

GB/T39638—2020《铸件X射线数字成像检测》 国家标准解读

李兴捷, 朱 智, 于 涵, 孙春贵, 董文博

(沈阳铸造研究所有限公司, 高端装备轻合金铸造技术国家重点实验室, 辽宁沈阳 110022)

摘要: 介绍了GB/T 39638—2020《铸件X射线数字成像检测》国家标准制定过程, 分别在标准范围、规范性引用文件、射线检测技术分级和补偿规则、检测技术、图像评定等方面详细论述了标准内容, 分析了标准的技术特点, 根据标准的内容指出了与相应的国外标准在技术水平上的差异, 并介绍了应用范围。

关键词: 铸件; X射线数字成像检测; 国家标准; 解读

1 标准制定概况

铸件缺陷采用传统的胶片射线照相检测, 存在效率低、劳动强度大、材料成本高、底片难保存、环境污染等弊端。二十一世纪以来, 随着电子信息与计算机技术的进步, 射线数字成像检测技术得到了迅猛发展, 射线数字成像技术具有检测速度快、成本低、图像计算机处理、数字存储传输、计算机评定等特点。特别是随着人工智能技术的发展, 实现智能化评定, 针对大批量铸件生产, 在生产线上建立自动X射线数字成像检测线, 实现快速检测。射线数字成像技术正在逐步取代传统的胶片射线照相检测, 得到广泛应用。本标准的制定实施, 能更好地推动铸造行业由传统的胶片成像技术向数字成像技术的发展, 实现射线检测的自动化和智能化, 大大降低检测成本, 提高检测效率, 符合国家铸造产业绿色智能的要求。有利于推动铸造行业对产品质量的控制与提升, 有助于铸造行业提高产品竞争力和附加值, 为铸造行业的产业升级提供技术支撑。

本标准是根据国家标准化管理委员会2018年第三批国家标准制修订计划(国标委发[2018]60号), 项目编号: 2018100014, 计划编号: 20182056-T-469, 本项目是新制定标准, 负责起草单位: 沈阳铸造研究所有限公司, 项目周期24个月。2018年11月全国铸造标准化技术委员会组织17家单位成立了标准工作组, 标准工作组对当前国内外铸件射线数字成像检测技术现状与发展情况进行调研, 广泛搜集国内外相关标准和技术资料, 进行了大量的研究分析、资料查证, 结合实际应用经验, 明确了标准主要技术内容, 以及试验验证内容等, 起草标准草案稿。经过广泛征求意见, 2019年12月全国铸造标准化技术委员会组织标准审查会对标准送审稿进行了全面审查, 经全体与会委员表决, 标准获得通过。标准已于2020年12月14日由国家市场监督管理总局发布, 2021年7月1日实施。

2 标准主要内容

本标准分为10个章节, 1个规范性附录。与GB/T 5677铸件胶片射线照相标准保持基本相同的结构, 便于检测人员对二个标准内容相同和不同处的理解实施。

作者简介:

李兴捷(1965-), 男, 研究员, 研究方向为无损检测技术。电话: 024-25852311-263, E-mail: lixingjie306@sina.com

中图分类号: TG115.22

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)07-0876-04

基金项目:

机械科学研究总院集团有限公司重点基金(223220ZY01)。

收稿日期:

2021-01-12 收到初稿,

2021-04-19 收到修订稿。

2.1 范围

本章规定检测成像部件为面阵和线阵探测器，不包括CR检测技术的IP板。X射线源为小于1 000 kV的X射线机和1 MeV以上的加速器。

2.2 规范性引用文件

射线检测人员健康和辐射防护安全引用了GBZ 98、GBZ 117、GB 18871 三项国家标准；作为评价射线数字成像和图像质量的像质计，引用了针对单丝、阶梯孔、双丝像质计的GB/T 23901.1、GB/T 23901.2、GB/T 23901.5三项标准；作为X射线数字成像检测技术基础，引用了GB/T30821、GB/T35389、GB/T35394三项标准；检测人员资格鉴定与认证，引用了GB/T9445标准；为保证与胶片法铸件射线照相检测的等价性，引用了GB/T 5677标准的相关规定；X射线数字成像检测术语引用了GB/T12604.11标准。

