

国际标准

ISO 25239-4

第一版

2011-12-15

搅拌摩擦焊—铝材—

第 4 部分：焊接工艺规程及评定



参考号

ISO 25239-4:2011 (E/F)

© ISO 2011



版权保护文件

© ISO 2011

保留所有权利。除另行规定的情形外，未经 ISO 或申请人所在国的 ISO 成员机构书面同意，不得以任何方式或手段，包括电子、机械、影印、缩微胶卷等，转载本标准的任何内容。

ISO 版权办公室

CH-1211 Geneva 20·56 号信箱

Tel. +41 22 749 01 11

Fax +41 22 749 09 47

E-mail copyright@iso.org

www.iso.org

瑞士出版发行

© ISO 2011—保留所有权利

目录

前言.....	4
引言.....	5
1. 适用范围.....	7
2. 参照标准.....	7
3. 术语和定义.....	8
4. 符号和缩写形式.....	8
5. 焊接工艺开发与评定.....	8
5.1 总则.....	8
5.2 pWPS 技术内容.....	9
6. 通过焊接工艺试验进行评定.....	11
6.1 总则.....	11
6.2 试样.....	11
6.3 试样的检测和试验.....	13
6.4 评定范围.....	19
6.5 焊接工艺评定记录.....	19
7. 通过生产前焊接试验进行评定.....	19
7.1 总则.....	19
7.2 试样.....	20
7.3 试样的检测和试验.....	20
7.4 评定范围.....	20
7.5 焊接工艺评定记录.....	20
附录 A.....	21
附录 B.....	22
附录 C.....	23
附录 D.....	25
参考文献.....	28

前言

ISO（国际标准化组织）为世界性国家标准组织（ISO 成员）联合体。该组织内各个标准的编订工作通常由 ISO 所属的各个技术委员会完成。任一成员若对任一技术委员会的标准编订工作感兴趣，即可委派代表参加该技术委员会。与 ISO 存在业务关系的其他国际组织、无论其为政府机构还是非政府机构，皆可参与标准编订工作。在电气技术标准化领域，ISO 与国际电工委员（IEC）一直有着紧密合作。

所有国际标准的草拟工作均按照 ISO/IEC 导则中第 2 部分的规定进行。

相关委员会先行编订标准草案，并将其提交给各个成员投票表决。若参与投票成员中，有 75%或更多赞成草案，则草案即可颁布成为正式国际标准。

ISO 25239-4 由国际焊接学会负责编订，该学会已被 ISO 理事会认定为焊接领域的国际标准化机构。

ISO 25239 的总标题是：搅拌摩擦焊—铝材，共包含以下部分：

- 第 1 部分：词汇
- 第 2 部分：焊缝接头的设计
- 第 3 部分：焊工资质评定
- 第 4 部分：焊接工艺规程及评定
- 第 5 部分：质检要求

若对本标准内容有任何疑问，请联系 ISO 中央秘书处，由其转达 IAW 秘书处，后者将提供官方解释。

引言

焊接工艺被广泛应用于制造工程结构。在二十世纪后半期，大型结构大多采用熔焊工艺，即通过熔化母材和填充金属来实现焊接。1991年，TWI的Wayne Thomas发明了搅拌摩擦焊（FSW），实现了完全固相焊接（无熔化）。

随着FSW的日益广泛应用，需要制定一项国际标准，确保焊接工艺能够得到最有效执行，焊接操作的各个方面能够得到适当控制。本国际标准聚焦于铝材的FSW，这是因为当前FSW的绝大多数商业应用都与铝材有关，例如轨道车辆、消费品、食品加工设备、航空航天器以及船舶等。

前言中列出了本国际标准的各个部分。

第1部分：解释FSW专用术语。

第2部分：规定铝材FSW接头的设计要求。

第3部分：规定铝材FSW焊工的资质要求。

第4部分：规定铝材FSW工艺规程及评定。焊接工艺规程（WPS）是规划焊接操作的基础和进行焊接质量控制的依据。在质量体系标准中，焊接属于特殊工艺。而质量体系标准通常要求特殊工艺必须按照书面工艺规程进行操作。任何冶金误差都会产生特定的问题。但按照目前的技术水平，尚无法对焊件的机械性能进行无损试验，所以就有必要确定一套焊接工艺评定规则，WPS只有在完成评定后才能投入使用。ISO 25239-4就规定了上述规则。

