

编者按:焊接工艺评定是控制构件焊接质量的重要环节之一,一直受到锅炉、压力容器、气瓶和压力管道等各承压设备行业的重视。全国锅炉压力容器标准化技术委员会根据特种设备安全监察局指示精神以及承压设备行业的需要,决定制订《承压设备焊接工艺评定标准》,以统一各承压设备行业中的类似标准。

JB4708—2000《压力容器焊接工艺评定》标准的主要起草人张建荣、戈兆文两位同志对《承压设备焊接工艺评定标准》进行了长期认真、仔细的思考,对新标准的理念、核心内容和关键章节都有新的见解与看法,应本刊编辑部要求总结成文刊载,与承压设备同行进行交流。

对“承压设备焊接工艺评定标准”的思考(一)

张建荣¹,戈兆文²

(1. 国家质量监督检验检疫总局,北京 100088;2. 合肥通用机械研究院,安徽 合肥 230031)

摘要:对正在制订的《承压设备焊接工艺评定》标准中各重要观点与主要技术内容进行思考,所总结的心得体会。主要内容有各类焊接工艺评定标准的目的、两个类型的焊接工艺评定,以及两类评定之间的区别与联系。本文还首次提出一些新思路、新观点,如母材、焊材分类细则以及标准以外材料分类要有分类报告佐证;通用的焊接工艺评定规定及使用方法;换热管与管板的焊接工艺评定是评定角焊缝厚度;气瓶焊接工艺评定是两个类型评定的结合,也可以分别评定。《承压设备焊接工艺评定》标准不仅适用于锅炉、压力容器(含气瓶),也适用于包括长输管道在内的压力管道。

关键词:承压设备;焊接工艺评定;标准

中图分类号:TQ051 文献标识码:A 文章编号:1001-4837(2006)01-0001-05

Thoughts on the Standard of Welding Procedure Qualification for Pressure Equipments(1)

ZHANG Jian - rong¹, GE Zhao - wen²

(1. National Quality Technology Supervising Station, Beijing 100088, China;

2. Hefei General Machinery Research Institute, Hefei 230031, China)

Abstract: The important concepts and main content of the Standard of Welding Procedure Qualification for Pressure Equipments which is being worked out at present were thought and some understandings were summarized in this paper. The main content included the purpose of all kinds of welding procedure qualification standards, two types of welding procedure qualification, and the differences and similarities between the two types. Some new ideas and views were proposed, such as regulation on general welding procedure qualification and its method of application, welding procedure qualification between heat exchange tube and tube sheet assessment-ed by the thickness of fillet weld, and so on. Standard of Welding Procedure Qualification for Pressure Equipments is not only applied in boilers and pressure vessels, but also in pressure piping including long distance pipeline.

Key words: pressure equipment; welding procedure qualification; standard

国务院 2003 年 6 月 1 日颁布的《特种设备安全监察条例》中规定,由国务院所属的特种设备安全监督管理部门负责对锅炉、压力容器(含气瓶、下同)和压力管道实施安全监察。与锅炉、压力容器和压力管道相关的标准是实施安全监察的技术基础与依据。

2003 年 11 月成立的全国锅炉压力容器标准化技术委员会承担锅炉、压力容器和压力管道行业的标准化工作,全国气瓶标准化技术委员会则承担气瓶行业标准化工作。

国务院所属的特种设备安全监督管理部门——国家质量监督检验检疫总局在 2005 年初印发的《关于进一步加强特种设备安全监察工作的意见》中强调指出“根据我国特种设备法制建设现状和需要,抓紧构建以法律法规为依据、以安全技术规范为主要内容、以标准为基础的特种设备安全监察法规标准体系,逐步完善与我国社会主义市场经济相适应的特种设备法规标准体系的制(修)订机制,实现特种设备安全监察工作有法可依,有章可循”。国家质量监督检验检疫总局特种设备安全监察局宋继红副局长在《特种设备安全监察法规标准体系框架思路》中指出,强化标准的基础性作用,促进建立统一的承压设备(含锅炉、压力容器、压力管道)标准体系。考虑与国际接轨,适应国际大趋势,积极靠拢国际标准,逐步建立或形成相对一致的特种设备标准体系,对一些相关的标准,如有关材料标准、焊接工艺评定标准和无损检测标准应该尽量协调一致,及时将安全监察工作及检验工作中所涉及的安全技术问题反馈到标准制(修)订工作中,使有关标准得以完善提高。

近几年来,我国石化工业、天然气工业、电力工业发展势头迅猛,石化机械行业、管道行业、锅炉行业制造任务非常饱满;参数高、规模大、结构新、材料多已成为承压设备发展的特点;现有的焊接工艺评定标准难以满足新采用的焊接方法、材料及评定因数的要求;锅炉厂制造压力容器,管道行业制造压力容器,压力容器厂生产气瓶;几乎所有安装单位都能安装锅炉、压力容器和压力管道;锅炉、压力容器、压力管道,气瓶各自独立的焊接工艺评定标准已经明显阻碍焊接生产,给焊接管理带来巨大困难。锅炉、压力容器和压力管道都是承压设备,编制统一的“承压设备焊接工艺评定标准”既是法规的要求及承压设备管理的需要,也是广大的承压设备制造、安装、使用、维修行业的迫切愿望。

承压设备的焊接工艺评定,已经走过 20 多年历程,对焊接工艺评定的认识已经趋于统一,也积累了相当数量的焊接工艺评定项目,在新的历史条件下需要认真总结经验,努力提高承压设备焊接工艺评定标准的水平,向“科学、合理、统一、效益”目标进一步迈进。

全国锅炉压力容器标准化技术委员会已于 2003 年 1 月组成了焊接标准工作组,集中了全国锅炉、压力容器、气瓶和压力管道行业内资深焊接专家,为统一的承压设备焊接工艺评定标准制定做了组织准备。

《承压设备焊接工艺评定》标准的编制者与执行者,双方都有一个共同的问题,就是如何认识这个标准。从根本上来讲是对《承压设备焊接工艺评定》标准的目的一定要有正确的认识。国内承压设备各行业焊接工艺评定标准不少,其目的并不完全相同,不同目的的焊接工艺评定标准之间有何关系,这正是撰写本文的宗旨,也是制定标准的纲领。

在撰写本文过程中,下面一段话一直是我们的指导思想,即“材料(母材与焊材)的焊接性能是焊接工艺评定的基础,而用于产品施焊的焊接工艺规程的重要依据是评定合格的焊接工艺指导书。”

1 国内承压设备各行业焊接工艺评定标准

1.1 现行主要标准特点

国内锅炉、压力容器、气瓶和压力管道行业都分别制订了各自的焊接工艺评定标准。虽然大都参照国外先进工业国家标准,但也有自己的特点,在本行业内实施多年。

(1)JB 4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》

该标准由原全国压力容器标准化技术委员会提出并归口,原国家质量技术监督局锅炉压力容器安全监察局专门发文要求压力容器制造厂严格执行。

该标准从国内压力容器实际情况出发,参照采用 ASME IX 篇《焊接与钎焊评定》而编制的。焊接工艺评定因素及评定规则详细、具体,可操作性强,技术要求科学合理,因而 JB 4708 容易被外国同行所接受,与 GB 150—1998,JB 4732—2003 等标准有着内在协调一致性。

(2)JB/T 4734—2002《铝制焊接容器》附录 B“铝容器焊接工艺评定”和 JB/T 4745—2000《钛制焊接容器》附录 B“钛容器焊接工艺评定”,与 JB 4708 有

相同的特点,其内容及格式绝大部分与 JB 4708 相同。

(3)GB 151—1999《管壳式换热器》附录 B 专门用于列管式换热器管头焊接工艺评定。该附录参照 JIS B8285—1993《压力容器的焊接工艺评定试验》中“4.管子与管板的焊接工艺评定试验”中的部分内容和试件部分形式,加入 ASME VIII 篇第二分篇中 F-3 管子与管板焊接的特殊要求中的焊接工艺评定部分规则,以及将 ASME VIII 篇 UW-20 管子与管板焊缝中对强度焊缝组合焊脚高度 a_c (即 GB 151 附录 B 中的“H”)作为验收指标等三部分内容综合而成。

