

焊接工艺评定试验国内外标准对比解析

刘 杨

(上海材料研究所 检测中心, 国家金属材料质量监督检验中心, 上海 200437)

摘要: 焊接工艺评定试验是为了验证所拟定的焊件焊接工艺的正确性而进行的试验过程及结果评价。目前国内外常用的焊接工艺评定标准和规范主要有 GB 50661—2011, NB/T 47014—2011, EN ISO 15614-1:2004+A2:2012, ASME IX—2013, AWS D1.1/D1.1M—2015 等。从焊接工艺评定程序、试样制备、试验过程、评定依据等方面对上述标准和规范进行了对比分析,重点探讨了对接接头焊接工艺评定中拉伸、弯曲、冲击的取样问题,并归纳了各标准和规范的异同点。结果表明:各标准和规范在检测内容、取样数量和位置、试样尺寸等方面都有各自的要求,在实际评定过程中要特别注意。

关键词: 焊接工艺评定; 对接接头; 拉伸; 冲击; 弯曲

中图分类号: TG406; T65 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-4012(2018)06-0421-06

Comparative Analysis of Standards for Welding Procedure Qualification Test at Home and Abroad

LIU Yang

(National Center for Quality Supervision Inspection of Metallic Materials, Testing Centre of Shanghai Research Institute of Materials, Shanghai 200437, China)

Abstract: The welding procedure qualification test is performed to verify the correctness of the proposed weldment welding process and to evaluate the test process and results. At present, the commonly used welding procedure qualification standards and specifications at home and abroad are mainly GB 50661—2011, NB/T 47014—2011, EN ISO 15614-1:2004+A2:2012, ASME IX—2013, AWS D1.1/D1.1M—2015 and so on. The above standards and specifications were compared and analyzed from the aspects of welding procedure qualification procedure, specimen preparation, test procedure and evaluation basis. The sampling problems of butt joints for tensile, bend and impact test during the qualification were mainly discussed, and the similarities and differences of various standards and specifications were summarized. The results show that each standard or specification has its own requirements in terms of test content, sampling quantity and location, specimen size, etc. Special attentions should be paid during the actual qualification.

Keywords: welding procedure qualification; butt joint; tensile; impact; bend

焊接工艺评定的主要目的在于证明某一个焊接工艺是否能够获得符合要求的焊接接头,以判断该工艺的正确性、可行性,而不是评定焊接操作人员的技艺水平。焊接工艺评定是保证焊接结构制造质量的重要前提^[1]。目前常用钢材焊接标准规范主要有国家标准、欧盟标准、美国协会标准等,具体根据适

用范围又可分为钢结构焊接规范和压力容器焊接规范。国家标准中钢结构焊接规范为 GB 50661(现行版本为 GB 50661—2011《钢结构焊接规范》),承压设备焊接工艺评定标准为 NB/T 47014(现行版本为 NB/T 47014—2011《承压设备焊接工艺评定》);美国协会标准包括美国焊接协会标准,即钢结构焊接规范 AWS D1.1/D1.1M(现行版本为 AWS D1.1/D1.1M—2015《钢结构焊接规范》),美国机械工程师协会标准,即锅炉压力容器规范 ASME IX(现行版

收稿日期:2018-03-07

作者简介:刘 杨(1978—),男,工程师,主要从事材料力学性能检测工作,yliu@sct.org.cn

本为 ASME IX-2013《焊接与钎焊工艺规范》); 欧盟标准只有一个 EN ISO 15614-1(现行版本为 EN ISO 15614-1:2004+A2:2012《金属材料焊接规程的规范和鉴定 焊接试验规程 钢的电弧焊和气焊及镍和镍合金的电弧焊》)。其中 NB/T 47014 参照采用 ASME IX 制定, GB 50661 参照采用 AWS D1.1/D1.1M 制定,并结合中国的国情进行了一些修改。笔者主要对上述标准规范中关于对接焊接接头(简称对接接头)力学性能试验方法的差异进行了对比,包括取样差异、力学性能测试内容差异以及评定依据的差异等,以供相关试验人员参考。

