

ICS 81.060.20

CCS Q04

备案号:

JC

中华人民共和国建材行业标准

JC/T XXXXX—XXXX

碳化硅陶瓷制品 工业计算机层析成像(CT)
检测

Silicon carbide ceramics—Industrial computed tomography (CT) testing

(报批稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

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。

本文件由中国建筑材料联合会提出。

本文件由全国工业陶瓷标准化技术委员会功能陶瓷分技术委员会（SAC/TC194/SC3）归口。

本文件起草单位：中国科学院上海硅酸盐研究所。

本文件主要起草人：杨晓、杨金晶、黄政仁、刘学建、陈忠明、陈健、吴永庆、姚秀敏、刘桂玲、张辉、刘岩。

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

碳化硅陶瓷制品 工业计算机层析成像（CT）检测

警示——使用本文件的人员应有正规实验室工作的实践经验。本文件并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全和健康措施，并保证符合国家有关法律规定的条件。

1 范围

本文件规定了碳化硅陶瓷制品工业计算机层析成像（CT）检测的原理、试验条件、仪器设备、样品、试验步骤、试验数据处理、试验报告。

本文件适用于碳化硅陶瓷制品内部缺陷的工业CT检测，其他陶瓷材料制品内部缺陷的工业CT检测可参照使用。

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，注日期的引用文件，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 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 29070 无损检测 工业计算机层析成像（CT）检测 通用要求

GB/T 34365 无损检测 术语 工业计算机层析成像（CT）检测

GBZ 117 工业X射线探伤防护要求

3 术语和定义

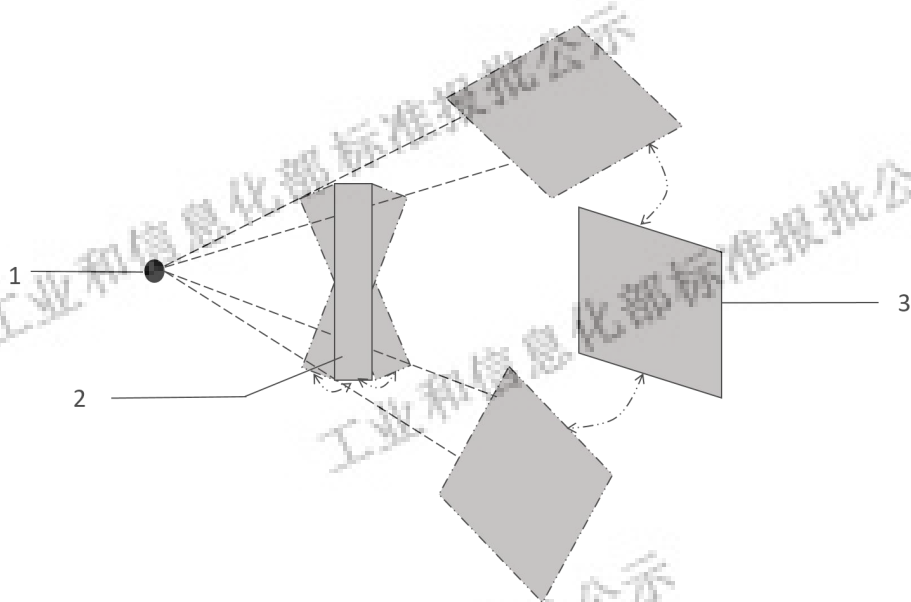
3.1

数字线性扫描 digital laminography; DL

数字线性扫描是通过射线源、探测器以及被测物体在有限角度范围内的相对线性移动，如图1所示，对被观测断层进行辐射扫描以获得图像数据，利用计算机对图像数据重建。

4 原理

工业计算机层析成像（CT）是运用物理技术，以测定X射线穿过物体后得到的衰减系数为基础，采用数学方法求解出衰减系数值在被测物体某剖面上的二维分布矩阵，转变为图像画面上的灰度分布，从而实现重新建立断面图像的成像技术。



