

钛及钛合金孔隙率的测定 X 射线 CT
检测方法

Determination of porosity of titanium and titanium alloys X-ray
CT testing method

(送审稿)

202X-xx-xx 发布

202X-xx-xx 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第一部分：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这些专利的责任。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC243）提出并归口。

本文件起草单位集萃新材料研发有限公司、哈尔滨工业大学、西北有色金属研究院。

本文件主要起草人：XXX

本文件首次发布。

钛及钛合金孔隙率的测定 X 射线 CT 检测方法

1 范围

本文件规定了用计算机断层扫描（CT）技术来进行多孔钛及钛合金中孔隙率的测试方法。本文件适用于增材制造的多孔钛及钛合金材料孔隙率的测试。孔隙率测定范围 0.01%~1%。

2 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 17589 X 射线计算机断层摄影装置质量保证检测规范
- GB/T 27025 检测和校准实验室能力的通用要求
- GB/T 29034 无损检测 工业计算机层析成像（CT）指南
- 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 12604 无损检测 术语：工业射线计算机层次成像检测

3 术语和定义

GB/T 12604界定的术语和定义适用于本文件。

3.1 X 射线穿透率 X-ray penetration rate

经试样吸收后，X 光强度与未经试样吸收时光强度的比值。

3.2 分辨率 pixel resolution

单个像素点代表的试样上的实际尺寸。

3.3 伪影 artifact

扫描重构后的样品图像中，非随机性出现的非样品本身所具有的特征。

3.4 孔隙 pore

钛合金多孔骨架材料中未被骨架或金属颗粒填充的空间。

4 原理

钛及钛合金孔隙率 CT 检测技术，利用 X 射线管发射的 X 射线，穿透样品，通过数据探测传输系统采集经样品吸收后的 X 光信号强度，对试样进行 360° 或 180° 扫描，以特定算法，利用重构软件，求解出每个空间位置点的 X 光吸收系数，并以灰度显示试样中不同组分，获得试样孔隙结构及相关数据。

5 干扰因素

- 5.1 在图像处理过程中，目标结构灰度值范围的判断对结果具有干扰。
- 5.2 分辨率的选择对目标结构是否能被清晰识别具有影响。

6 仪器设备

- 6.1 X 射线显微镜：应具有稳定的 X 射线发射系统、载物系统、探测与成像系统。
- 6.2 软件系统：具备三维图像数据处理的功能。

7 样品

- 7.1 样品形状：将样品加工成圆棒或立方体等规则形状，优先加工成圆棒状。
- 7.2 样品尺寸：不同仪器对样品的几何形状和大小有不同的要求，将样品加工成仪器可以接受的尺寸；不同电压下，X 射线管的穿透能力不同。以 100kV 的管电压为例，为有较好的透过率，样品直径应为 $8\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，高度为直径的 10 倍左右。

8 测试环境

除另有规定外，应在下列环境中进行测试：温度：15℃~25℃；湿度：不大于 70%。

9 试验步骤

9.1 校准仪器

X 射线 CT 扫描仪应按照 GB/T 29070 的规定进行校准，或采用设备生产厂家的校准方法进行校准。

9.2 测定

9.2.1 预设置：将试样固定在样品台中心，打开射线源及探测器，预览试样二维投影图像。分别将样品台旋转至 0° 和 90°，调整样品台在 X、Y、Z 三方向的坐标，确保样品或感兴趣区域在旋转过程中不会超出探测器视野。

9.2.2 分辨率设置：通过改变射线源、样品和探测器的相对距离，设置合适的分辨率。

9.2.3 X 射线穿透率调节：将试样移出视野，扫描单张空白图像，再将试样移入，获取试样单张扫描图像，试样图像各像素点的灰度值除以空白图像各点的灰度数值，得到 X 射线穿透率。根据 X

射线的穿透率，来选择当前条件下合适的滤镜。更换滤镜后，再重新计算 X 射线的透过率，通过调节 X 射线源的电压、束流强度来调整 X 射线平均穿透率，记录参数。

9.2.4 计数强度调节：通过调整每张投影的曝光时间，来调节总体的计数强度，保证计数强度大于等于 5000。

9.2.5 投影图像数量选定：试验过程中可根据实际情况灵活调整扫描张数，记录扫描参数。

9.2.6 测试次数要求：测定次数不少于 2 次，当连续 2 次的测定数据满足表 1 的要求时，计算 2 次测定数据的平均值。

10 数据处理

10.1 图像预处理

利用三维分析软件，将重构后的图像数据进一步处理，裁剪掉多余的数据体后选用合适的滤波器对数据体进行滤波处理。滤波后，灰度分布差异提高，边界清晰。

10.2 孔隙识别与参数计算

利用阈值分割等方法，确定钛及钛合金本体与孔隙的灰度界限值，再根据灰度界限值对钛合金本体与孔隙进行识别、提取，计算孔隙率 P，按照 GB/T8170 规定进行数值修约。

最终结果以孔隙率 P 表示-试样中孔隙总体积与试样总体积的比值。计算见公式（1）：

$$P = \frac{V_p}{V_s} \times 100\% \text{-----} (1)$$

式中：

P——孔隙率；

V_p ——孔隙总体积，单位为立方毫米（ mm^3 ）；

V_s ——试样总体积，单位为立方毫米（ mm^3 ）。

11 精密度

11.1 重复性

在重复性条件下获得的两次独立测试结果的测定值，在表 1 给出的平均值范围内，两个测试结果的绝对差值不超过重复性限（r），超过重复性限（r）的情况不超过 5%，重复性限（r）按表 1 数据采用线性内插法或外延法求得。

表 1 重复性限

P/%	0.443	0.083
r	0.0311	0.0019

11.2 再现性

在再现性条件下获得的两次独立测试结果的测定值，在表 1 给出的平均值范围内，两个测试结果的绝对差值不超过再现性限（R），超过再现性限（R）的情况不超过 5%，重复性限（R）按表 2 数据采用线性内插法或外延法求得。

表 2 再现性限

P/%	0.443	0.083
R	0.0326	0.0020

12 试验报告

试验报告至少应出以下几方面的内容

- 试验对象；
- 本文件编号；
- 使用的方法；
- 分析结果及其表示；
- 与基本分析步骤的差异；
- 观察到的异常现象；
- 试验日期；

如进行仲裁测量，应画出测量点位置图，标明测量直径和参考标记。