(4)GB 150—1998《钢制压力容器》附录 C

该附录规定了低温压力容器的焊接工艺评定按 JB 4708,但冲击试验的取样方法和合格指标按附录 C 的规定。

(5)GB 5100—1994《钢质焊接气瓶》中规定了可重复充装低压液化气体或溶解气体焊接钢气瓶的焊接工艺评定内容。该标准是由全国气瓶标准化技术委员会归口,非等效采用了国际标准 ISO 4706—1989《可重复充装的钢质焊接气瓶》。GB 5100 中 5.10.1 规定:“钢瓶制造单位,在生产钢瓶之前,或需要改变瓶体材料、焊接材料、焊接工艺、焊接设备时,均应进行焊接工艺评定”。“焊接工艺评定试板应经外观检查和 100% 射线透照检测,检测结果应符合气瓶产品规定”。即使焊缝余高,同一焊缝最宽最窄处之差也是如此。可见,气瓶焊接工艺评定规则及试件检验与锅炉、压力容器和压力管道的焊接工艺评定标准有根本区别。

(6)《蒸汽锅炉安全技术监察规程》附录 I “焊接工艺评定”。

《蒸汽锅炉安全技术监察规程》(1996 年)是原劳动部职业安全卫生与锅炉压力容器监察局组织编写,由劳动部发布的安全技术规范。从格式、内容来看与 JIS B8285—1993《焊接工艺评定试验方法》相近,但也有自己的特点。如:试件厚度适用于焊件厚度有效范围,基本上规定为 $(0.75 \sim 1.5)t$ (t :试件母材厚度);试件外观检查合格指标与产品焊缝相同;弯曲试验时规定弯曲试样的拉伸面应平齐且保留焊缝两侧中至少一侧的母材原始表面;弯轴直径为试样厚度的 3 倍,弯曲角度按单面焊或双面焊,按试件钢种不同而分为 180° 、 100° 、 90° 、 50° 四种等。

JIS B8285 的主要技术规定来源于 ASME IX 篇。《蒸汽锅炉安全技术监察规程》附录 I 内容简单、明

了,但弯曲试验与 JIS B8285、ASME IX 篇相比有很大区别。

(7)DL/T 868—2004《焊接工艺评定规程》

该标准是由中国电力企业联合会提出,由电力行业电站焊接标准化技术委员会归口,适用于电力行业锅炉、管道、压力容器和承重钢结构,该标准“参照了有关国际标准、国家标准和国内有关标准及规定”。从内容上看该标准主要参照 ASME IX 篇,在试件厚度适用于焊件范围、试件外观检验要求、弯曲试样表面要求,以及硬度试验、微观金相试验等与《蒸汽锅炉安全技术监察规程》附录 I 相同。

(8)GB 50236—1998《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》

该标准由原国家石油和化学工业局负责管理,其具体解释等工作由全国化工施工标准化管理中心站负责。该标准只适用于“工业金属管道”,不适用于“现场组焊的锅炉、压力容器”,在第四章专门编制了焊接工艺评定条款。从内容上看该标准主要参照了 ASME IX 篇和 JB 4708—1992,材料范围除钢材外,还包含了铝材、铜材、镍材和钛材。试件厚度适用于焊件厚度范围、弯曲试样表面加工,以及硬度、金相试验等与《蒸汽锅炉安全技术监察规程》附录 I 相同。

(9)SY/T 4103—1995《钢质管道焊接及验收》

该标准由中国石油天然气总公司工程技术研究院提出并归口,由中国石油天然气总公司发布,委托中国石油天然气管道局基建工程处负责解释,该标准是将 API Std 1104 第 17 版《管道及有关设施的焊接》进行转化,在技术内容上与 API Std 1104 等效;在编导规则上与之等同,适用于钢管、管件输送原油、成品油及气体燃料等介质的长输管道、压气站管网和泵站管网的安装焊接,我国西气东输等重大长输管道工程焊接施工及验收规范的焊接工艺评定大多采用 SY/T 4103。

API Std 1104 与 ASME IX 篇主要区别:

- 1) API Std 1104 中钢材按屈服强度分类,而 ASME IX 篇按抗拉强度分类分组;
- 2) 试件厚度适用于焊件厚度范围,API Std 1104 按厚度范围分档,而 ASME IX 篇规定一个适用范围;
- 3) 在层间温度控制方面,API Std 1104 控制两层时间间隔,而 ASME IX 篇则控制层间温度;
- 4) 在试件检验方面,API Std 1104 非常重视刻槽

锤断试验,(检查试件焊透、熔合和气孔、夹渣缺陷)但不规定做冲击韧性试验,而 ASME IX 篇则强调冲击韧性试验。

(10)SY/T 0452—2002《石油天然气金属管道焊接工艺评定》

该标准由石油工程建设施工专业标准化委员会提出并归口,由国家经济贸易委员会发布。

该标准在“评定规则”中主要参照了 JB 4708、GB 50236,在“试验与评定”中主要参照了 JB 4708、GB

50236 和 API Std 1104。

上述锅炉、压力容器、气瓶和压力管道行业中主要的焊接工艺评定标准,除 GB 5100 和 SY/T 1104 以外,都是参照采用 ASME IX 篇来编制的。

1.2 现行主要标准中焊接工艺评定的目的

焊接工艺评定的目的是焊接工艺评定标准的核心。经深入研究得知,国内承压设备各行业焊接工艺评定标准中的评定目的并不相同,详见表 1。

表 1 各焊接工艺评定标准特点

标准名称	焊接工艺评定类别	焊接工艺评定目的	重新评定焊接工艺的判断准则
JB4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》	(1)对接焊缝、角焊缝焊接工艺评定	为了获得焊接接头力学性能符合规定的焊接工艺指导书	焊接接头力学性能(抗拉强度,冲击韧性和弯曲性能)
	(2)耐蚀堆焊工艺评定	为了获得堆焊层化学成分符合规定的焊接工艺指导书	堆焊层的化学成分
	(3)型式试验件评定	在保证管与板接头力学性能的基础上,获得全焊透的焊接工艺规程	在确保焊接接头力学性能基础上,将焊接接头全焊透作为判断准则
JB/T4734—2002《铝制焊接容器》附录 B“铝容器焊接工艺评定” JB/T 4745—2002《钛制焊接容器》附录 B“钛容器焊接工艺评定”	(1)对接焊缝、角焊缝焊接工艺评定	与 JB4708 相同	焊接接头力学性能(抗拉强度,冲击韧性和弯曲性能)
	(2)型式试验件评定	与 JB4708 相同	在确保焊接接头力学性能基础上,将焊接接头全焊透作为判断准则
GB151—1999《管壳式换热器》附录 B	换热管与管板的焊接工艺评定	为了获得管与板接头的组合焊缝脚高度之和 $H \geq 1.4\delta$ 的焊接工艺指导书	焊接接头上“H”值(但在附录 B 中从未提及焊接接头力学性能)
GB5100—1994《钢制焊接气瓶》	气瓶主要焊缝(纵焊缝、环焊缝)焊接工艺评定	为了获得焊接接头力学性能、焊缝外观和内部缺陷符合标准规定的焊接工艺规程	焊接接头力学性能、焊缝外观及内部缺陷,同时作为判断准则
《蒸汽锅炉安全技术监察规程》附录 I “焊接工艺评定”	(1)对接焊缝与角焊缝焊接工艺评定	与 JB4708 相同	焊接接头力学性能(抗拉强度,冲击韧性和弯曲性能)
	(2)全焊透角接接头的评定	为了获得焊接接头力学性能和全焊透的焊接工艺指导书	焊接接头力学性能和全焊透同时作为判断准则(与 JB4708 型式试验件评定不同)
DL/T868—2004《焊接工艺评定规程》	对接焊缝、角焊缝焊接工艺评定	与 JB4708 相同	焊接接头力学性能(抗拉强度,冲击韧性,弯曲性能和硬度)
GB50236—1998《现场设备工业管道焊接工程施工及验收规范》	对接焊缝、角焊缝焊接工艺评定	与 JB4708 相同	焊接接头力学性能(抗拉强度,冲击韧性,弯曲性能)
SY/T4103—1995《钢质管道焊接及验收》	对接焊缝、角焊缝焊接工艺评定	与 JB4708 相同	焊接接头力学性能(抗拉强度、弯曲性能),但没有冲击韧性
SY/T0452—2002《石油天然气金属管道焊接工艺评定》	对接焊缝、角焊缝焊接工艺评定	与 JB4708 相同	焊接接头力学性能(抗拉强度、弯曲性能、冲击韧性)