标引序号说明：

- 1——射线源；
- 2——被测物体；
- 3——探测器。

图1 数字线性扫描射线源、探测器及被测物体相对位置示意图

5 试验条件

警示——实验室放射防护条件应符合GB 18871、GBZ 117的有关规定，并应配备监测装置。

试验条件应符合以下要求：

- a) 温度 18℃~26℃，相对湿度不大于 75%；
- b) 其他试验条件应符合 GB/T 29070 相关规定。

6 仪器设备

6.1 基本要求

6.1.1 检测系统应由射线源、探测器系统、机械系统、计算机系统、辐射安全防护系统组成。

6.1.2 检测系统应满足 GB/T 29070 的要求。

6.2 性能要求

6.2.1 设备应满足样品可检出最小缺陷的要求，射线源最大管电压与碳化硅陶瓷可检出最小缺陷尺寸的对应关系见表 1。

6.2.2 射线源应为 X 射线源（含电子加速器）。

6.2.3 探测器系统可选用面阵探测器、线阵列探测器或同时装配两种探测器。

6.2.4 线阵探测器宜装有前、后准直器。

6.2.5 机械系统应具备限位功能，超出行程自动锁定。

6.2.6 计算机系统包括控制系统及图像重建系统。

6.2.7 控制系统应配备 UPS 不间断电源。

表 1 最大管电压对碳化硅陶瓷可检出的最小缺陷尺寸对应表

最大管电压 kV	最小缺陷尺寸 mm
160	0.2
225	0.2
300	0.5
450	0.5
600	0.5

6.2.8 图像重建系统应具有图像重建、处理、分析、测量等功能，图像最大重建矩阵应不小于 2048×2048 。

6.3 工装夹具

样品安放如需要工装夹具且工装夹具位于待检区域的检测视场之内时，工装夹具材料应为工程塑料、木制品、碳纤维复合材料等密度低于被检样品的材料；且工装夹具在平行于射线方向的最大厚度应不影响检测。

7 样品

7.1 样品的最大尺寸应不超出设备的检测能力。

7.2 根据检测要求，应对样品表面如残留的加工残渣、附着物等进行清理。

8 试验步骤

8.1 试验准备

8.1.1 样品分析

8.1.1.1 试验前，应对被测试碳化硅陶瓷样品进行整体结构分析，包括其形状、大致结构、检测部位、最大穿透厚度及重量。

8.1.1.2 检测部位最大穿透厚度可以通过实际测量和计算得到。某方向的穿透厚度应为该方向外形尺寸与该方向上所有结构间隙尺寸之差。

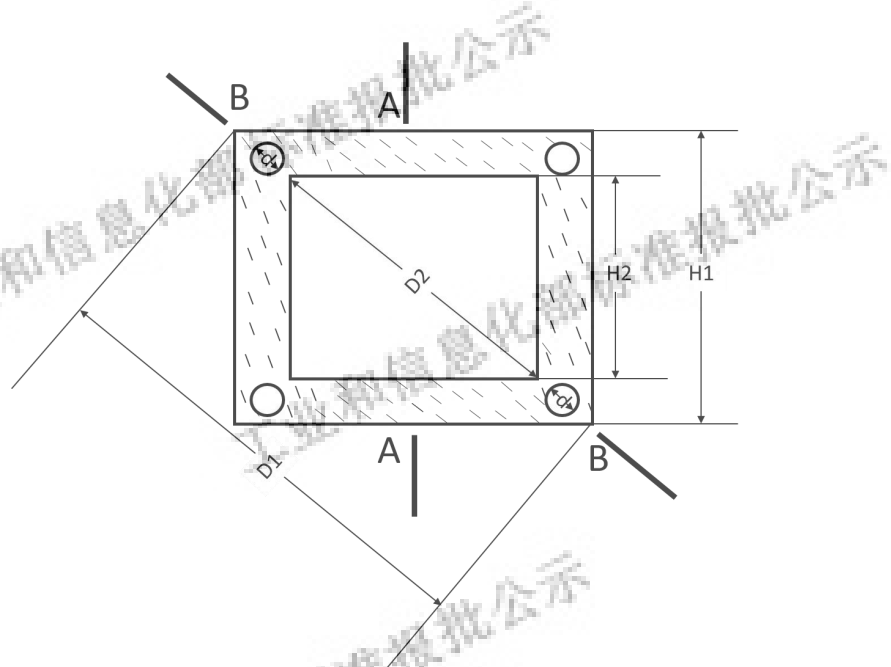
示例：如图 2 所示的样品，A 方向穿透厚度= $H1-H2$ ；B 方向穿透厚度= $D1-D2-2d$ 。

