

GB/T 38222—2019《工程结构用中、高强度不锈钢铸件金相检验》国家标准解读

王志明, 李巨文, 尚尔峰, 关 帅

(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 38222—2019《工程结构用中、高强度不锈钢铸件金相检验》国家标准的制定概况, 分别在标准范围、规范性引用文件、试样的选取与制备、金相组织、马氏体级别、 δ 铁素体含量、非金属夹杂物评级等方面论述了标准的内容, 并分析了标准的技术特点和应用范围。

关键词: 金相检验; 国家标准; 马氏体级别; δ 铁素体

1 标准制定概况

铬-镍-钼系列工程结构用中、高强度不锈钢铸件的金相组织主要是低碳板条状回火马氏体, 具有优良的力学性能、疲劳性能、大断面均一性能和工艺性能, 广泛应用于水电站过流部件、水泵、压缩机叶轮、原子能电站铸件和压力容器等装置^[1]。国内外对其有较多研究, 适用标准也较多, 如GB/T 6967—2009《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》^[2]国家标准等, 但这些标准均只对铸件化学成分、力学性能、制造工艺等进行了规定, 而没有对金相组织进行具体规定。金相组织检验对于铸件质量的控制和分析非常重要, 许多国内外厂商都要求对铸件进行金相组织检验, 由于没有专门的金相检验标准, 使得生产和检测单位在金相组织检测时十分不便, 只能参照不同的金相标准进行检测评定, 评定误差较大, 不能满足目前金相组织检测需求, 为此需要制定统一的金相检验标准进行规范。本标准就是在这个背景下开始制定的。

本标准是根据国家标准化管理委员会2017年第一批国家标准制修订计划项目(国标委综合[2017]55号)制定的新标准, 计划项目编号为20170435-T-469, 主要起草单位为沈阳铸造研究所有限公司。2017年6月成立了由沈阳铸造研究所有限公司牵头的标准起草工作组; 工作组查询了国内外有关“工程结构用中、高强度不锈钢铸件金相检验”方面的信息, 并对相关的国内标准和技术资料进行了大量的技术分析对比、资料查证、调查研究以及必要的试验验证工作, 在此基础上形成了标准起草稿; 2018年7月, 标准起草工作组内部对标准讨论稿进行了认真讨论和修改, 形成了标准征求意见稿; 起草小组对各方面所提意见进行汇总、分析后, 对标准征求意见稿进行了补充、修改, 于2018年11月形成了标准送审稿; 2018年12月, 全国铸造标委会铸钢分技术委员会对标准送审稿进行了全面审查, 按审查意见修改后, 经全体与会委员表决, 标准获得通过。标准于2019年10月18日由国家市场监督管理总局及国家标准化管理委员会发布, 2020年05月01日实施, 标准号及标准名称为GB/T 38222—2019《工程结构用中、高强度不锈钢铸件金相检验》。

2 标准主要内容

本标准正文分为9章, 正文后有1个资料性附录和2个规范性附录。

作者简介:

王志明(1963-), 男, 研究员, 研究方向为金相检验及失效分析等。电话: 13610833601, E-mail: 13610833601@163.com

中图分类号: TG115.21
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2022)04-0495-04

收稿日期:

2021-08-24 收到初稿,
2021-10-29 收到修订稿。

2.1 范围

本标准规定了工程结构用中、高强度不锈钢铸件金相检验试样的选取与制备、金相组织、马氏体级别、 δ 铁素体含量、非金属夹杂物级别的评定方法和检验报告。适用Cr-Ni-Mo系列工程结构用中、高强度不锈钢铸件的金相组织检验，其他牌号的中、高强度不锈钢铸件可参照执行。

2.2 规范性引用文件

试样的选取与制备引用了GB/T 13298金属显微组织检验方法； δ 铁素体含量定量金相测量方法引用了GB/T 15749定量金相测定方法；非金属夹杂物评级引用了GB/T 10561—2005钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法。

2.3 试样的选取与制备

本章主要阐述了试样的选取与制备要求，基本上与GB/T 13298一致，其特殊要求为：试样在铸件或其附铸试块上截取，也可直接在铸件上进行现场检验；试样检验面面积应不小于100 mm²，当单个试样检验面积小于100 mm²时，应增加取样数量，试样尺寸较大时，允许分割成若干块，但仍视为一块试样；铸件金相组织中的马氏体级别、 δ 铁素体含量及非金属夹杂物含量可在同一试样上分别进行检验。