1 焊接工艺评定的程序

焊接工艺评定对焊接人员要求熟练即可。焊接工艺评定报告并不直接指导生产,只是焊接工艺规程的支持文件,没有一份或多份焊接工艺评定报告支持的焊接工艺规程是没有意义的。焊接工艺评定程序见图 1。焊接工艺评定试验通过对焊缝接头进行拉伸、弯曲、冲击等力学性能试验,来得知金属材料焊接性的好坏,金属焊接工艺过程简单而且接头质量高、性能好时就称作焊接性好,反之则称作焊接性差。

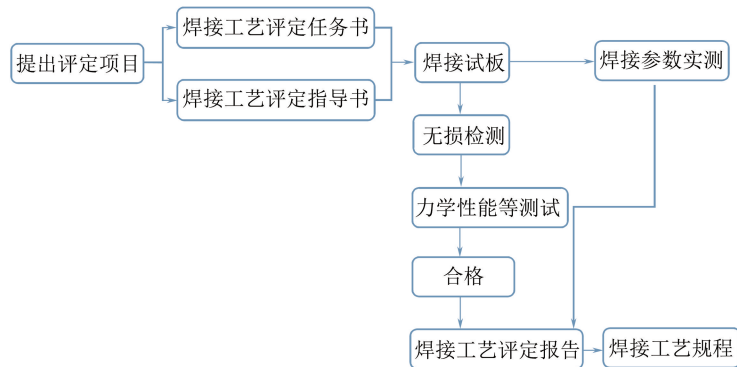


图 1 焊接工艺评定的程序

Fig.1 The qualification for welding procedures

表 1 列出了各标准对焊接工艺评定试验内容的要求。焊接工艺评定中拉伸试验和弯曲试验都是必须进行的项目,但是冲击试验并不是全部都要求进行,一般要求碳钢是必须进行的,不锈钢一般不要求进行冲击试验,除非设计有要求。各标准规定的不同点如下:首先是选用侧弯试样时所规定的最小板厚,其中比较特殊的是 NB/T 47014-2011,虽然给出厚

度 ≥ 20 mm时须进行侧弯试验,但是同时也给出说明厚度 ≥ 10 mm 时可以用侧弯代替面弯和背弯,尤其是当焊缝为不同焊接方法组合焊时更应该使用侧弯;其次是硬度试验,EN ISO 15614-1:2004+A2:2012 规定除了屈服强度小于 275 MPa 的碳钢、奥氏体不锈钢以及镍基合金外都要求进行硬度试验,其他标准都是规定根据工程实际情况确定是否需要硬度试验。

表 1 各标准对检验项目和试样数量的规定

Tab.1 The specifications of each standard for the test items and the number of specimens

标准	母材形式	试件形式	无损探伤	试件 厚度/mm	试样数量						
					拉伸	面弯	背弯	侧弯	焊缝冲击	热影响区冲击	硬度
GB 50661-2011	板、管	对接	要	<14	2	2	2	—	a	a	b
			要	≥ 14	2	—	—	4	a	a	b
NB/T 47014-2011	板、管	对接	要	<20	2	2	2	c	a	a	—
			要	≥ 20	2	—	—	4	a	a	—
AWS D1.1/D1.1M-2015	板、管	对接	要	≤ 10	2	2	2	c	a	a	—
			要	>10	2	—	—	4	a	a	—
ASME IX-2013	板、管	对接	要	≤ 10	2	2	2	c	a	a	—
			要	>10	2	—	—	4	a	a	—
EN ISO 15614-1: 2004+A2:2012	板、管	对接	要	<12	2	2	2	—	a	a	要
			要	≥ 12	2	—	—	4	a	a	要

注:a 表示是否进行冲击试验以及试验条件按设计选用钢材的要求确定;b 表示硬度试验根据工程实际情况确定是否需要; c 表示厚度 ≥ 10 mm 的板、管可以用侧弯代替面弯和背弯