由焊接工艺评定的目的决定的,当焊接工艺因素变更时,是否需要重新评定焊接工艺的判断准则也随之确定,各标准中的焊接工艺评定规则、检验内

容及结果评定才能制定。在表 1“重新评定焊接工艺的评判准则”一栏可以看出,即使判断准则相同,例如都是焊接接头的力学性能,但所包括的内容也

不完全一样。

2 对《承压设备焊接工艺评定》标准的思考

2.1 标准的依据

美国 ASME《锅炉压力容器规范》第 IX 篇“焊接与钎焊评定”的权威性与广泛性,一直为世界各国所公认,目前我国锅炉、压力容器和压力管道行业的焊接工艺评定标准,也大多参照采用 ASME IX 篇,取得了良好的效果。近些年来,欧盟标准 EN 288《金属材料的焊接工艺规程及评定》,后来发展成为 ISO 9956《金属材料焊接工艺规程及评定》(现又改为 BS/EN/ISO 15609)逐渐被国际所认可。由于我国锅炉、压力容器和压力管道的设计、制造、安装检验和使用标准也大多参照 ASME 规范,对欧盟发布的 97/23/EC《承压设备指令》以及 EN 13445《非火焰接触压力容器》则处于刚刚开始认识阶段,因此在《承压设备焊接工艺评定》标准编制过程中,从中国实际情况出发参照 ASME IX 篇不仅是合适的也是合理的。

从中国承压设备的实际情况出发,参照采用 ASME IX 篇“焊接与钎接评定”,制订适合于我国国情的《承压设备焊接工艺评定》标准。我国锅炉、压力容器、压力管道的实际情况包括:相关法律法规、安全技术规范标准;锅炉、压力容器、压力管道的设计、制造(安装)、维修、检验和监督;使用材料(母材和焊材);质量管理与工艺实施状况。最后,还需要使《承压设备焊接工艺评定》标准与焊接工艺人员的理解能力与接受能力相适应。

我们将根据中国合金体系所决定采用的金属材料,按照其化学成分、力学性能和焊接性能分类、分组;焊接材料也必须符合中国国家标准和行业标准,按照重新评定焊接工艺的评判准则,将焊条、焊丝、焊剂分类。

2.2 长输管道的焊接工艺评定

压力管道包括:长输管道、公用管道和工业管道。在国家质量监督检验检疫总局 2004 年 1 月 19 日公布的《特种设备目录》中就包含:长输(油气)管道。我国的 GB 50251—2003《输气管道工程设计规范》和 GB 50253—2003《输油管道工程设计规范》分别由油气田及管道建设设计专业标准化委员会和中国石油天然气集团公司主编,由中华人民共和国建设部和国家质量监督检验检疫总局联合发布。

在 GB 50251 中规定(管道)焊接工艺评定内容、试验方法应符合 GB 50236。GB 50253 中规定,现场

组焊的锅炉及压力容器等部分的焊接工艺评定应符合 JB 4708;输油管道线路部分应符合 GB 50236。从上述可知,GB 50236 与 JB 4708 都是参照采用 ASME IX 篇。而我国实际施工的长输管道的焊接工艺评定,如 Q/SY XQ4—2001《西气东输管道工程焊接施工及验收规范》(中国石油天然气股份有限公司西气东输管道分公司的企业标准),Q/SY SJ 19—2003《陕京二线管道工程线路焊接施工及验收规范》(北京华油天然气有限责任公司企业标准)等又都参照采用 API 1104—99 而编制的,如果西气东输管道工程和陕京二线管道工程都是按 GB 50251—2003 规定设计的,而实际施工却不按 GB 50251 所指定的焊接工艺评定标准,由施工单位自己确定采用标准,这确实令人难以理解。

有人以为 API 1104 是石油管道行业权威性国际性标准,也为世界各国所采用,ASME《锅炉压力容器规范》中 B31.8“输气和配气管道系统”中的焊接工艺评定同时引用 ASME IX 篇或 API 1104。而 GB 50251 是参照采用 ASME B31.8 进行编制的,从源头上讲,实际施工的长输管道工程采用 API 1104 (SY/T 4103 等效采用 API 1104)也是理所当然的。笔者认为这种说法是不对的,因为 ASME B31.8 中的焊接工艺评定在引用 ASME IX 篇还是引用 API 1104 时是有条件的,ASME IX 篇与 API 1104 最大的区别是,API 1104 只适用于没有冲击试验要求的场合,而 ASME IX 篇对有或无冲击试验要求的场合都适用。GB 50251 和 GB 50253 对管道设计都有冲击韧性要求,虽然在 Q/SY XQ4—2001 和 Q/SY SJ 19—2003 中对试件增加了冲击试验,但在焊接工艺评定规则中没有对影响焊接接头冲击韧性的焊接工艺评定因素作出规定。焊接工艺评定试件的冲击试验结果,能确保实际施工中现场焊接时不出现影响冲击韧性的焊接工艺因素的变化吗?回答是否定的。

对长输管道的焊接工艺评定标准的认识在中国石油天然气行业内也有非常大的争议,由石油工程建设施工专业标准化委员会提出并归口的 SY/T 0452—2002《石油天然气金属管道焊接工艺评定》中不仅对试件规定进行冲击韧性试验,而且在评定规则中详细列出影响冲击韧性的焊接工艺评定因素。说明国内石油天然气行业和承压设备行业都十分重视长输管道焊接接头的冲击韧性要求。

(下转第 39 页)

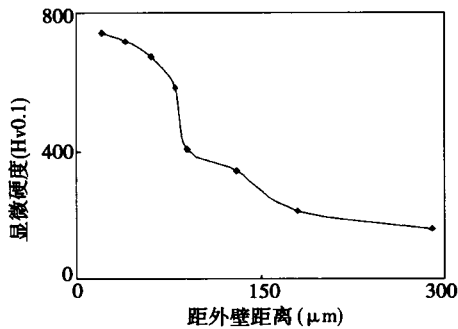


图 15 外壁渗铝层显微硬度

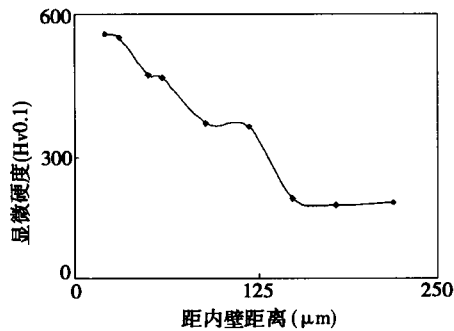


图 16 内壁渗铝层显微硬度

8 结论

通过前面拉伸、冲击、硬度试验以及各断口的宏观微观分析和显微组织分析,1080 管线长期在操作温度为 610 ℃、工作压力为 5.68 MPa 临氢工况下服役,管线材料已经发生了严重的脆化损伤,表现为塑性韧性的下降,常温冲击韧性下降尤为严重,管材焊缝冲击韧性远比母材下降得多,焊缝常温冲击功仅 10 J。

1080 管线材料的损伤分析结论如下:

(1)1080 管线长期在 610 ℃和 5.68 MPa 临氢工况下服役至今,材料的韧性、塑性已有较大幅度的下降,材料已受到较为严重的脆化损伤;

(2)材料出现脆化主要是由于 610 ℃高温下碳化物沿晶析出形成网状碳化物使材料变脆,导致冲击韧性显著下降;

(3)由于焊缝组织的不均匀性以及沿粗大的柱状晶上析出大量的碳化物,另外焊缝的内外面没有渗铝层的保护,致使焊缝材料比母材脆化更为严重,应引起充分重视;

(4)必须加强对管线焊缝部位的内外部检查,一旦发现有裂纹性缺陷存在必须及时更换;

(5)开停工时应严格遵循升温升压和降温降压的相关制度,避免管道承受冲击载荷而造成脆性破坏事故。

参考文献:

- [1] 上海市机械制造工艺研究所,金相分析技术[M].上海:科学技术文献出版社,1987.
- [2] 董雷云,刘长军.长期高温服役主蒸汽管道材质损伤分析[J].压力容器,2005,22(1).