2.4 金相组织

本章及附录A给出了工程结构用中、高强度不锈钢铸件在不同热处理状态（铸态，正火态及正火+回火态）下的金相组织参考图，以方便判断不同状态下的金相组织。

通过试验验证得到的ZG06Cr13Ni4Mo铸件在不同状态下其力学性能及金相组织检验结果见表1。铸态组织主要为粗大低碳板条状淬火马氏体，塑性及韧性均较差，其内应力由于冷却过程中收缩不一致而增大，因此一般不能直接使用；正火态组织主要为低碳板条

状马氏体，其伸长率、断面收缩率及硬度达不到GB/T 6967—2009标准^[2]要求，一般也不在生产中使用；正火+回火态组织主要为低碳板条状回火马氏体，其性能可以满足标准要求。因此，工程结构用中、高强度不锈钢铸件通常是在正火+回火状态下使用的。

2.5 马氏体级别

马氏体级别的评定原则为：试样浸蚀后，观察整个检验面，选择有代表性的视场，按其马氏体板条的最大长度，在放大100×视场下，对照相应评级图进行评定。标准中给出了评级图照片（分为6个级别，6张照片）及其对应的马氏体评级说明。

铸件的晶粒度与其马氏体板条长度密切相关，并存在一定的对应关系。一般重要的中、高强度不锈钢铸件技术条件中要求检验晶粒度非常普遍，但由于其浸蚀后晶界不明显，评定较为困难，因此为了解决晶粒度评定困难的问题，特别制定了马氏体级别（马氏体板条最大长度）评定标准，通过马氏体级别的评定可代替晶粒度的评定。粗大马氏体（晶粒度粗大）会降低其力学性能指标，因此，成品铸件一般要求马氏体板条适中（晶粒度适中）的组织。标准中马氏体级别与其晶粒度的对应关系见表2。

2.6 δ 铁素体含量

2.6.1 δ 铁素体含量测量方法

δ 铁素体含量测量方法分为：①最多视场法（方法A）和②平均法（方法B），依据供需双方约定进行评定，双方未约定时采用最多视场法（方法A）进行评定。

2.6.2 评定方法分类

评定方法分为比较法和定量法。比较法是将选定的视场与标准评级图片进行比较，在放大100×视场下，对照标准评级图片，确定 δ 铁素体面积百分含量， δ 铁素体面积含量分为8级，共分为8个级别，8张照片。各等级 δ 铁素体面积含量见表3。评级图中 δ 铁

表1 不同热处理状态下力学性能及金相组织

Table 1 Mechanical properties and metallographic microstructure under different heat treatment conditions

| 试样状态 | R_m /MPa | $R_{p0.2}$ /MPa | A/% | Z/% | HBW | KV ₂ /J | 冷弯结果 | 金相组织 |
|--|------------|-----------------|------|-----|---------|--------------------|-----------|--------------|
| 铸态 | 1 013 | 752 | 5.5 | 19 | 313、315 | 51、47、77 | 弯曲15°产生裂纹 | 粗大低碳板条状淬火马氏体 |
| 1 050 °C正火40 min | 1 013 | 817 | 9.0 | 21 | 300、302 | 118、142、125 | 弯曲90°无裂纹 | 低碳板条状马氏体 |
| 1 050 °C正火40 min 620 °C回火2 h | 834 | 686 | 20.5 | 69 | 262、262 | 144、134、140 | 弯曲90°无裂纹 | 低碳板条状回火马氏体 |
| 1 050 °C正火40 min 620 °C回火2 h 590 °C回火2 h | 824 | 687 | 18.5 | 68 | 256、260 | 149、139、145 | 弯曲90°无裂纹 | 低碳板条状回火马氏体 |
| GB/T 6967—2009标准值 | ≥750 | ≥550 | ≥15 | ≥35 | 221~294 | ≥50 | | |

