

锻焊结构铬钼钢制反应器产品质量分级标准研制

吕 铮

(中国特种设备检测研究院)

摘 要: 基于锻焊结构铬钼钢制反应器产品质量分级标准的制定与创新需求,通过对影响锻焊结构铬钼钢制反应器本质安全的关键因素进行分析,得出了标准性能测试指标的设置思路,以现行国家标准、行业标准为基础,结合多年来检验实践积累的数据库,创新性设置了性能测试指标及其量化分级范围,并对标准的可操作性进行了分析。

关键词: 锻焊结构, 铬钼钢, 反应器, 性能测试, 质量分级

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2024.05.018

Development of Quality Grading Standard for Cr-Mo Steel Forge Welding Reactor

LYU Zheng

(China Special Equipment Inspection & Research Institute)

Abstract: Based on the development and innovative needs of the quality grading standard for cr-mo steel forge welding reactor, this paper analyzes the key factors affecting the intrinsic safety of the reactors, and derives the ideas of setting the standard performance test indicators. Based on the current national and sectoral standards, combined with databases accumulated over many years of inspection practice, it innovatively sets performance testing indicators and their quantitative grading ranges, and explains the operability of the standard.

Keywords: forge welding reactor, cr-mo steel, reactor, performance testing, quality grading

0 引 言

锻焊结构加氢反应器是现代炼油工业中的重大关键设备,主要用于石油炼制中重质油的加氢裂化、加氢精制以及催化重整等。随着我国石油深加工技术的提高以及炼化装置的大型化,加氢反应器的设计温度、设计压力、规格尺寸都在逐步增大,2020年6月,全球首台3000吨级超级锻焊结构铬钼钢制加氢反应器在我国制造完工。

锻焊结构铬钼钢制反应器属于高温、高压、临

氢环境下工作的大型压力容器,主体材质为加钒的铬钼钢锻件堆焊 E309L(过渡层)+E347(耐蚀层),遵循的技术规范为TSG 21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》,所执行的标准包括JB 4732-1995, 2005确认版《钢制压力容器——分析设计标准》、NB/T 47008-2017《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》、NB/T 47013-2015《承压设备无损检测》及设计院技术条件等。国内外现有的产品制造标准及设计文件仅规定了该类产品质量应当满足的最低要求。市场经济环境下,相关产品

作者简介: 吕铮,本科,助理工程师,研究方向为承压类特种设备检验检测、产品质量分级评价技术服务与管理。

合格不好用、优质不优价、低价格中标等相关问题的产生,迫切需要研制出锻焊结构铬钼钢制反应器产品质量分级^[1]标准。

1 性能测试指标设置思路

依据相关法规标准^[2,3]对锻焊结构反应器安全性能的基本要求,结合加氢反应器制造及使用中发现的问题进行了有针对性的考虑。锻焊结构铬钼钢制反应器的本质安全主要由以下3个方面来保证。

(1) 材料应具有良好的力学、化学、工艺等方面的性能。在材料方面,该类设备筒体主体材料为抗氢耐热铬钼钢2.25Cr1MoV^[4]锻件^[4],有较高的高温强度和抗氢腐蚀能力,但由于材料中含有较高的Cr、Mo等合金元素,在370~575℃区间材料会发生回火脆化,钢中P、Sn、As、Sb等杂质元素在晶界上的偏析是回火脆化的主要原因,因此,选择了主体材料的回火脆化系数J、焊缝材料的回火脆化系数X、冲击吸收能量作为产品质量分级性能测试评价指标,J系数、X系数数值越高,回火敏感性越大,冲击吸收能量越高则材料韧性越好。

(2) 结构上应具有足够的壁厚和合理的形状,保证各个部位的应力、应变均在容许的范围内。在结构上,选择了壁厚、对口错边量、筒体圆度偏差、直线度偏差作为质量分级性能测试评价指标,这些指标反映了反应器结构的均匀性,实测值越小,表明其结构越均匀,受力状态越好,抗疲劳性能也就越好,该类指标的设置是合理且必须的。

(3) 焊接是压力容器制造过程中极为关键的环节,焊接质量直接关系到产品的使用安全及寿命。在焊接质量及焊接强度方面,选择了焊工经验和稳定性检查、焊接接头内外表面缺陷无损检测^[5]、焊接接头内部质量无损检测作为质量分级性能测试评价指标;在耐腐蚀方面,选择了堆焊层厚度测量、堆焊层表面无损检测作为质量分级性能测试评价指标。测试发现问题越少,本质越安全。

选择与产品质量密切相关的、能够充分体现产品本质安全和实际使用性能的技术指标,作为产品性能测试考核量化指标,包括主要受压元件材料中

主要合金元素含量、焊接材料中主要合金元素含量的测试、焊接返修部位检查、无损检测抽查、热处理效果验证、几何尺寸及形位偏差测试等。

2 性能测试指标的设置与量化分级

性能测试指标的设置及量化分级呈金字塔型,既鼓励先进,又考虑相关国家、行业标准具体实际,既符合国情,又为树立产品质量标杆、追求产品质量提升打下良好基础。

2.1 S、P元素含量

S、P是材料中的有害元素,在统计了国内大量锻件数据的基础上,本分级标准提高考核指标要求,将S含量满足设计要求(Ⅲ档)、 $S \leq 0.005\%$ (Ⅱ档)、 $S \leq 0.003\%$ (Ⅰ档)3档赋分值;将P含量满足设计要求(Ⅲ档)、 $P \leq 0.008\%$ (Ⅱ档)、 $P \leq 0.005\%$ (Ⅰ档)3档赋分值。