收稿日期:2005-12-29

作者简介:董雷云(1972-),男,主要从事石油化工设备管道的材质损伤、失效分析及安全性评价研究,通讯地址:华东理工大学化工机械研究所。

(上接第 5 页) 参照采用 ASME IX 篇制订的承压设备焊接工艺评定也必将适用于长输管道。

2.3 焊接工艺评定在承压设备焊接中的作用

焊接是焊制承压设备制造中的重要工艺,焊接质量与诸多方面的因素密切相关,主要有材料的焊接性能、焊接方法、焊接材料、焊接技能、焊接工艺、焊接检验、焊接管理。焊接工艺评定只是说明了当焊接工艺因素变更后对焊接接头性能的关系。焊接工艺评定标准只回答焊接接头性能问题,不能回答其它方面的问题,比如:劳动生产率、劳动保护、应力变形、方便生产等等,用评定合格的焊接工艺施焊,不表示承压设备焊接质量都合格,更不能确保承压设备的安全使用。

不了解承压设备焊接工艺评定标准,盲目夸大承压设备焊接工艺评定作用,扩大其运用范围,是十分

普遍的问题。有人认为焊接工艺评定是为了选择焊接工艺最佳规范参数,这是做不到的。通过焊接工艺评定可以确定该焊接工艺所施焊焊接接头的某一性能(如力学性能、化学成分、焊透、焊缝外观……)是否符合标准的规定,但不能说是最佳的。我们也经常看到研发新钢种,使用国外钢材或新使用的焊接材料,都要经过焊接工艺评定,进行拉伸试验、弯曲试验、冲击试验,其结果只能说明在某一指定焊接工艺条件下焊接接头力学性能是否符合标准的规定,而不能说明该钢材、焊材的裂纹敏感性如何,耐腐蚀性能如何、高温性能如何等等一系列问题,只通过承压设备焊接工艺评定不能确定其能否用于承压设备产品。

目前世界上还没有编制出这样一个焊接工艺评定标准,只要按此标准评定合格,可以使焊接接头所有性能都符合规定,这是做不到的。 (待续)

标准规范

编者按:焊接工艺评定是控制构件焊接质量的重要环节之一,一直受到锅炉、压力容器、气瓶和压力管道等各承压设备行业的重视。全国锅炉压力容器标准化技术委员会根据特种设备安全监察局指示精神以及承压设备行业的需要,决定制订《承压设备焊接工艺评定标准》,以统一各承压设备行业中的类似标准。

JB4708—2000《压力容器焊接工艺评定》标准的主要起草人张建荣、戈兆文两位专家对《承压设备焊接工艺评定标准》进行了长期认真、仔细的思考,对新标准的理念、核心内容和关键章节都有新的见解与看法,应本刊编辑部约请总结成文刊载,与承压设备同行进行交流。

对“承压设备焊接工艺评定标准”的思考(二)

张建荣¹,戈兆文²

摘要:对正在制订的《承压设备焊接工艺评定》标准中各重要观点与主要技术内容进行思考以及所总结的心得体会。主要内容有各类焊接工艺评定标准的目的、两个类型的焊接工艺评定,以及两类评定之间的区别与联系。本文还首次提出一些新思路、新观点,如母材、焊材分类细则以及标准以外材料分类要有分类报告佐证;通用的焊接工艺评定规定及使用方法;换热管与管板的焊接工艺评定是评定角焊缝厚度;气瓶焊接工艺评定是两个类型评定的结合,也可以分别评定。《承压设备焊接工艺评定》标准不仅适用于锅炉、压力容器(含气瓶),也适用于包括长输管道在内的压力管道。

关键词:承压设备;焊接工艺评定;标准

中图分类号:TQ051 文献标识码:A 文章编号:1001-4837(2006)02-0001-07

Thoughts on the Standard of Welding Procedure Qualification for Pressure Equipments(2)

ZHANG Jian - rong¹, GE Zhao - wen²

(1. National Quality Technology Supervising Station, Beijing 100088, China;

2. Hefei General Machinery Research Institute, Hefei 230031, China)

Abstract: The important concepts and main content of the Standard of Welding Procedure Qualification for Pressure Equipments which is being worked out at present were thought and some understandings were summarized. The main content included the purpose of all kinds of welding procedure qualification standards, two types of welding procedure qualification, and the differences and similarities between the two types. Some new ideas and views were proposed, such as regulation on general welding procedure qualification and its method of application, welding procedure qualification between heat exchange tube and tube sheet assessed by the thickness of fillet weld, and so on. Standard of Welding Procedure Qualification for Pressure Equipments is not only applied in boilers and pressure vessels, but also in pressure piping including long distance pipeline.

Key words: pressure equipment; welding procedure qualification; standard

2.4 两类焊接工艺评定

由表 1 可知各类焊接工艺评定的目的并不完全相同。按焊接工艺评定的目的,将表 1 中各类焊接工艺评定分为两种类型,见表 2。

表 2 两种不同类型的焊接工艺评定

类型	焊接工艺评定	焊接工艺评定目的
第 类型	JB4708 —2000 JB4734 —2002 JB4745 —2002 《蒸汽锅炉安全技术监察规程》附录 I GB5100 —1994 DL/ T868 —2004 GB50236 —1998 SY/ T4103 —1995 SY/ T0452 —2000	获得焊接接头力学性能符合规定的焊接工艺指导书
	JB4708 —2000 JB/ T4734 —2002 JB/ T4745 —2002	型式试验件评定的目的是焊接接头全焊透
	GB151 —1999 附录 B	
	GB5100 —1994	焊缝外形、尺寸和内外缺陷符合规定
	《蒸汽锅炉安全技术监察规程》附录	角接接头全焊透

注:第 类型焊接工艺评定是在获得焊接接头力学性能符合规定的焊接工艺指导书基础上继续评定。目的是为了获得焊接接头的全焊透或“H”值或焊缝外形及尺寸以及内外缺陷符合规定的焊接工艺规程。

从表 2 可以看出:

(1)第 类型焊接工艺评定标准是基础性评定,目的是保证焊接接头力学性能符合规定,而第 类型焊接工艺评定标准则是特定性评定,是在保证焊接接头力学性能基础上,通过评定焊接工艺规程,再保证某种特定焊接接头的外观或焊透或缺陷符合规定。

(2)第 类型焊接工艺评定是通用性的,适用于所有承压设备对接焊缝和角焊缝所连接的焊接接头;而第 类型焊接工艺评定则是专用性的,只适用于管与板(管)接头、换热管与管板接头、焊接气瓶等指定产品或指定接头。

(3)在实施焊接工艺评定时,对于第 类型焊接工艺评定需得到评定合格的焊接工艺指导书,而对于第 类型焊接工艺评定则是在获得评定合格的焊接工艺指导书后,再评定出合格的焊接工艺规程,如:换热管与管板的焊接工艺评定就应如此进行。因此,第 类型评定是评定“重要因素”与“补加因素”,而第 类型评定只是在“重要因素”及“补加因素”范围内评定“次要因素”。

(4)认清两种类型的焊接工艺评定的目的在于分清两种类型评定规则,不要将第 类型中的评定规则强加于第 类型评定,例如焊后热处理对第 类型十分重要,但对于“焊透”、“H”尺寸等,焊后热处理则不用考虑。分清两类评定的作用是减少焊接工艺评定数量,如气瓶焊接工艺评定经第 类型评定后,如果改变焊接电源(但线能量不增加)、焊接生产线(但焊接工艺参数不变)则只要进行第 类焊接工艺评定,施焊试件后进行焊缝外观(外形与尺寸)和内外缺陷检验,不必进行焊接接头力学性能检验。