第5部分：规定如何确定制造商是否具备采用FSW工艺生产符合特定质量标准的铝材产品的能力。确定了具体的质量要求，但并未将质量要求分配到具体的产品类别。总之，焊接结构在生产和使用过程中都不得产生严重问题。为实现这一目的，必须从设计阶段就针对选材、制造和质检进行有效控制。例如，糟糕的设计可能会导致在生产车间、安装现场或应用时发生严重的问题，造成巨大损失。选材不当可能会产生焊接问题如裂缝等。为避免出现焊接缺陷，必须对焊接工艺进行正确设计和评定。为有效进行生产质量控制，管理者必须掌握潜在问题的起源，进而采取适当的质量控制和检验措施。此外，还要进行适当的监督，确保产品达到规定的质量标准。

国际标准化组织（ISO）在此提请用户注意：本标准在应用时可能需要用到与第5至第7条中说明的搅拌摩擦焊有关的专利。

ISO对此类专利权的证据、有效性和范围不持任何立场。

以下专利权所有人已向 ISO 保证：愿意在合理且非歧视性条件下与世界各地申请人进行授权谈判。为此目的，专利持有人已将相关声明提交给 ISO。更多信息请联系：

TWI Ltd

Granta Park, Great Abington

剑桥

CB21 6AL

英国

电话: +44 1223 891162 (国际); 01223 891162 (国内)

传真: +44 1223 892588 (国际); 01223 892588 (国内)

E-mail: twi@twi.co.uk

在此提请用户注意：本文件中某些部分可能会涉及到上文未曾提及的专利权问题，ISO 不负责辨别标准中的任何此类专利权。

搅拌摩擦焊—铝材—**第 4 部分：焊接工艺规程及评定****1. 适用范围**

本部分 ISO 25239 标准规定铝材搅拌摩擦焊（FSW）的焊接工艺规程及评定要求。在本文件中，“铝材”指铝和铝合金。

本部分 ISO 25239 标准不适用于搅拌摩擦点焊。

注释：使用要求、材料或制造条件等可能需要比本部分 ISO 25239 标准更为全面的测试。

2. 参照标准

本文件在应用时必须参照以下标准。对于注明日期的参照标准，仅该版本适用。对于未注明日期的参照标准，其最新版本（包括修正案）适用。

ISO 209, 铝和铝合金—化学成分

ISO 857-1, 焊接和相关工艺—术语—第 1 部分:金属焊接工艺

ISO 2107, 铝和铝合金—锻造制品—回火号

ISO 3134 (所有部分), 轻金属及其合金—术语和定义

ISO 4136, 金属材料焊接的破坏性试验—横向抗拉试验

ISO 5173, 金属材料焊接的破坏性试验—弯曲试验

ISO 6520-1, 焊接和相关工艺—金属材料中几何缺陷的分类—第 1 部分:熔焊

ISO 9017, 金属材料焊接的破坏性试验—断裂试验

ISO 10042, 焊接—铝和铝合金的弧焊接头—缺陷质量分级

ISO 13916, 焊接—预热温度、道间温度和预热维持温度测量导则

ISO 14175, 焊接消耗品—熔焊及相关工艺用气体和气体混合物

ISO 15607:2003, 金属材料焊接工艺规程及评定—一般原则

ISO 15613, 金属材料的焊接工艺规程及评定—基于预生产焊接试验的合格鉴定
ISO 15614-2, 金属材料焊接工艺规程及评定—焊接工艺试验—第 2 部分:铝和铝合金电弧焊
ISO 17637, 焊缝的无损试验—熔焊接头的外观检验
ISO 17639, 金属材料焊缝的破坏性试验—焊缝宏观和微观检验
ISO/TR 17671-1, 焊接—金属材料焊接建议—第 1 部分:电弧焊接导则
ISO 25239-1, 搅拌摩擦焊—铝材—第 1 部分:词汇
ISO 25239-5, 搅拌摩擦焊—铝材—第 5 部分:质检要求
ISO 80000-1:2009, 数量和单位—第 1 部分:总则