8.1.2 设备准备

8.1.2.1 开机前应进行安全检查。

8.1.2.2 开启工业 CT 系统，并按设备要求对射线源进行训机或预热。

8.1.2.3 每次射线源及探测器的相关参数确定后，应按工业 CT 系统的使用要求对系统进行校准。



标引符号说明：

- H1——A方向的外形尺寸；
- H2——A方向的结构间隙尺寸；
- D1——B方向的外形尺寸；
- D2——B方向的结构间隙尺寸；
- d ——B方向的结构孔尺寸。

图 2 被检样品不同方向穿透厚度测量示意图

8.2 试验过程

8.2.1 样品固定

将样品固定到被检位置，样品的待检区域不应超出有效检测视场。

8.2.2 参数设置

8.2.2.1 按检测要求选择扫描模式和探测器类型，并根据表 2 进行准直器的选择。

表 2 探测器与扫描模式选择

探测器类型	扫描模式	准直器选择	适用范围
线阵列探测器	CT	线阵列准直器	效率低，空间分辨率较高
面板探测器	CT	面板准直器	效率高，散射线干扰较大
	DL	面板准直器	适用于长径比较大且无法实现 CT 扫描模式的平板状样品等

- 8.2.2.2 结合样品分析结果，参考附录 A 选择射线管电压，管电压应保证穿透试样的最大穿透厚度。
- 8.2.2.3 根据检测要求选取样品全部或局部区域为扫描区域，调整机械系统的位置确保扫描区域在样品扫描过程中不超出探测器的探测范围。
- 8.2.2.4 DL 模式下应设定样品的旋转角度，确保所有旋转角度下样品在射线方向上的穿透厚度不超出射线的最大穿透厚度。

- 8.2.2.5 其它参数设置应满足 GB/T 29070 的要求。
- 8.2.2.6 为提高检测图像质量，可参考附录 B 对上述参数进行优化。

8.2.3 扫描测试

固定样品、设定参数后，开启X射线源，进行检测扫描过程。

9 试验数据处理

9.1 图像重建

进行图像重建，图像范围应大于检测样品横断面。

9.2 图像显示及处理

- 9.2.1 根据需要，选取灰度、彩色、放大或二维、三维等图像显示方式。
- 9.2.2 通过窗宽/窗位的调整，使得图像便于观察。
- 9.2.3 在不丢失图像结构细节信息条件下，可进行图像处理改善对比度和清晰度。

9.3 图像分析

- 9.3.1 对检测图像中的缺陷类型进行分析。
- 9.3.2 采用计算机软件的测量功能对图像上的需测量区域进行测量。

9.4 图像评定

- 9.4.1 按碳化硅陶瓷内部结构的检测图像结果，参考附录 C 碳化硅陶瓷内部缺陷典型图样，进行检测结果的评定。
- 9.4.2 所有的检测结果，应给出对应的检测条件。

10 试验报告

10.1 试验报告应至少包含以下内容：

- a) 用户信息：送检单位、联系人等；
- b) 样品信息：名称、编号、材质、检测要求等；
- c) 试验信息：文件编号（包括发布的年代号）、检测设备、检测环境条件、检测文件名称等；
- d) 工艺参数信息：射线管电压、电流、扫描模式、探测器类型、固定方式及工装夹具、放大倍率、重建矩阵等；
- e) 图像评定：缺陷类型、尺寸及位置等，观察到的异常现象，根据需要附图；
- f) 检测人签字及检测时间、审核人签字及审核日期。

10.2 试验报告格式可参考附录 D。

附录 A

(资料性)

射线源最大管电压与碳化硅陶瓷的最大穿透厚度对应表

最大管电压对碳化硅陶瓷的最大穿透厚度是在实际应用中根据经验总结出来的估计值。

最大管电压对致密碳化硅陶瓷的最大可穿透厚度如表A.1所示。

表 A.1 最大管电压对致密碳化硅陶瓷最大可穿透厚度对应表

最大管电压 kV	最大穿透厚度 mm
160	40
225	60
300	85
450	130
600	180

附录 B

(资料性)