为方便起见,将第 类型焊接工艺评定,称之为“焊接工艺评定”;而将第 类型焊接工艺评定,称之为“焊接工艺附加评定”。

2.5 焊接工艺评定的基础是金属材料的焊接性能

要进行焊接工艺评定,首先要拟定焊接工艺指导书,由具有一定专业知识和相当生产实践经验的焊接技术人员依据所掌握材料的焊接性能,结合产品设计与制造厂焊接工艺,拟定出供评定使用的焊接工艺指导书,材料的焊接性能试验不解决当焊接工艺发生变更后,焊接接头性能是否符合规定要求这个问题。材料焊接性能试验与焊接工艺评定不能互相代替。

金属材料的焊接性能是焊接工艺评定的基础,监督检查制造厂的焊接工艺评定,不如检查制造厂对材料的焊接性能的掌握程度。对于新材料(包括焊接材料)、国外材料(包括焊接材料)只要是焊接工艺评定标准中没有指明的材料,要想进行焊接工艺评定分类,也必需掌握材料(包括焊接材料)的焊接性能。检查掌握材料焊接性能程度的最好方法是审阅所提交材料焊接性能报告,从焊接性能试验范围、国内外数据对比、相类似材料的试验结果及结论可靠性进行综合分析。

2.6 焊接工艺评定规则和焊接工艺规程

焊接工艺评定规则是焊接工艺评定标准中的主要内容。为了减少焊接工艺评定数量,根据材料的焊接性能特点、焊接工艺基本规律和焊接管理要求,找出焊接工艺评定因素的内在联系,对各种评定因素进行分拎、分组并制订相应的替代关系、覆盖关系、省略关系。

而焊接工艺规程则是制造焊件所要求的有关加工和操作细则的程序文件,可保证由熟练焊工或操作工施工时的质量再现性。

焊接工艺评定规则与焊接工艺规程的目的各不

相同,但又是相互关连的两个概念,不能将焊接工艺评定规则当作焊接工艺规程,例如在对接焊缝与角焊缝的焊接工艺评定时,从焊接接头的力学性能判

16MnR 与 16MnR 相焊,评定合格的焊接工艺可以用于 16MnR + 20R 的焊接接头,但焊条牌号 J507 不能变。从强度匹配考虑 16MnR + 20R 相焊最好用 J427 焊条,但改变焊条牌号要重新评定工艺。在实际产品中,16MnR + 20R 焊接接头的焊接工艺卡究竟选用 J507 焊条,还是 J427 焊条,则不能单纯考虑焊接工艺评定规则,还要综合考虑强度匹配,简化工艺、焊件施焊条件与焊条供应等情况,具体由焊接工艺人员确定。

结合工程实践,类似的问题还很多,解决这类问题的总原则是:焊接工艺评定规则不是产品的焊接工艺规程。当依据评定合格的焊接工艺指导书编制产品的焊接工艺规程时,还要综合考虑材料的冶金特性,金属材料性能、焊接性能以及图样设计技术要求、服役条件和制造工艺等因素。

2.7 变更或增加焊接工艺评定的检验要求

焊制承压设备的相关人员,从自身工作范围出发,往往超出焊接工艺评定标准范围,变更或增加了焊接工艺评定试件的检验项目。大体上分三种情况:对高强度钢增加硬度与金相检验、对 Cr - Mo 耐热钢则增加回火脆化试验、对不锈钢则增加晶间腐蚀检验。超出标准规定范围增加或变更检验要求的根本原因是不理解焊接工艺评定的目的,达不到预期的结果。

如果要在现行的对接焊缝与角焊缝焊接工艺评定标准中变更或增加检验要求,必须解决三个问题:(1)明确指出检验方法;(2)规定出合格指标;(3)变更或增加检验要求后的焊接工艺评定规则。

例如:焊接工艺评定试件增加金相检验,则必须指明是宏观金相,微观金相,还是电子显微镜观察,是检验金相组织或裂纹、缺陷,以及合格指标是什么。如果这些问题都能解决,则既进行了试件的力学性能检验,又进行了金相检验后,原来焊接工艺评定规则就不再适用于所增加金相检验的结果,即要重新编制以力学性能和金相检验为判断准则的焊接工艺评定标准,原来的焊接工艺评定规则就不再适用了。增加其它检验要求也是如此。

金相组织、裂纹、腐蚀试验、回火脆化等如此问题都是材料的焊接性能,应在焊接工艺评定前充分

研究、试验,得出结论,焊接工艺评定不能代替材料的焊接性能试验。

腐蚀性能、回火脆化等都是部分材料的专用性能,不是所有承压设备的基本要求,在掌握焊接工艺变更与焊接接头力学性能关系的基本规律后,才能制订出焊接工艺评定标准,对于焊接工艺变更与焊接接头专用性能之间的关系,则应根据理论知识或实践经验、科学实验来判断。

通常,对所要求增加的检验要求,只是对所施焊的试件有效,提不出省略范围、覆盖范围和替代范围。

2.8 焊接工艺评定不是模拟试验,也不是见证试验

至今,仍有人将返修焊接工艺评定按下列方式进行:如果进行几次焊接返修,则对于用作焊接工艺评定的试件,也必须进行焊缝去除 - 再焊接几次反复,认为这才是返修焊的焊接工艺评定试件,这是将焊接工艺评定当作模拟试验、见证试验的典型做法,这种做法不明白焊接工艺评定的目的,是错误的。焊接返修次数不是焊接工艺评定因素。

如表 1 所示,各类焊接工艺评定的目的各不相同,围绕各自目的而设计出不同类型的试件,根据各不相同的评定规则在典型的试件上对不同的焊接工艺因素进行评定。而评定合格的焊接工艺,则适用于相应范围内焊件的焊接接头。

虽然 JB4708 - 2000 释义第 10 章中型式试验件图与人孔、接管接头等相类似,但列出了 5 条评定规则,同时还规定了板 - 板试件与管 - 板试件之间的替代关系,因而型式试验件并不是模拟试验。

3 对“对接焊缝与角焊缝焊接工艺评定”的思考

3.1 母材分类、分组

对接焊缝与角焊缝焊接工艺评定中母材分类、分组都是焊接工艺评定规则中的重点内容。母材分类、分组结果不仅直接影响焊接工艺评定质量与数量,而且与焊件预热、焊后热处理的温度关系十分密切。从对接焊缝与角焊缝焊接工艺评定的目的出发,详细研究了 ASME IX 篇中母材分类、分组,认为焊接工艺评定标准中的母材主要考虑焊接接头的力学性能前提下也充分考虑到母材化学成分(与耐热、耐腐蚀等使用性能密切相关)及焊接性能进行分类。具体如下:

(1)第一类为强度钢,从低碳钢到低合金高强度钢,强度级别最高为 590 MPa,将调质钢与热轧钢、

正火钢、正火加回火钢放在一起分类;

(2) 第二类待定;

(3) 第三类为含 Mo 的强度钢、钼在钢中不仅提高耐热性,而且可以提高强度,第三类钢中的含钼量一般都等于或大于 0.3 %;

(4) 第四类为铬钼耐热钢,铬含量小于 2 %;

(5) 第五类为铬钼耐热钢,铬含量大于或等于 2.5 %;

(6) 第六类为马氏体不锈钢;

(7) 第七类为铁素体不锈钢;

(8) 第八类为奥氏体不锈钢;

(9) 第九类为含镍为 3 % 的低温钢;

(10) 第十类为奥氏体与铁素体双相不锈钢及高铬钢。

将使用温度低于 - 20 的低温钢单独设为一类不妥当,低温钢实际上也是强度型合金钢,不过要求在低温下还具有一定冲击韧性,将低温钢与强度型钢放在同一类,有利于简化母材分类。焊接工艺评定时,低温钢与强度型合金钢放在一类,并不妨碍设计人员选用。