3. 术语和定义

ISO 209, ISO 857-1, ISO 3134, ISO 6520-1, ISO 10042, ISO 15607, ISO 15613, ISO 15614-2, ISO/TR 17671-1, 和 ISO 25239-1 中规定的术语和定义适用于本标准。

4. 符号和缩写形式

在进行焊接工艺评定时, ISO 15607:2003 表 1 中规定的缩写形式适用。

5. 焊接工艺开发与评定

5.1 总则

焊接工艺评定必须在生产焊接前进行。

制造商应制定一份预备焊接工艺规程 (pWPS), 并确保基于此前的生产经验和已知的焊接技术知识, 能够将其应用于生产实践。

在 pWPS 的基础上, 再制定一份焊接工艺评定记录 (WPQR)。采用第 6 条 (焊接工艺试验) 或第 7 条 (生产前焊接试验) 规定的任一种方法对 pWPS 进行测试。如果生产部件或接头几何外形能够通过一个或多个标准化试样 (参见 6.2) 精确表征, 则应采用第 6 条。如果生产部件或接头几何外形无法通过标准化试样 (参见 6.2) 精确表征, 则应采用第 7 条。pWPS 所需要的信息参见 5.2。

注释: 对于某些应用, 可能有必要增加或删除列表。

一个焊接工艺规程 (WPS) 涵盖多种母材厚度和铝合金。

要根据相关国际标准 (参见第 2 条) 以及制造商经验规定适当的范围和公差。

pWPS 示例参见附录 A。

5.2 pWPS 技术内容

5.2.1 总则

pWPS 至少必须包含以下信息。

5.2.2 制造商信息

- 制造商标识；
- pWPS 标识。

5.2.3 母材类型、韧度和参照标准

5.2.4 母材尺寸

- 组成焊接接头的构件厚度；
- 管道外径。

5.2.5 设备标识

- 型号；
- 序列号；
- 制造商。

5.2.6 装置标识

- 材料；
- 图纸或图纸编号。

5.2.7 紧固配置

- 夹紧方法和类型、紧固件、滚轴、垫板（尺寸和材料）；
- 预焊工艺和条件（若需要）—pWPS 必须说明是否需要预焊。

5.2.8 接头设计

- 焊接接头设计简图和尺寸；
- 焊道顺序和方向，若适用；
- 引焊板和退出板，材料类型，参照标准，引焊板和退出板尺寸；
- 匙孔布局。

5.2.9 接头准备和清洁方法

5.2.10 焊接细节

- 装置动作（如顺时针或逆时针旋转、转速、向上或向下移动等）；

- 装置位置（如踵部插入深度）或轴向力，若适用；
- 装置冷却（内部、外部、冷媒），若适用；
- 倾角；
- 侧倾角，侧向偏移；
- 焊缝起点处的停留时间；
- 焊缝终点处的停留时间；
- 接头构造；
- 管道内对接接头或搭接接头的焊缝重叠区（WOA）；
- 搭接接头：前进侧或后退侧靠近上板边缘，焊接方向；