2.3 射线检测技术分级和补偿规则

2.3.1 射线检测技术分级

本标准与胶片法GB/T 5677射线照相检测具有等效性，也分为A级（基本）、B级（优化）两个技术等级，一般情况应选用A级技术。对于批产铸件快速检测的自动检测技术，考虑到动态成像检测，灵敏度、不清晰度下降。规定在目前的技术水平下，对比度灵敏度、不清晰度经合同双方商定，可适当调整。

2.3.2 补偿规则

对比度噪声比CNR见式（1），表示细节的可识别性参数。

$$CNR = \mu_{\text{eff}} \Delta w \times SNR \quad (1)$$

对比度噪声比被空间分辨率归一化处理，归一化对比度噪声比CNR_N见式（2），表示细节可识别能力。

$$CNR_N = c \frac{\mu_{\text{eff}} \Delta w SNR}{SR_b^{\text{image}}} = \mu_{\text{eff}} \Delta w \times SNR_N \quad (2)$$

特定细小厚度差的归一化对比度噪声比CNR_N^{sp}见式（3）。

$$CNR_N^{\text{sp}} = \frac{CNR_N}{\Delta w} = c \frac{\mu_{\text{eff}} SNR}{SR_b^{\text{image}}} = \mu_{\text{eff}} SNR_N \quad (3)$$

式中： c 为常数； μ_{eff} 为有效衰减系数（对应管电压）； Δw 为细小厚度差； SNR 为信噪比； SNR_N 为归一化信噪比^[1]。

使用补偿规则的目的在于获得最小的CNR_N/Δw（CNR_N^{sp}），以便数字成像检测获得足够的对比度灵敏度。公式（3）建立了补偿规则的近似公式，从公式中可以看出对比度灵敏度主要与有效衰减系数（对应管电压）、信噪比成正比，与图像空间分辨率成反比。

2.4 检测技术

（1）透照方式。本章根据铸件几何结构的特点，规定了11种透照方式示意图，其中6种为典型透照方式示意图，5种为复杂几何形状透照方式示意图。与胶片法不同，射线数字成像没有中心周向透照方式。

（2）射线能量的选择，管电压1 000 kV以下的X射线机。为了论证射线数字成像的最佳管电压，使用ASTM E2597铝、铜、钛合金阶梯试块，开展射线数字成像的最佳管电压的测定，测定结果表明：铝、铜、钛合金阶梯厚度的最佳管电压值与胶片法管电压曲线上相应值存在一定的偏差，在大部分厚度范围，大于胶片法管电压。因此，射线数字成像检测采用胶片法管电压与材料的透照厚度之间的关系曲线图仅作为参考，数字成像的最佳管电压应高于胶片法，不作严格的限制。

（3）探测器系统的选择。归一化信噪比（SNR_N）是用于评价探测器系统DDA图像质量的参数，可以用来划分探测器系统的等级。探测器系统的选择，必须保证探测器系统实现的检测图像归一化信噪比满足标准中表3和表4中最小SNR_N的要求。

（4）一次透照最大区域。考虑到铸件厚度的不均匀性，一次透照最大区域确定，使用美国标准的材质厚度宽容度（SMTR）比欧洲标准的K值更为科学，铸件一次透照最大区域的厚度变化要小于不同材质厚度宽容度（SMTR），在一次透照最大区域内，检测图像质量应符合要求。

（5）散射线控制。射线检测主要采用背铅板、滤波板、限束器等方法，减少散射线，根据射线数字成像的特点，本标准控制散射线，通常采用在射线源窗口前，安装滤波板、限束器的办法，同时，也可采用在探测器前工件后，安装滤波板。