ASME 篇在 QW - 420.1 中指出,“对母材指定 P - No(类别号)是为了减少焊接和钎焊工艺评定数量,而对于具有规定冲击试验要求的铁基金属母材,在类别号下面再指定组号。承压设备究竟在什么情况下规定要进行冲击试验,国内规定与 ASME 规定不同,ASME 篇中规定,根据钢材使用温度、钢材厚度、强度级别和交货状态确定,若符合 UG - 84(c) (4) 中图 UG - 84.1 规定,则要求进行冲击韧性试验,否则可以豁免冲击;国内对压力容器冲击试验要求则由标准、图样或钢材本身有无冲击试验来决定,可以说,几乎所有钢制压力容器都要求进行冲击试验,因此承压设备焊接工艺评定标准中母材分类后的分组不能与 ASME IX 篇相同:

(1) 第一类母材按其抗拉强度级别分成 4 组: 40, 50, 55, 60 kgf/ m²;

(2) 第三类母材也按其抗拉强度分成 3 组: 40, 50, 60 kgf/ mm²;

(3) 第四类母材按 Cr - Mo 含量的公称成分分为 2 组: 1Cr - 0.5Mo, 1Cr - 0.5Mo - V;

(4) 第五类母材按 Cr - Mo 含量的公称成分分为 2 组: 2.25Cr - 1Mo, 5Cr - 0.5Mo

(5) 第六、七、九类不分组;

(6) 第八类母材按 Cr - Ni 配比高低不同分成 2

组:低配比(18 - 8 型)、高配比(25 - 13 型, 25 - 20 型)

(7) 第十类按奥氏体和铁素体双相不锈钢以及高铬钢分成二组。

3.2 焊材分类、分组

承压设备用焊材种类繁多,性能各异。国内外焊材牌号不计其数,在制订焊接工艺评定标准时,焊材如何分类,是个十分重要的任务。

按焊材的牌号、钢号进行分类,较简单且直观性强。随着市场经济发展,国内焊材统一牌号做法逐步被企业牌号所代替,焊材统一牌号并不是国家标准,不具备标准的功能,用焊材牌号作为焊接工艺评定的因素有很多局限性,承压设备焊接工艺评定标准中的焊接材料不按牌号来划分类别。

ASME IX 篇中焊材分类主要有 3 种形式: F 编号、A 编号和焊材型号。

对于焊条,不区分焊条种类和型号而是按照药皮类别划分 F 编号。对于焊丝则将所有钢质实芯焊丝与药芯焊丝,不分钢号、型号合成一个 F 编号。A 编号是用于焊接工艺评定的钢质焊缝熔敷金属化学成分分类法,共划分 12 个类别,见表 3。

F 编号主要适用于焊工考试,国内用于承压设备的焊条药皮类别有限,不宜用于焊接工艺评定的分类。

而 A 编号,只考虑 6 种合金元素,成分范围广,合金体系与我国不同,在同一 A 编号中包含多个强度等级的焊材,容易在焊材评定时造成失误。

JIS B8285 —1993《焊接工艺评定试验方法》对焊材分类与母材分类的原则一致,与对接焊缝、角焊缝焊接工艺评定的目的十分吻合。但 JIS B8285 对焊材分类没有考虑国外焊材、新研制焊材及未列入国家标准的焊材的分类。笔者认为可以吸收 JIS B8285 中合理部分作为承压设备焊接工艺评定标准中的焊材分类的主要参照,并对没有列入评定标准中的焊材另列条款作出具体规定。

承压设备用焊材分为两种情况:

(1) 填充金属类:可增加熔敷金属成分的焊接材料(如焊条、焊丝、焊剂),预置填充金属等;

(2) 非填充金属类:氩气、二氧化碳、衬垫等。

只对可增加熔敷金属成分的焊接材料即填充金属进行分类。

焊条、气焊、气体保护焊、等离子弧焊用焊丝分类原则与母材一致。

表 3 焊接工艺评定用钢质焊缝熔敷金属化学成分分类

A 编号	熔敷金属类型	化学成分 (%)					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	软钢	0.20	—	—	—	1.60	1.00
2	碳钼钢	0.15	0.50	0.40~0.65	—	1.60	1.00
3	铬(0.4%~2%)钼	0.15	0.40~2.00	0.40~0.65	—	1.60	1.00
4	铬(2%~6%)钼	0.15	2.00~6.00	0.40~1.50	—	1.60	2.00
5	铬(6%~10.5%)钼	0.15	6.00~10.50	0.40~1.50	—	1.20	2.00
6	铬-马氏体	0.15	11.00~15.00	0.70	—	2.00	1.00
7	铬-铁素体	0.15	11.00~30.00	1.00	—	1.00	3.00
8	铬-镍	0.15	14.50~30.00	4.00	7.50~15.00	2.50	1.00
9	铬-镍	0.30	19.00~30.00	6.00	15.00~37.00	2.50	1.00
10	镍至 4%	0.15	—	0.55	0.80~4.00	1.70	1.00
11	锰-钼	0.17	—	0.25~0.75	0.85	1.25~2.25	1.00
12	镍-铬-钼	0.15	1.50	0.25~0.80	1.25~2.80	0.75~2.25	1.00

注:化学成分中的单一值指最大值。

埋弧焊时要同时使用焊剂与焊丝,在电弧(或电渣)作用下焊剂与焊丝共同决定熔敷金属成分与性能。当对埋弧焊用焊材分类时,形式上埋弧焊用焊丝的分类原则与母材相同,实际中所使用的焊丝必须与其指定匹配的焊剂连用后进行分类。对于埋弧焊用焊剂分类也是要求与其指定匹配的焊丝连用后进行分类。

不锈钢用埋弧焊焊剂对熔敷金属成分的影响与焊剂类型(烧结焊剂、熔炼焊剂)有关,同类型中不同型号的不锈钢焊剂主要起保护作用,避免溶池成分发生变化,因而与焊剂型号无关。

3.3 标准以外的材料(母材及焊材)分类、分组

对于未列入承压设备焊接工艺评定标准中的母材或焊材有下列情况:

- (1)母材:1)虽列入国家标准或行业标准,但未列入承压设备焊接工艺评定标准;2)未列入国家标准或行业标准;3)国外金属材料。
- (2)焊材:1)相当于国家标准的焊接材料;2)符合家国家标准中型号后带“G”的焊材;3)国外焊接材料;4)没有国家标准或行业标准;5)没有划分类别的焊接材料。

上述情况中的母材或焊材应分别评定,对于碳钢、铬钼耐热钢、不锈钢(限于与氏体型、铁素体型和奥氏体型)的母材或焊材,当有“分类报告”证明,使用单位能充分掌握这些母材或焊材的化学成分、力学性能和焊接性能,则可以按承压设备焊接工艺评定标准中母材、焊材分类表进行分类。

“分类报告”至少要包含下列内容:

- (1)母材或焊材的牌号、型号及相应标准或技术

条件;(2)母材或焊材熔敷金属的化学成分;(3)母材或焊材的焊接性能;(4)母材或焊材的工程使用业绩及业绩来源;(5)各项数据,结论及业绩来源;(6)陈述分类、分组理由。

由使用单位分类、分组的母材或焊材只限定于承压设备焊接工艺评定标准中的类别、组别,超出范围,则仍然分别评定。

3.4 焊后热处理

焊后热处理的保温温度或保温时间范围只是补充因素,影响焊接接头的冲击韧性。焊后热处理保温温度严格来说是个定值(允许有工程偏差)而不是一个温度范围,如某钢号焊后热处理保温温度为 600,工程偏差为 ± 20 ,有些理解保温温度为 580~620,而且偏差为 580 ± 20 ,620 也是 ± 20 ,则在 560~640 范围内保温都是允许的,这种理解不正确。

3.5 承压设备焊接工艺评定的输入、输出

焊接工艺评定作用之一就是评定制造(或安装)单位能否焊出符合标准规定的焊接接头。对于那些没有能力或没有时间等到掌握某种母材的焊接性能后再去拟定焊接工艺指导书和评定焊接工艺的单位,在一定条件下可以输入外单位评定合格的焊接工艺,但需满足以下条件:

- (1)输出焊接工艺评定的单位,应经有关机构认定批准;输入的焊接工艺评定必须是用于承压设备的焊接工艺评定文件。
- (2)当焊件有冲击试验要求时,不得使用输入的焊接工艺评定。
- (3)输入的焊接工艺评定,必须经过本单位采用

对接焊缝试件验证合格后才能在焊件上使用。

3.6 焊接工艺评定试件的检验与评价

焊接工艺评定试件是否要检验焊缝外形与尺寸及进行无损检测并规定评定级别,在各行业标准中规定并不相同,从对接焊缝与角焊缝焊接工艺评定的目的出发,要求评定出焊接接头力学性能符合标准的焊接工艺,因此评定规则、试件设置、检验要求都是围绕焊接接头力学性能的。焊缝外观检验与无损检测级别不是焊接工艺评定目的,因而在《承压设备焊接工艺评定》标准中不作规定。

试件的弯曲试验方法在各行业标准中规定也不相同,主要集中在下列几个方面:

- (1) 弯曲试样的受拉面是否允许机加工;
- (2) 压头直径 D 与试件厚度 a 之比是 4 还是 3;
- (3) 试件的弯曲试验角度与钢材种类有无关系,与单面焊、双面焊有无关系。

弯曲试验的目的是检验焊接接头的塑性与致密性(连续性、完好性),其有一些微小缺陷,肉眼看不出,无损检测也查不出,但当弯曲延伸到一定长度后则可看出。为了保证试验的可靠性、重复性,试验结果不受外界因素干扰,要求试样受拉面的表面状况平整,不会产生应力集中的焊接缺陷、刀痕或界面,对试样表面进行机加工是必要的。

压头直径 D 与试件厚度 a 比例与压头直径下方弯曲试样表面延伸率关系见表 4、图 1。从表 4 可知,随着压头直径减小,弯曲试样表面延伸率加大。从图 1 可以看出,随着压头直径加大,试样拉伸表面中热影响区、熔合区和焊缝区的延伸率趋于接近,当 $D = 4a$ 时,焊接接头三区延伸率可达 20%,而 $D = 3a$ 时虽然焊缝区延伸率为 25%,但热影响区延伸率却低于 20%。热影响区是焊接接头中的薄弱面,减低对薄弱环节的弯曲试验要求对整个焊接接头性能不利,因此,焊接接头弯曲试验时, $D = 4a$ 要比 $D = 3a$ 要求合理、严格。

表 4 D/a 与受拉面最大延伸率的关系

D/a	1	2	2.5	3	4	6
(%)	50	33	29	25	20	14

同一台承压设备中有不同种类钢材,有单面焊也有双面焊,从设计、制造与使用考虑,它们的焊接接头弯曲试验要求应相同,不应分别对待。

4 对“换热管与管板焊接工艺评定”的思考

ASME - 1 篇 UW - 20 管子与管板焊缝中,列

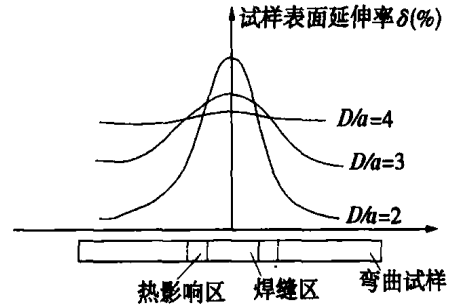
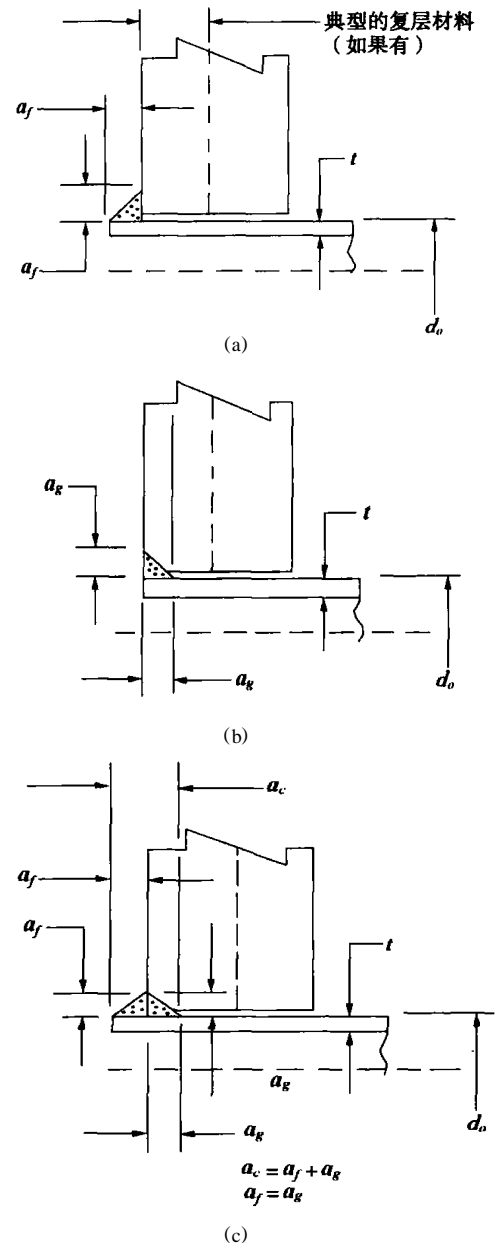


图 1 焊接接头弯曲试验时 D/a 与 δ 的关系示意图。举了管子与管板焊缝连接的 4 种形式(见图 2),对这四种连接形式的焊缝强度计算结果、要求焊缝尺寸如表 5 所示。



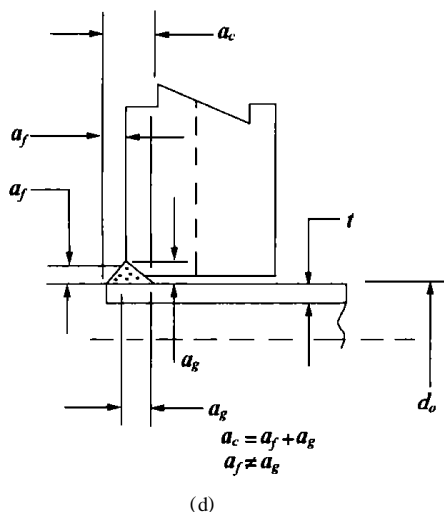


图 2 管子和管板焊缝连接的四种形式

a_f ——角焊缝焊脚高,mm; a_g ——对接焊缝焊脚高,mm; a_r ——角焊缝焊脚设计高,mm; (对图 (b), a_r ——对接焊缝焊脚设计高度,mm; a_c ——对接焊缝与角焊缝焊脚实际高度之和,mm

表 5 换热管与管板连接焊缝尺寸

图 2 中的分图号	全强度焊缝的尺寸要求	部分强度焊缝的尺寸要求
(a)	a_f a_r 或 t 中的较大者	a_f a_r
(b)	a_g a_r 或 t 中的较大者	a_g a_r
(c)	a_c ($a_r + a_g$) 或 t 中的较大者	a_c ($a_r + a_g$)
(d)	a_c ($a_r + a_g$) 或 t 中的较大者	a_c ($a_r + a_g$)

换热管在管壳式换热器运行时处于反复伸长、收缩交替状态,连接焊缝则受剪切应力作用,剪切应力为许用应力的 0.7 倍,

图 2 可以分为两种情况:

(1) 图 2 (b) ~ (d) 中的 a_g 为对接焊缝焊脚高, 主要与坡口设计有关, 坡口多深, 则 a_g 就有多长, 与焊接工艺评定无关;

(2) 图 2 (a)、(c)、(d) 中的 a_f 则由设计所确定的, 通过编制合适的焊接工艺规程来实现, 焊接工艺规程能否保证所要求的角焊缝厚度, 则要经过焊接工艺附加评定。

连接换热管与管板的角焊缝的厚度若为管壁厚 t 的 $2/3$ 时, 则可以保证角焊缝的焊脚高 a_f 与 t 相等, 角焊缝有足够的焊缝厚度, 可以防止成为剪切作用下的薄弱面。