5.2.11 焊接速度

- 焊接速度，包括焊接时的速度变化细节；
- 加速/减速或上坡/下坡速度，若适用；

5.2.12 焊接位置

- 适用的焊接位置

5.2.13 焊接前热处理

- 若需要进行焊接前热处理

5.2.14 预热温度

- 若需要进行预热；
- 参照 ISO 13916 应用 5.2.14、5.2.15 和 5.2.16；
- 若需要对搅拌摩擦焊装置进行预热。

5.2.15 预热保持温度

- 若需要保持预热

5.2.16 道间温度

- 若需要保持道间温度

5.2.17 保护气体

- ISO 14175 规定的名称，以及（若适用）成分、制造商、和气体流速

5.2.18 焊接后处理

- 固溶热处理、老化、消除应力（或纠正和拉直扭曲部件的方法）、清理焊趾飞边、或其它对焊件的焊接后处理操作；

- 焊接后热处理；
- 必须规定或参照相关标准说明焊接后热处理或老化的温度范围和最低时间。

6. 通过焊接工艺试验进行评定

6.1 总则

按照 6.2 和 6.3 款的规定对试样进行准备、焊接和测试。

满足 ISO 15239 标准本部分的要求还可以评定焊工的资质（参见 ISO 25239-3）。

6.2 试样

6.2.1 试样外形和尺寸

6.2.1.1 总则

试样的长度和数量要保证足以开展试验。

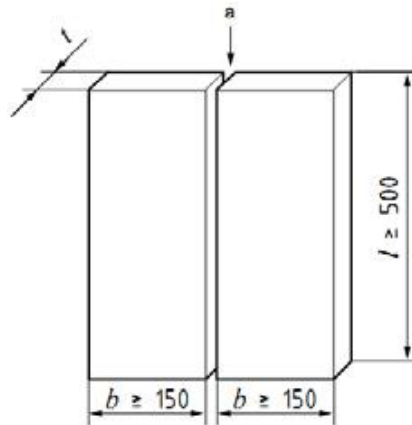
可以使用长度超过最小尺寸的试样，以便截取附加试件、重复测试试件或上述两种试件（参见 6.3.4）。