参数设置的优化原则

为获得更好的检测图像质量，在射线能量和强度允许的条件下，应尽量提高空间分辨率。可按以下原则对设备参数进行优化：

- 1) 对于线阵探测器，可调节准直器狭缝的宽度和形状，减少散射线；
- 2) 使用线阵列探测器相应准直器时，在垂直射线方向上，在满足检测要求的情况下，尽可能选择较大的切片厚度，以提高检测的信噪比；切片间距、切片范围和数量根据零件具体缺陷检测要求的确定；
- 3) 应采用滤片减少射束硬化伪像。滤片的数量及厚度应不影响 X 射线对样品的穿透性；滤片应沿 X 射线方向按滤片材料的密度从高往低顺次放置；
- 4) 在扫描区域不超出探测器探测范围的前提下，应根据检测要求调整放大倍率 M ，如式 (B. 1) 所示。当调整到获得最高空间分辨率时，此时放大倍率为 M_0 。设备的最高空间分辨率由系统的有效射束宽度 W_B 决定，最佳放大倍率 M_0 与有效射束宽度 W_B 、探测器单元的有效宽度 d 、射线源焦点尺寸 a 之间存在如式 (B. 2) 的关系；

$$M = \frac{S_D}{S_O} \dots\dots\dots (B. 1)$$

式中：

M ——放大倍率；

S_D ——探测器到射线源的距离，单位为毫米 (mm)；

S_O ——被检样品到射线源的距离，单位为毫米 (mm)。

$$M_0 = \frac{(a^2 + d^2)^2}{W_B^2 (a^2 + d^2) + a^4} \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中：

M_0 ——最佳放大倍率。

a ——射线源焦点尺寸，单位为毫米 (mm)；

d ——探测器单元的有效宽度，单位为毫米 (mm)；

W_B ——有效射束宽度，单位为毫米 (mm)；

- 5) 对于穿透厚度较大或分辨率要求高的样品可选用较高的投影数量和较长的积分时间。

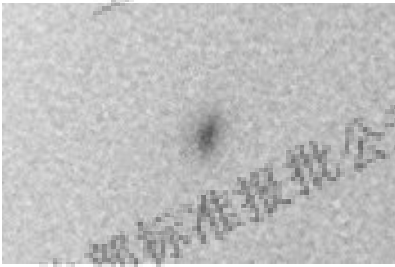



附录 C

(资料性)

碳化硅陶瓷内部缺陷典型图样

碳化硅陶瓷内部缺陷典型图样见表C.1。

表 C.1 碳化硅陶瓷内部缺陷典型图样

缺陷类型	图 样	说 明
气孔或夹杂		<p>气孔缺陷在CT图像上的灰度值与空气接近，其他夹杂的灰度值表现与夹杂物的密度直接相关，密度高于碳化硅的夹杂表现为高亮度缺陷。形成原因多为碳化硅陶瓷制备工艺原因，或在制备阶段引入杂质经高温烧结形成气孔或夹杂。</p>
裂 纹		<p>裂纹缺陷在CT图像上的判断为线状的灰度差异并且在三维方向均有扩展，裂纹缺陷的灰度值与空气接近。形成原因多为应力导致陶瓷部分碎裂出现的裂纹。</p>
线缺陷		<p>线缺陷在CT图像上的判断为线状的灰度差异，形成原因多为在碳化硅陶瓷制备阶段掺入纤维状杂质。</p>
疏 松		<p>疏松缺陷在CT图像上的判断为有灰度值差异，但其灰度值与空气的灰度值有明显差异。形成原因多为陶瓷烧结不致密局部密度低。</p>

附录 D

(资料性)

工业 CT 作业指导书 示例

工业CT作业指导书见表D.1。

表 D.1 工业 CT 作业指导书

样品名称	致密碳化硅陶瓷块	样品编号	1#
		样品材质及密度	致密碳化硅, 3.1 g/cm ³
		样品尺寸	80 mm×35 mm×172 mm
送样单位	XXXX	送样人联系方式	XXX XXXXXXXX
检测环境条件	温度 18℃, 相对湿度 50 %	检测编号	QR20180001
检测要求	整体检测, 获得内部结构信息	检测依据	JC XXXX-XXXX
检测设备	Y. CT Solution 工业 CT 无损检测系统		
安装方式	高度方向倾斜放置	夹具材料	有机玻璃
		夹具尺寸	85 mm×38 mm×188 mm
检测文件	20180502-RID-1#SiC	扫描模式及探测器	CT 扫描 RID 面板探测器
电流	1.15 mA	电压	540 kV
焦点尺寸	0.5 mm	滤波方式	1mm Cu + 1 mm Fe + 1 mm Al
放大倍率	1.9	重建矩阵	992×992
图像处理软件	VGmax 2.1	存储方式	硬盘储存
图像评定			
备注	无		
检测人		审核人	
检测日期		审核日期	