如下：

1. 试样外边长度*L*的尺寸公差±0.10mm；
2. 载荷作用线与*AA′*截面中心点距离*l*的尺寸公差±0.08mm；
3. 试样单边宽度*h*的尺寸公差±0.07mm；
4. 试样厚度*b*的尺寸公差±0.06mm；
5. 试样倒角半径*r*的尺寸公差±0.04mm；
6. 试样通孔直径*Φ*尺寸公差0~0.05mm；
7. 试样厚度方向两个端面平面度公差≤0.03mm；
8. 通孔直径*Φ*圆柱度公差±0.02mm；
9. 试样表面粗糙度Ra≤3.2μm。

注：(a)~(f) 约为GB/T 1800.1 IT10级；(g) 约为GB/T 1184 10级；(h) 约为GB/T 1184 11级。

* 1. 外观

样品的外观棱角完整，应无可见的裂缝、缺口、掉边、凸起、凹坑、空洞等缺陷。

* 1. 试样数量

每组至少5个有效试样。

1. 试验程序
   1. 实验室标准环境条件

将试样放入105℃~110℃鼓风干燥箱内烘干2h，然后贮存于干燥器内冷却至室温备用。

* 1. 试验步骤

试验应按照以下步骤进行。

将合格试样编号，并在105±5℃下烘干2小时，消除环境湿度影响。

对试样进行外观检查，对每个试样进行编号。

测量试样的尺寸，测量L型试样的外边长度、单边宽度、试样厚度、倒角半径，取对称位置测量3次，精确至0.01mm，并做好记录。

将试样放入夹具中，然后将夹具装入试验机上端，使其自然下垂，再将夹具装入试验机下端。

平衡地施加拉伸载荷，加载速度为0.5mm/min，直至试样断裂，记录载荷-位移曲线，记录最大负荷。

每次试样加载前应对试验机进行零点校正。

1. 结果计算
   1. 应力集中系数计算

通过 GB/T 8721 测定核石墨材料的抗拉强度（单位：MPa）；根据公式（1）计算应力集中系数。

* 1. 数据修约

保留至小数点后两位。

1. 试验报告

试验报告一般包括以下内容：

1. 委托单位；
2. 本标准编号；
3. 报告编号；
4. 试验日期；
5. 试样编号、名称及规格；
6. 试验设备型号及校准证书编号；
7. 试验环境温度；
8. 试验时出现的异常情况；
9. 试验结果；
10. 试验、审核人员；
11. 试验日期。

参 考 文 献

[1] GB/T 8170-2008 数值修约规则与极限数值的表示和判定

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_