2 试样制备

2.1 拉伸试样

各标准对拉伸试样形状及尺寸要求见图 2 和表 2。接头拉伸试样原则上都是全厚度试样,当试样厚度太厚,试验机能力无法满足时,可以分层取样,尽量用最少的试样覆盖全厚度。当管材试样外径很小时,也可以全厚度拉伸。拉伸试样要去掉焊缝处的余高,与母材齐平即可。除了 GB 50661-2011 和 EN ISO 15614-1:2004+A2:2012 外,其他几个标准的管材拉伸试样允许将平行段部分刨平。各标准规定差

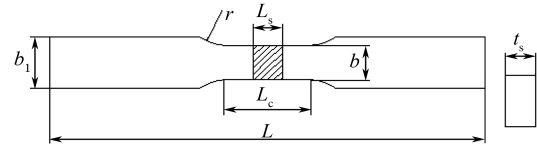


图 2 拉伸试样示意图

Fig.2 The schematic diagram of tensile specimen

异最大的是对试样平行段长度的要求,一种是长试样,另一种是短试样,短试样平行段基本就是焊缝和热影响区,着重考查的是焊缝区域的强度;另一方面,试样平行段长度越小,平行段宽度越小,应力集中影响区域就越大,这会导致测得的抗拉强度偏高^[2]。

表 2 各标准对拉伸试样尺寸的规定

Tab.2 The specifications of each standard for the sizes of tensile specimens

标准	总长度 L	夹持宽度 b_1	平行段部分宽度 b		平行段长度 L_c	过渡圆弧半径 r
			板	管		
GB 50661-2011	适用于所使用的试验机	$b+12$	$12(t_s \leq 2)$; $25(t_s > 2)$	$6(D \leq 50)$; $12(50 < D \leq 168)$; $25(D > 168)$	$\geq L_s + 60$	≥ 25
NB/T 47014-2011	适用于所使用的试验机	$b+12$	≥ 20	$12(D \leq 76)$; $20(D > 76)$	$L_s + 12$	25
AWS D1.1/D1.1M-2015	适用于所使用的试验机	$\geq b+12$	≥ 20	$12(D = 50, 75)$; $20(D = 150, \geq 200)$	$L_s + 12$	≥ 12
ASME IX-2013	适用于所使用的试验机	$b+12$	19	$13(D \leq 75)$; $19(D > 75)$	$\geq L_s + 12$	≥ 25
EN ISO 15614-1: 2004+A2:2012	适用于所使用的试验机	$b+12$	$12(t_s \leq 2)$; $25(t_s > 2)$	$6(D \leq 50)$; $12(50 < D \leq 168.3)$; $25(D > 168.3)$	$\geq L_s + 60$	≥ 25

注: t_s 为试样厚度; D 为管材外径; L_s 为焊缝最宽处的宽度

2.2 弯曲试样

各标准对弯曲试样形状及尺寸要求见图 3 和表 3。弯曲试样的区别主要在面弯和背弯上,侧弯的尺寸是相同的,美标的面弯和背弯试样宽度尺寸较大,国内标准虽然修改采用美准,但是为了与国内其他标准相适应进行了修改。弯曲试样的宽度越大对试验的要求也就越高。当试板厚度非常大时,可以分层取样,每个试样的宽度在 20~40 mm,以能够覆盖整个试板厚度为原则。另外弯曲试验中还有一种不常用弯曲方式为纵向弯曲,由于取样时平行于焊缝,占用试板的尺寸较大,当两种母材硬度差别较大时,推荐选用该种弯曲方式。

2.3 冲击试样

各标准对冲击试样取样位置及数量要求见图 4

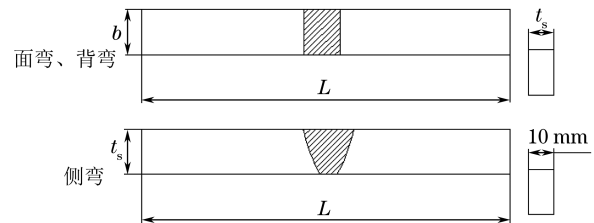


图 3 面弯、背弯及侧弯试样示意图

Fig.3 The schematic diagram of face-bend, root-bend and side-bend specimens

和表 4。所有标准中冲击试样标准尺寸都是 10 mm×10 mm×55 mm,开 V 型缺口,只是在尺寸的公差范围上略有变化。冲击试样优先选用标准尺寸试样,通常试样缺口选择垂直于焊缝表面,焊缝冲击试样缺口开在焊缝中心线上,热影响区缺口轴线至试样纵轴线与熔合线交点的距离大于零,并