（6）射线源至工件最小距离。

1）一般规定。当使用普通焦点尺寸的射线机，探测器接近被检工件时，射线源至工件最小距离 f 可按照胶片法的诺模图和公式计算。

2）几何放大技术。使用微小焦点尺寸的射线机，采用几何放大技术，需要确定最佳几何放大倍数，提高图像空间分辨率，达到标准规定的要求。

通过公式（4）、（5）、（6）来计算：

$$M_{\text{opt}} = 1 + \left(\frac{2SR_b^{\text{detector}}}{d} \right)^2 \quad (4)$$

$$U_{\text{im}} = \frac{1}{M_{\text{opt}}} \sqrt{U_g^2 + (2SR_b^{\text{detector}})^2} \quad (5)$$

$$U_g = \left(\frac{F}{f} - 1 \right) d = (M_{\text{opt}} - 1) d \quad (6)$$

式中： SR_b^{detector} 为探测器基本空间分辨率； F 为射线源至探测器距离； f 为射线源至工件距离； U_g 为几何不清晰

度； d 为焦点尺寸； M_{opt} 为按 F/f 确定的最佳几何放大倍数； U_{im} 为A级和B级技术检测，标准允许的图像最大不清晰度值。

(7) 像质计的使用。丝型和阶梯孔型像质计使用与胶片法相同；使用双丝型像质计测定探测器系统基本空间分辨率和图像空间分辨率，应按GB/T35394要求；铸件自动检测时可以不使用像质计，但图像质量应通过使用丝型或阶梯孔型像质计和双丝型像质计定期核查。

(8) 变截面透照技术。技术方法基本上与胶片法相同，只是根据数字射线检测的数字探测器的特点，将“多胶片法”变更为“选择更高动态范围的探测器”。

(9) 数据处理。射线数字成像产生检测图像主要有两个噪声来源，一方面来自探测器本身，另一方面来自光子、量子涨落引起的随机噪声。探测器校正的目的是降低探测器自身原因引起的各种噪声，对于射线曝光引起的随机噪声，则使用图像处理技术来降低，以便提高信噪比^[2]。

1) 探测器校正。偏置校正（暗校正）是对无射线照射下，探测器系统的暗电流所引起的暗场图像的校正。增益校正（亮校正）是在射线照射下，探测器响应非一致性校正或平场校正；对于厚度变化的铸件检测，为减少结构性噪声，需要使用多点增益校正，有利于探测器信噪比的提高和线性改善。

2) 探测器坏像素修正。探测器坏像素是数字探测器固有的特性，通过制造商的指南写入坏像素分布图并校正。

3) 图像处理。本章图像处理技术应包括窗宽和窗位技术调整、积分降噪、 SR_b 、 SNR 、 SNR_N 测定工具等。

(10) 图像质量。本标准规定了图像质量应达到的最低像质值，通常，图像应同时满足对比度灵敏度和不清晰度与空间分辨率的规定，也可以根据补偿规则 II，提供等价的检测对比度灵敏度。在对比度灵敏度和不清晰度与空间分辨率无法测定的情况下，可用图像的最小 SNR_N 代替。

2.5 图像评定

图像缺陷识别评定分为人工与自动识别评定，随着人工智能技术的进步，智能自动识别评定将成为未来发展方向。

(1) 人工识别评定。评定应在适当的窗宽和窗位下进行，相应的值应根据评定区的信噪比大小确定。采用铸件参考缺陷数字图像标准评定，应将参考缺陷图像调整与检测图像相同的空间分辨率，进行显示对比。

(2) 自动识别评定。铸件自动检测时，可以采用缺陷自动识别评定软件系统，进行人工辅助评定，要求缺陷自动识别评定的漏检率为零，误判率应低于5%。

3 标准的特点

射线检测作为无损检测方法已在铸造行业得到广泛应用，随着电子信息技术的发展，射线检测方法正经历由传统的胶片成像技术向数字成像技术的发展。本标准的制定实施，既符合铸造产业数字化智能化的发展方向，又能确保铸件产品质量。本标准适应市场需求，满足行业发展，为企业的生产、质量检验、进出口贸易提供技术规范和指导，标准的特点如下。

(1) 采用数字成像技术，探测器系统代替了传统的胶片系统。明确了探测器系统的选择，使用双丝型像质计测定探测器基本空间分辨率和图像空间分辨率，保证图像的不清晰度达到规定要求。