2.2 冲击吸收能量(KV₂)

KV₂是材料韧性的主要指标,本标准在统计了国内大量材料数据的基础上,将冲击吸收能量指标 $KV_2 \geq$ 设计要求值(Ⅱ档)、 $KV_2 \geq$ 设计要求值的150%(Ⅰ档)2档赋分值。

2.3 主体材料的回火脆化系数J

J系数 $= (Si + Mn) \times (P + Sn) \times 104\%$,一般设计要求J系数 $\leq 100\%$,本标准在调查研究的基础上,将J系数 $\leq 100\%$ (Ⅲ档)、J系数 $\leq 80\%$ (Ⅱ档)、J系数 $\leq 60\%$ (Ⅰ档)分3档赋分值。

2.4 焊缝材料的回火脆化系数X

X系数 $= (10P + 5Sb + 4Sn + As) \times 10^{-2}$,一般设计要求X系数 ≤ 15 ,本细则在调查研究的基础上,将X系数 ≤ 15 (Ⅱ档)、X系数 ≤ 12 (Ⅰ档)2档赋分值。

2.5 焊缝返修

A、B类焊缝返修总长度 $\leq$ 焊缝总长度的0.2%;返修总长度 $\leq$ 焊缝总长度的0.5%(射线检测按底片/图像总数的3%)或不超过1处,且无2次返修;返修总长度 $\leq$ 焊缝总长度的0.5%(射线检测按底片/图像总数的3%)或不超过1处分3档赋分。

2.6 无损检测

无损检测Ⅰ级底片/图谱长度比例 $\geq 98\%$ 、Ⅰ级

底片/图谱长度比例 $\geq 95\%$ 、I级底片/图谱长度比例 $\geq 90\%$ 分3档赋分。

2.7 错边量

错边量 $\leq$ 标准允许值、错边量 $\leq$ 标准允许值的 $2/3$ 、错边量 $\leq$ 标准允许值的 $1/2$ 分3档赋分。

2.8 筒体圆度偏差

筒体圆度偏差 $\leq$ 标准允许值、筒体圆度偏差 $\leq$ 标准允许值的 $2/3$ 、筒体圆度偏差 $\leq$ 标准允许值的 $1/2$ 分3档赋分。

2.9 筒体直线度偏差

筒体直线度偏差 $\leq$ 标准允许值、筒体直线度偏差 $\leq$ 标准允许值的 $2/3$ 、筒体直线度偏差 $\leq$ 标准允许值的 $1/2$ 分3档赋分。

以现行国家标准、行业标准为基础,在进行了大量调查研究的基础上,结合中国特检院多年来检验实践积累的数据库,设置锻焊结构铬钼钢制反应器产品质量分级标准中性能测试指标,确定量化分级范围,实现产品质量的量化分级,可以充分体现产品质量及安全性的优劣,具有一定的创新性。

3 标准可操作性分析

(1)材料检查。依据现行国家标准GB/T 223《钢铁及合金化学分析方法》,分析可得材料中S、P、Si、Mn、Sn、Sb、As等元素含量,计算得出J系数、X系数;依据GB/T 228.1《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》,试验可得冲击吸收能量(KV₂)试验值;与国家材料标准及技术文件等相

关要求比较得出指标的量化分级范围。

(2)焊缝无损检测及返修。根据对产品制造过程资料的查阅情况,确定产品A、B、C、D、E类焊缝的抽查位置和比例,依据NB/T 47013《承压设备无损检测》,评定I级底片/图谱长度,统计焊缝返修长度等指标。

(3)产品结构检查。现场测试抽样产品的错边量、筒体圆度/椭圆度、筒体直线度,依据相关国家标准及技术文件要求,计算偏差值,得出相关指标的量化分级范围。

标准所有性能测试指标均有国家或行业标准为依据,相关机构、企业的测试能力基本满足测试要求,可操作性强。

4 结语

(1)锻焊结构铬钼钢制反应器产品质量分级评价标准创新性地设置性能测试指标,提高了测量精度及结果区分度,实现了产品质量测试评价的精准量化,实现了对产品在合格基础上进行科学地量化分级,为解读同类产品质量差异、丰富产品质量信息,为消费者选购提供了有益参考,为优质优价提供采信依据,为质量提升和高质量发展创造有利环境。

(2)锻焊结构铬钼钢制反应器产品质量分级评价标准的应用,使多家企业在设计环节为自身产品质量提升作出了积极改变。

(3)该标准的应用为同类产品质量分级标准的制定提供了有益思路。

参考文献

- | | |
|---|--|
| [1] T/CAS ES000000001-2022(V01),工业品质量分级评价通则[S]. | [3] JB 4732-1995,钢制压力容器-分析设计标准[S]. |
| [2] TSG 21-2016,固定式压力容器安全技术监察规程[S]. | [4] NB/T 47008-2017,承压设备用碳素钢和合金钢锻件[S]. |
| | [5] NB/T 47013-2015,承压设备无损检测[S]. |