表2 马氏体级别与其晶粒度的对应关系
Table 2 Corresponding relation between martensite grade and grain size

| 级别代号 | 马氏体板条最大长度 (L) | 标准中图号 | 马氏体特征 | 对应的晶粒度 |
|------|--|-------|--------|--------|
| 1级 | $L \geq 0.50 \text{ mm}$ | 1.a) | 极粗大马氏体 | 粗于1级 |
| 2级 | $0.35 \text{ mm} \leq L < 0.50 \text{ mm}$ | 1.b) | 粗大马氏体 | 1级~2级 |
| 3级 | $0.25 \text{ mm} \leq L < 0.35 \text{ mm}$ | 1.c) | 较粗大马氏体 | 2级~3级 |
| 4级 | $0.15 \text{ mm} \leq L < 0.25 \text{ mm}$ | 1.d) | 马氏体 | 3级~4级 |
| 5级 | $0.1 \text{ mm} \leq L < 0.15 \text{ mm}$ | 1.e) | 细马氏体 | 4级~5级 |
| 6级 | $L < 0.1 \text{ mm}$ | 1.f) | 细微马氏体 | 5级及以上 |

素体实际面积含量为规定含量的上限值, 当被测视场中的 δ 铁素体含量处于两级别之间时, 应评为较高级别。当未发现 δ 铁素体时, 评为0级, 当 δ 铁素体 $> 20\%$ 时, 评为 > 4.0 级。

定量法: 放大倍数的选择应以清晰地分辨待测 δ 铁素体的形貌和边界为准, 在此基础上选择较低的倍数, 建议采用 $100\times$; 具体定量金相测量方法按GB/T 15749执行。

中、高强度不锈钢铸件中 δ 铁素体含量对铸件的力学性能(特别是冷弯性能及冲击性能)有较大影响, 冶炼时控制钢中的 $\text{Ni}_{\text{ep}}/\text{Cr}_{\text{ep}}$ 值, 以有效减小铸件中的 δ 铁素体含量, 对于碳含量低于 0.06% 的中、高强度不锈钢铸件, δ 铁素体含量一般应小于 3% ^[3]。通过 δ 铁素体含量的测量及评定方法的制定, 使之有了统一的检测方法, 将大大提高其检测精度及效率。

实例: 某ZG04Cr13Ni5Mo导叶, 其力学性能见表4, 其中冲击吸收能量(KV_2)不符合标准要求, 通过金相检测发现其 δ 铁素体较多, 其含量为3.5级($12.0\% < S \leq 16.0\%$)。

2.7 非金属夹杂物评级

非金属夹杂物的评定方法按GB/T 10561—2005实际检验A法进行, 其中D类及DS类评级表及评级图列于标准中的附录C; 当非金属夹杂物中粗系与细系混合存在时, 分别进行评定。

中、高强度不锈钢铸件对非金属夹杂物要求较高, 一般均要求精炼处理, GB/T 6967—2009标准中规定ZG04Cr13Ni4Mo及ZG04Cr13Ni5Mo两个牌号应采用钢液精炼工艺, 如真空氧脱碳(VOD)及氩氧脱碳(AOD)或其他精炼方法^[2]。因此, 非金属夹杂物评级对于中、高强度不锈钢铸件而言是相当重要的检测项

表3 δ 铁素体面积含量分级
Table 3 Classification of the δ ferrite area content

| 级别 | δ 铁素体面积含量 (S) | 图号 |
|------|--------------------------|-------|
| 0.5级 | $0 < S \leq 0.5\%$ | B1.a) |
| 1.0级 | $0.5\% < S \leq 1.0\%$ | B1.b) |
| 1.5级 | $1.0\% < S \leq 2.0\%$ | B1.c) |
| 2.0级 | $2.0\% < S \leq 5.0\%$ | B1.d) |
| 2.5级 | $5.0 < S \leq 8.0\%$ | B1.e) |
| 3.0级 | $8.0\% < S \leq 12.0\%$ | B1.f) |
| 3.5级 | $12.0\% < S \leq 16.0\%$ | B1.g) |
| 4.0级 | $16.0\% < S \leq 20.0\%$ | B1.h) |