表3 各标准对弯曲试样尺寸的规定

Tab.3 The specifications of each standard for the sizes of bend specimens

mm

标准	试样长度 L	试样宽度 b			试样厚度	
		面弯和背弯		侧弯	面弯和背弯	侧弯
		板	管			
GB 50661-2011	$\geq L_1 + 2R$	$\geq 1.5t_s$, 最小 20	$\geq T + 0.05D$, 最小 8, 最大 40 ($D > 50$); $\geq T + 0.1D$, 最小 8 ($D \leq 50$)	t_s ($t_s > 40$ 可以分层)	t_s	10
NB/T 47014-2011	$\geq L_1 + 2R$	38	38 ($D > 100$); $T + 0.05D$, 最小 8, 最大 40 ($50 \leq D \leq 100$); $T + 0.1D$, 最小 8 ($10 \leq D < 50$); 或当 $D \leq 25$ 时, 圆周四等分取样	t_s ($t_s \geq 38$ 可以分层)	t_s	10
AWS D1.1/D1.1M-2015	$\geq L_1 + 2R$	40	25 ($D \leq 100$); 40 ($D > 100$)	t_s ($t_s > 38$ 可以分层)	t_s	10
ASME IX-2013	$\geq L_1 + 2R$	38	40 ($D > 114.3$); 19 ($60.3 \leq D \leq 114.3$); 10 ($17.1 \leq D < 60.3$); 或当 $D \leq 33.4$ 时, 圆周四等分取样	t_s ($t_s \geq 38$ 可以分层)	t_s	10
EN ISO 15614-1; 2004+A2:2012	$\geq L_1 + 2R$	$\geq 1.5t_s$, 最小 20	$\geq T + 0.05D$, 最小 8, 最大 40 ($D > 50$); $\geq T + 0.1D$, 最小 8 ($D \leq 50$)	t_s ($t_s > 40$ 可以分层)	t_s	10

式中: t_s 为试样厚度; D 为管材外径; L_1 为辊筒间距离; R 为辊筒半径

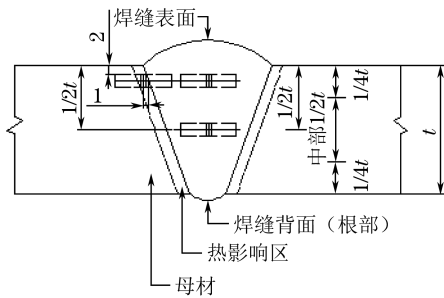


图4 冲击试样取样位置示意图

Fig.4 The schematic diagram of sampling locations of impact specimens

尽可能多地通过热影响区,通常为 0.5~2 mm,具体还要根据焊接热输入量的大小来确定,并且要尽量能够覆盖所有焊接方法焊接的部位。各标准主要的差异在冲击试样的取样位置及数量上,冲击试样的取样位置都分为焊缝区和热影响区,焊缝区比较明确,热影响区是指焊接时,由于热源的作用,材料组织和性能发生变化的区域。但随着板厚和焊接方法的不同,取样位置及数量也不同。AWS D1.1/D1.1M-2015 中增加了熔合线+5 mm 的热影响区

冲击, ASME IX-2013 关于冲击试验部分的取样要求是引用 ASME VIII《压力容器施工规程》,而其他标准中都各自有具体描述。

3 试验过程

试验过程基本参照相应体系的试验标准,因此各标准异同点就不作详细介绍,以下主要说明试验过程中需要注意的事项。

接头拉伸试验主要考核的是焊接接头的强度指标,注意拉伸速度按试验方法中测试抗拉强度的速度,一般推荐不超过 $25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

弯曲试验要注意尽量保证焊缝处受弯,尤其是焊缝两边母材强度差别较大的情况下更容易产生受弯不在焊缝处,此时可以选用纵向弯曲试样或者辊筒弯曲方式代替。冷弯试验的目的是测定焊接接头的塑性,同时可以反映出焊接接头各区域的塑性差别,考核熔合区的熔合质量和暴露焊接缺陷,其中面弯和背弯易于发现单面焊的表面和根部缺陷,侧弯检验焊层和母材之间的结合强度及多层焊时的尾间