(2) 保持与传统的胶片成像技术的等价性，明确与胶片法GB/T 5677射线照相检测的等效性，规定获得与胶片法同等检测灵敏度的数字检测图像的最低要求值。

(3) 根据数字成像的特点，明确图像补偿规则，保证数字成像检测获得足够的对比度灵敏度。

(4) 一次透照最大区域采用不同材质厚度宽容度（SMTR）来确定，在一次透照最大区域内，检测图像质量应符合规定要求。

(5) 采用几何放大技术，确定最佳几何放大倍数，提高图像的空间分辨率。

(6) 图像评定分为人工识别评定和自动识别评定，自动识别评定采用缺陷自动识别评定软件系统，进行人工辅助评定。

(7) 本标准在制定过程中，参考了美国标准ASTME1734-2016《铸件射线数字成像方法》和欧洲新发布的EN12681-2: 2017《铸造射线检测 第2部分 数字探测器技术》，本标准技术路线与欧洲标准相同，与美国标准相差较大。与EN12681-2: 2017标准的主要技术差异：1) 只适用了铸件采用数字探测器阵列（DDA）的X射线数字成像检测，不包括计算机射线成像检测和 γ 射线数字成像检测；2) 增加了订货须知的内容；3) 增加了检测系统、像质计、工艺文件的要求；4) 经过试验论证，推荐的胶片法管电压与材料的透照厚度之间的关系，仅作为参考，数字成像的最佳管电压应高于胶片法；5) 增加了探测器系统的选择；6) 增加了一次透照最大区域的确定；7) 增加了曝光曲线；8) 增加了图像评定的内容；9) 按合同、技术条件、图纸或者其他协议等规定的验收标准和等级，

没有制定专门的验收标准; 10) 对比度灵敏度采用了胶片法铸件射线照相检测国家标准的数值。

与ASTM E1734-2016标准的主要技术差异: 1) 只适用铸件的X射线数字成像检测, 不包括 γ 射线数字成像检测; 2) 增加了订货须知的内容; 3) 采用的射线检测技术分级不同; 4) 采用了补偿规则; 5) 采用的像质计标准不同; 6) 增加了铸件的透照方式、射线能量选择、变截面透照技术、数据处理、曝光曲线、晶粒组织的影响、自动识别评定的要求; 7) 放射源到工件的最小距离, 分A、B级技术, 使用公式或诺模图、最佳几何放大倍数来确定, 不按几何不清晰度公式确定; 8) 图像最低像质值有差别。

4 标准的应用

本标准作为推荐性国家标准, 规定了铸件X射线数字成像检测的技术和质量控制, 应用于钢、铁、铜及铜合金、镍及镍合金、铝及铝合金、镁及镁合金、钛及钛合金等材料的铸件, 其他金属材料铸件也可参照使用。本标准适应当前企业铸件X射线数字成像检测的需求, 作为技术方法和质量控制要求, 为企业利用射线数字成像检测手段控制铸件产品质量提供了指导依据, 符合铸造行业未来“智能化铸造车间”和“智能化铸造生产”的发展方向。

参考文献:

- [1] 李兴捷, 宋照伟, 于涵, 等. ZL205A合金筒类铸件的微焦点射线数字成像自动检测技术研究 [J]. 铸造, 2020, 63 (10): 1104-1109.
- [2] 孙忠诚. 射线数字成像技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.

Interpretation of National Standard GB/T39638—2020 “X-Ray Digital Radiographic Testing for Casting”

LI Xing-jie, ZHU Zhi, YU Han, SUN Chun-gui, DONG Wen-bo

(Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., State Key Laboratory of Light Alloy Casting Technology for High-End Equipment, Shenyang 110022, Liaoning, China)

Abstract:

The national standard formulation process of GB / T 39638—2020 “X-ray digital radiographic testing for casting” is introduced. The contents of the standard are discussed in detail in terms of standard scope, normative reference documents, classification and compensation rules of radiographic testing technology, testing technology, image evaluation, etc., and the technical characteristics of the standard are analyzed. According to the contents of the standard, the differences between the standard and the corresponding foreign standards in technical level are pointed out, and the application scope is introduced.

Key words:

castings; X-ray digital radiographic testing; national standard; interpretation