目。由于GB/T 10561—2005《钢中非金属夹杂物含量的测定》标准评级图显微检验法是针对轧制和锻制钢材制定的, 而本标准(文件)所检测的是铸件, 因此是参照使用, 主要特点是铸件由于没有变形, 因此标准中A类(硫化物类)、B类(氧化铝类)、C类(硅酸盐类)基本不会出现, 而主要以D类(球状硫化物类、球状氧化铝类、球状硅酸盐类或复合形式)及DS类形式存在, 因此本标准将球状夹杂物一并按D类(球状夹杂物类)评定。

3 标准的技术特点

(1) 本标准给出了铸件在不同热处理状态下典型金相组织参考图, 以方便判断不同状态下的金相组织。

(2) 本标准给出了铸件马氏体评级说明及评级图照片, 供评定马氏体板条最大长度使用, 通过马氏体级别的评定可代替铸件晶粒度大小的评级。

(3) 本标准给出了铸件 δ 铁素体级别与面积含量的关系及 δ 铁素体面积含量在100倍下的实物评级图照

表4 ZG04Cr13Ni5Mo导叶力学性能检验结果
Table 4 Test results of mechanical properties of the ZG04Cr13Ni5Mo guide vane

| 材料名称 | R_m/MPa | $R_{p0.2}/\text{MPa}$ | $A/\%$ | $Z/\%$ | HBW | KV_2/J |
|---------------------|------------------|-----------------------|-----------|-----------|-------------|-----------------|
| ZG04Cr13Ni5Mo导叶 | 871 | 794 | 21 | 69 | 271、257、272 | 38 |
| GB/T 6967—2009标准规定值 | ≥ 750 | ≥ 550 | ≥ 15 | ≥ 35 | 221~294 | ≥ 50 |

片，可以方便、快捷地评定 δ 铁素体含量。

(4) 本标准给出了铸件非金属夹杂物评级标准，主要是：a) 将GB/T 10561—2005标准评级图中的D类（球状氧化物类）改为D类（球状夹杂物类），球状夹杂物类包括球状硫化物类、球状氧化铝类、球状硅酸盐类或复合形式存在的球状夹杂物；b) 当非金属夹杂物中粗系与细系混合存在时，分别进行评定。

4 标准的应用

GB/T 38222—2019《工程结构用中、高强度不锈钢铸件金相检验》作为推荐性国家标准，广泛地应用于水电站过流部件（叶片、导叶、上冠、下环等）、水泵、压缩机叶轮、原子能电站铸件和压力容器等铸件的金属

检测领域。本标准的实施弥补了过往工程结构用中、高强度不锈钢铸件金相检验过程中无法对金相组织、马氏体级别、 δ 铁素体面积含量及非金属夹杂物等进行检验的空白，细化了金相检验的内容，对生产工艺的优化调整提供了细化的检测指标，使得检测结果更有说服力，满足了目前企业对铸件金相组织检测的需求。本标准可作为GB/T 6967—2009《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》^[2]的配套使用标准，用于生产企业、设计单位以及检测机构的检测及质量判定，并对企业的生产、质量检验提供技术指导作用；同时，有助于引导和推动铸造行业采用先进的金相检验技术，达到提高铸件产品质量的目的。

参考文献：

- [1] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册：第二卷 铸钢 [M]. 4版. 北京：中国进行出版社，2021.
- [2] GB/T 6967—2009《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》[S]. 北京：中国标准出版社，2009.
- [3] 姜延春，张仲秋，熊云龙. 大型纯净超低碳马氏体不锈钢铸件先进制造技术 [J]. 铸造，2010（11）：1148-1154.

Interpretation of National Standard GB/T 38222—2019 “Metallographic Examination Method of Medium and High Strength Stainless Steel Castings for General Engineering Applications”

WANG Zhi-ming, LI Ju-wen, SHANG Er-feng, GUAN Shuai

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

Abstract:

The development of national standard GB/T 38222—2019 “Metallographic Inspection of Medium and High Strength Stainless Steel Castings for General Engineering Applications” was introduced. The scope of the standard, normative reference documents, sample selection and preparation, metallographic structure, martensite grade, δ ferrite content and non-metallic inclusion rating were discussed in detail, and the technical characteristics and application scope of the standard were analyzed.

Key words:

metallographic examination; national standard; martensitic level; δ ferrite