表 4 各标准对冲击试样取样位置及数量的规定

Tab.4 The specifications of each standard for the number and sampling locations of impact specimens

标准	取样位置		说明
	焊缝冲击	热影响区冲击	
GB 50661-2011	单面焊位于焊缝正面,距表面 2 mm 内取 1 组; 双面焊位于后焊面,距表面 2 mm 内取 1 组	单面焊位于焊缝正面,距表面 2 mm 内取 1 组; 双面焊位于后焊面,距表面 2 mm 内取 1 组	不同材料焊接时其接头热影响区试样应取自对冲击性能要求较低的一侧
NB/T 47014-2011	距表面 2 mm 内取 1 组($t \leq 40$ mm); 试样中心距表面 $1/4t$ 处取 1 组($t > 40$ mm),如果是双面焊,则以背面为基准取样	距表面 2 mm 内取 1 组($t \leq 40$ mm); 试样中心距表面 $1/4t$ 处取 1 组($t > 40$ mm),如果是双面焊,则以背面为基准取样	材料标准有规定时,按材料标准要求;当材料标准没有规定时,按此方法取样
AWS D1.1/ D1.1M-2015	单面焊:在板材 $1/2t$ 处取 1 组($t \leq 12$ mm), 距背面最小 $1/4t$ 处取 1 组($t > 12$ mm); 双面焊:距背面最小 $1/4t$ 处取 1 组	单面焊:在板材 $1/2t$ 处取 2 组($t \leq 12$ mm), 距表面最小 $1/4t$ 处取 2 组($t > 12$ mm); 双面焊:距表面最小 $1/4t$ 处取 2 组	热影响区 2 组冲击试样分别为熔合线 +1 mm 和熔合线 +5 mm
ASME IX-2013	距表面 1.5 mm 内取 1 组($t \leq 38$ mm); 距表面 1.5 mm 内取 1 组,距背面 $1/4t$ 处取 1 组($t > 38$ mm)	单面焊: $1/4t \sim 1/2t$ 取 1 组($t < 38$ mm), $1/4t \sim 1/2t$ 取 2 组($t \geq 38$ mm); 双面焊: $1/2t$ 处取 1 组($t \leq 19$ mm), $1/4t \sim 1/2t$ 取 2 组($t > 19$ mm)	热影响区中的 2 组指正面、背面各 1 组
EN ISO 15614-1: 2004+A2:2012	距表面 2 mm 内取 1 组($t \leq 50$ mm); 距表面 2 mm 内 1 组, $1/2t$ 处取 1 组或者根部区域取 1 组($t > 50$ mm)	距表面 2 mm 内取 1 组($t \leq 50$ mm); 距表面 2 mm 内取 1 组, $1/2t$ 处取 1 组或者根部区域取 1 组($t > 50$ mm)	热影响区冲击缺口距熔合线 1~2 mm

注: t 为试样厚度

缺陷,所以试样受拉面要尽可能地包含焊缝及热影响区。在试验过程中压头直径的选择为主要影响因素,从理论上计算当弯心直径等于 4 倍试样厚度时,弯曲试样外表面的纤维伸长率为 20%,可以适用于大部分低碳钢、结构钢、合金钢和不锈钢,因此这一规定比较合理,各标准已趋于统一。

接头冲击试验与原材料冲击试验一样,没有区别,最关键的因素是冲击温度的选择,首先根据设计要求来确定,然后根据母材的材料标准来确定。

4 评定依据

各标准对拉伸、弯曲和冲击的评定要求见

表 5 各标准对评定依据的规定

Tab.5 The specifications of each standard for the evaluation basis

标准	拉伸	弯曲	冲击
GB 50661-2011	接头抗拉强度应不小于相应母材的抗拉强度;如果是异种材料焊接,则应不小于强度较低一侧母材的抗拉强度	各试样任何方向的裂纹及其他缺欠单个长度不大于 3 mm,各试样任何方向不大于 3 mm 的裂纹及其他缺欠的总长度不大于 7 mm;4 个试样各种缺欠的总长度应不大于 24 mm	焊缝中心及热影响区各 3 个试样冲击吸收能量的平均值应分别达到母材标准规定或设计要求的最低值,并允许一个低于以上规定值,但不得低于规定值的 70%