换热管与管板的焊接工艺评定, 实质上就是对保证角焊缝厚度的焊接工艺规程的评定。换热管与管板的焊接工艺评定目的是在保证焊接接头力学性能基础上, 获得角焊缝厚度符合指定技术要求的焊接工艺规程, 具体做法: 按对接焊缝与角焊缝焊接工

艺评定标准, 评定出合格的焊接工艺指导书, 结合换热管与管板实际情况编制角焊缝的焊接工艺规程进行验证, 要求角焊缝焊缝金属厚度大于或等于 $2/3$ 管壁厚。重新评定角焊缝焊接工艺规程的判断准则, 则是焊接工艺因素的改变是否影响角焊缝的焊缝厚度。

5 对“气瓶焊接工艺评定”的思考

焊接气瓶的制造特点是品种单调、结构类同、大批量的机械化连续生产, 不仅要求气瓶纵、环缝焊接接头力学性能符合标准的规定, 也要求每只气瓶的焊缝外形及尺寸在连续生产中保持一致, 焊缝的内外缺陷也都符合标准的规定。在 GB5100—1994《钢制焊接气瓶》中的焊接工艺评定规定, 瓶体母体、焊接方法、焊接材料、焊接工艺、焊接辅助装置及焊接生产线上任一变化, 都可能引起气瓶焊接过程或焊接参数的改变, 从而可能发生焊接接头力学性能或焊缝外形、尺寸变化或产生内外缺陷, 因此, 将任一变动后焊接的第一只气瓶当作焊接工艺评定试件, 进行全面检验, 以保证气瓶连续生产时质量的稳定性。

实际上, 影响焊接接头力学性能的焊接因素与影响焊缝外形、尺寸及内外缺陷的焊接因素是可以区分开的, 当发生可能引起焊接接头力学性能的焊接因素变化时, 则进行试件 (瓶体) 的力学性能试验, 否则只进行试件 (瓶体) 的焊缝外形、尺寸及内外缺陷的检验。

因此, 气瓶焊接评定分为两方面内容: 首先要评定出合格的焊接工艺指导书以保证焊接接头的力学性能符合标准规定, 在此基础上评定出合格的焊接工艺规程以保证焊缝外形、尺寸及内外缺陷, 符合产品的规定。这两方面评定内容可以合并一起完成, 亦可以分开评定。

6 对“管与板(管)焊接工艺评定”的思考

JB4708—2000 中的 4.3 条规定了型式试验件评定, 当时的初衷是想通过型式试验件的评定, 评定出保证管 - 板角接头全焊透的焊接工艺, 以便在产品施焊时与具有相应技能的焊工相配合, 获得产品全焊透的管 - 板角接头。在锅炉压力容器产品中管与板的焊接很多, 而在压力管道中则还有管与管的焊接, 这也要求全焊透, 在 ISO9956 - 3:1995《金属材料焊接工艺规程及评定》的第 3 部分中 (下转第 18 页)

- [12] 纪冬梅,周昌玉. 07MnNiCrMoVDR 在硫化氢溶液中的腐蚀疲劳裂纹扩展速率数学模型[J]. 压力容器, 2003, 20(8): 1-3, 52.
- [13] 王荣,路民旭,郑修麟. 腐蚀疲劳裂纹扩展及寿命估算[J]. 航空学报, 1993, 14(3): 188-192.
- [14] 赵建平,周昌玉. 加载频率 f 和应力比 R 对腐蚀疲劳裂纹扩展速率影响的研究[J]. 压力容器, 1999, 16(6): 1-4, 57.
- [15] K. Sadananda, A. K. Vasudevan. Fatigue Crack Growth Mechanisms in Steels[J]. International Journal of Fatigue, 2000, 25: 899-914.
- [16] NACE MRO175-97, "Sulfide Stress Cracking Resistant Metallic Materials For Oilfield Equipment"[S]. 1997.
- [17] NACE TM0177-96, Laboratory Testing of Metals for Resistance to Specific Forms of Environmental Cracking in H_2S Environments[S]. 1996.
- [18] EFC Publications No. 16, Guidelines on Materials Requirements for Carbon and Low Alloy Steels for H_2S -Containing Environments in Oil and Gas Production[J]. Reprinted with Corrections, 1998.
- [19] GB17820-1999, 天然气[S]. 1999.
- [20] 王荣. 金属材料的腐蚀疲劳[M]. 西安:西北工业大学出版社, 2001, (9): 4-5.
- [21] 李庆芬. 断裂力学及其工程应用[M]. 哈尔滨工程大学出版社, 1998, (8): 148-155.
- [22] 董彦军,张亦良,王赢. 低周腐蚀疲劳试验自动控制系统的研究[J]. 计量技术, 2004, (6): 37-38.
- [23] ZHANG Yiliang, WANG Jing, SHAN Xiaoping, (LI Bangxian, Critical Crack Sizes of CNG Cylinder Steel in H_2S Environment [C], 2004 International Symposium on Safety Science and Technology (2004 ISSST) Shanghai, China, 10: 25-28, 2004.
- [24] 王荣. 金属材料的腐蚀疲劳[M]. 西安:西北工业大学出版社, 2001, (9): 58-61.
- [25] ASME Boiler and Pressure Vessel Code[S]. Section XI, Appendix A, 2001, Article A-3000, 371-389.
- [26] Blackburn P. R. and Rana M. D. Acoustic Emission Testing and Structural Evaluation of Seamless Steel Tubes in Compressed Gas Service[J]. Pressure Vessel Technology, 1986, 108(2): 234-240.
- [27] T. R. Fabis, P. K. Liaw and J. D. Landes. Computer - Controlled Fatigue Crack Growth Rate Testing On Bend in a Corrosive Environment [J]. Environment Sensitive Fracture: Evaluation and Comparison of Test Methods. 1984: 470-483.
- [28] Barsom, J. M. Effect of Cyclic Stress Form on Corrosion - Fatigue Crack Propagation Below KISCC in a High Yield Strength Steel [J]. National Association of Corrosion Engineers. 1972: 424-436.
- [29] Stewart, A. T. The Effect of Hydrogen on Fatigue Crack Propagation in Steels [J]. In proceedings, Mechanisms of Environment Sensitive Cracking of Materials [C]. University of Survey, Guildford, 4-7 April 1977, 400-411.

收稿日期: 2005-10-12

作者简介: 张亦良(1955-), 女, 教授, 长期从事材料力学教学工作和大型结构物的焊接应力分析、压力容器的焊接残余应力和工作应力测试分析及安全评定、疲劳断裂力学的测试方法、材料应力腐蚀性能的研究等, 通讯地址: 北京工业大学机电学院。

(上接第7页) 钢弧焊的焊接工艺试验中就规定了叉连接管试件, 如图3所示(图中角度为实际产品的

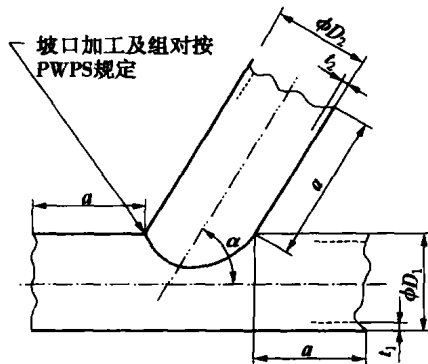


图3 叉连接管试件

$a = 150$ mm(最小); D_1 = 主管外径; t_1 = 主管壁厚; D_2 = 叉管外径; t_2 = 叉管壁厚

最低值)。

管与板(管)接头的焊接工艺评定是要求评定出可以焊透的焊接工艺规程, 首先要保证管与板(管)接头的力学性能。因此, 管与板(管)焊接工艺评定目的是: 在保证管与板(管)接头力学性能的基础上, 获得全焊透的焊接工艺规程。具体做法是先进进行对接焊缝与角焊缝的焊接工艺评定, 评定出合格的焊接工艺指导书, 再根据管与板(管)实际条件编制焊接工艺规程, 然后在管与板(管)试件上进行评定。检验要求则是管与板(管)试件全焊透, 而重新评定焊接工艺规程的判断准则是焊接工艺因素变更是否影响管与板(管)的焊透。

收稿日期: 2006-01-05