表 5。接头抗拉强度都基本要求不小于相应的母材强度,没有太大区别。弯曲试验对单个试样上裂纹及其他缺欠单个长度都要求不大于 3 mm,不同点是是否应当计算角裂纹及如何计算角裂纹,还有各个试样上裂纹及缺欠总长度要求的数值不同。冲击试验评定中 GB 50661-2011, NB/T 47014-2011, EN ISO 15614-1:2004+A2:2012 的要求相同,规定最小单个值不得低于规定值的 70%,而 AWS D1.1/D1.1M-2015 和 ASME IX-2013 中则给出最小单个值,这个值略高于规定值的 70%。

表 5(续)

标准	拉伸	弯曲	冲击
NB/T 47014—2011	接头抗拉强度应不小于相应母材的抗拉强度;如果是异种材料焊接,则应不小于强度较低一侧母材的抗拉强度;如果使用室温抗拉强度小于母材的焊缝金属,则每个试样的抗拉强度应不小于焊缝金属规定的抗拉强度的最低值;上述试样如果断裂发生在焊缝及熔合线以外的母材上,则抗拉强度不得小于本标准规定的母材抗拉强度最低值的 95%	在拉伸面上的焊缝和热影响区内,各试样任何方向的开口缺陷单个长度不大于 3 mm,由未熔合、夹渣或其他内部缺陷引起的棱角开口缺陷长度应计入	焊缝中心及热影响区各 3 个试样冲击吸收能量的平均值应分别达到母材标准规定或设计要求的最低值,并允许一个低于以上规定值,但不得低于规定值的 70%
AWS D1.1/ D1.1M—2015	接头抗拉强度应不小于相应母材的抗拉强度	各试样任何方向的裂纹及其他缺欠单个长度不大于 3 mm,各试样任何方向大于 1 mm、但不大于 3 mm 的裂纹及其他缺欠的总长度不大于 10 mm;允许最大的角裂纹长度为 6 mm,如果角裂纹长度大于 6 mm,则需复测一根替代,由夹渣或其他内部缺陷引起的角裂纹最大允许长度为 3 mm	焊缝中心及热影响区各 3 个试样冲击吸收能量的平均值应分别达到本标准规定的最低值,并允许一个低于以上规定值,但不得小于规定的最小单个值
ASME IX—2013	同 NB/T 47014—2011	同 NB/T 47014—2011	当有要求时,参考其他卷
EN ISO 15614-1: 2004+A2:2012	同 GB 50661—2011	各试样任何方向的裂纹及其他缺欠单个长度不大于 3 mm,试样的棱角开口缺陷不计	同 GB 50661—2011

5 结束语

焊接工艺评定目前尚没有一个统一的标准,各个标准在检测内容、取样数量和位置、试样尺寸等方面都有各自的要求。所以在实际评定过程中要特别注意,根据实际评定要求选择合适的评定标准。

参考文献:

- [1] 刘云龙. 焊工(技师、高级技师)[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [2] 王健美,陶凯. 板对接接头拉伸试样几何尺寸对其抗拉强度的影响[J]. 理化检验(物理分册),2016,52(9):640-641.

(上接第 420 页)

- [4] 吴伟. 钢丝绳整绳破断力新旧国家标准的对比分析[J]. 理化检验(物理分册),2016,52(9):610-613.
- [5] ISO 17558:2006 Steel wire ropes—Socketing procedures—Molten metal and resin socketing[S].
- [6] ISO 17893:2004 Steel wire ropes—Vocabulary, designation and classification[S].

- [7] ISO 7500-1:2015 Metallic materials—Calibration and verification of static uniaxial testing machines—Part 1: Tension/compression testing machines—Calibration and verification of the force-measuring system[S].
- [8] ISO 2408:2017 Steel wire ropes—Requirements[S].