要在试样上标出滚动方向或挤压方向。

6.2.1.2 板内对接接头，完全扎入

按照图 1 所示准备试样。

单位：毫米



图例：

b 元件宽度

l 元件长度

t 材料厚度

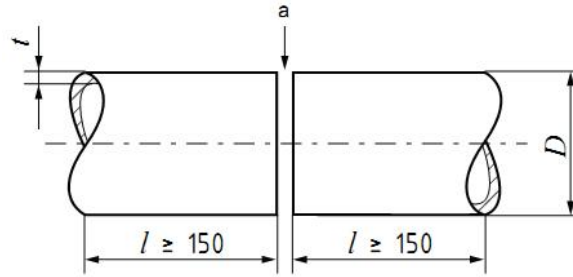
a 接头准备和配置，按照 pWPS 规定

图 1—板内对接接头试样，完全扎入

6.2.1.3 管道内对接接头，完全扎入

按照图 1 所示准备试样。

单位：毫米



图例：

D 管道外径

l 元件长度

t 材料厚度

a 接头准备和配置，按照 pWPS 规定

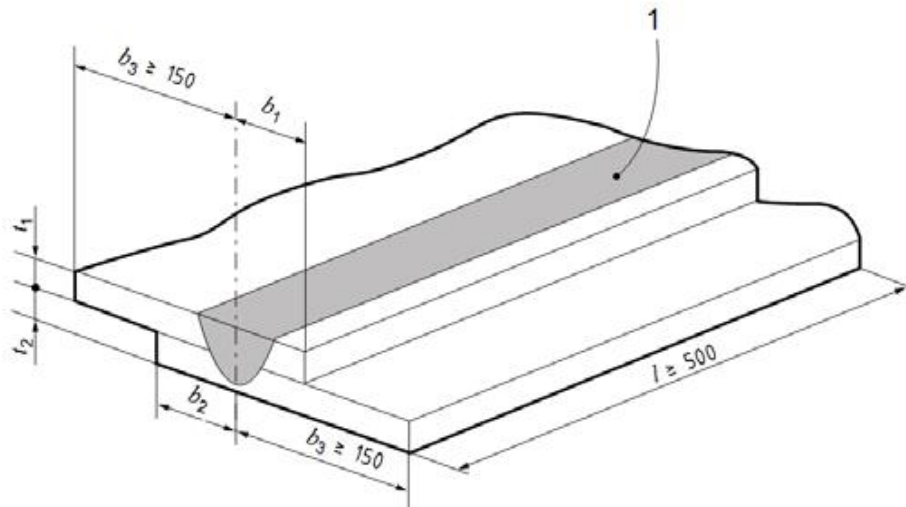
图 2—管道内对接接头试样，完全扎入

6.2.1.4 搭接接头

按照图 1 所示准备试样。

焊缝可以部分或完全扎入所有板材。

单位：毫米



图例：

1 焊缝

b1 上板边缘至焊缝中心线距离，按 pWPS 规定

b2 下板边缘至焊缝中心线距离，按 pWPS 规定

b3 焊缝中心至试样边缘距离

l 试样长度

t1 上板母材厚度

t2 下板母材厚度

图 3—搭接接头试样

6.2.2 焊接试样

应按照 pWPS 规定焊接试样。如果在对生产接头进行搅拌摩擦焊时需要消耗预焊缝，则试样应包括预焊缝。要在试样上明确标出预焊缝的位置。

试样必须在检验员当面监督下进行焊接。

6.3 试样的检测和试验

6.3.1 试验范围

试验包括无损试验（NDT）和破坏性试验。试验必须按照表 1 和表 2 的要求开展。附录 B 提供了有关 NDT 的更多信息。

试样必须在检验员当面监督下进行试验。

表 1—对接接头试样的检测和试验（图 1 和图 2）

检测和试验类型	检测和试验范围
目视检测 ^a	100%
横向拉伸试验 ^b	两个试件
锻造材料的横向弯曲试验（根据 ISO 5173） ^c	两个根部试件
铸造材料或锻/铸混合材料的断裂试验（根据 ISO 9017）	两个表面试件
粗视检测	一个试件
附加试验（如无损试验） ^d	如果要求

a 试验要避免废弃部位，如图 4 所示。
b 对于管道内的对接接头，如果可能，至少要从 WOA 上取下一个横向拉伸试件。
c 对于厚度超过 12mm 的材料，可以用四个横向侧弯试件替代两个根部和两个表面弯曲试件。也可以用一个纵向表面弯曲试件和一个纵向根部弯曲试件替代四个横向侧弯试件。
d 附加试验要根据设计规范的相关要求进行。

表 2—搭接接头试样的检测和试验（图 3）

检测和试验类型	检测和试验范围
目视检测 ^a	100%
粗视检测	两个试件
附加试验（如剥离试验、剪切试验、S 形锤弯试验、无损试验） ^b	若要求

a 试验要避免废弃部位，如图 6 所示。
b 附加试验要根据设计规范的相关要求进行。S 形锤弯试验信息参见附录 C。

对于包含预焊缝或开始/终止区域的管道内对接接头试样，要按照设计规范进行检测和试验。为获得更多的试验数据，特定的应用、材料或制造条件可能需要更加全面的试验。

6.3.2 目视检测和验收标准

试样在截取试件前应按照 ISO 17637 的要求进行目视检测。检测范围参见 6.3.1 的表 1 或表 2。

验收标准参见 ISO 25239-5:2011 附录 A。

6.3.3 破坏性试验

6.3.3.1 总则

试验范围参见表 1 和表 2。

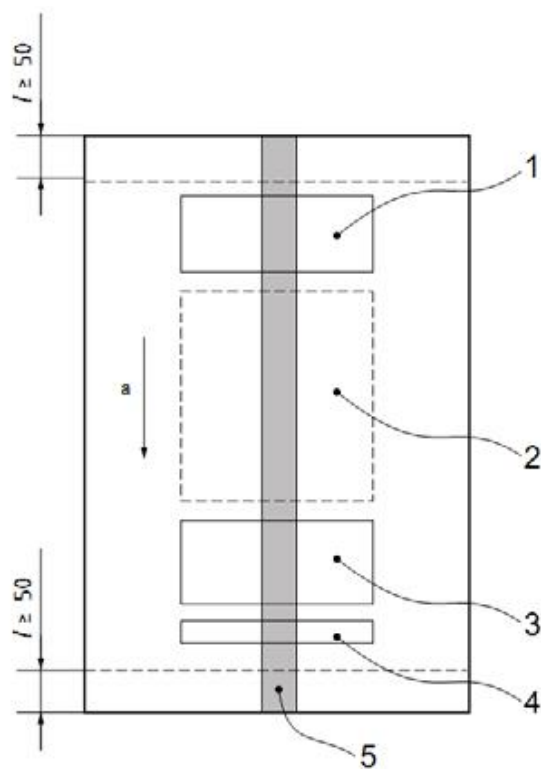
6.3.3.2 试件的位置和截取

试验通过目视检测后，截取试件。

试件的位置参见图 4、图 5 或图 6。

要在试样目视检测的验收限值以内截取试件，要避开缺陷部位。

单位：毫米



图例：

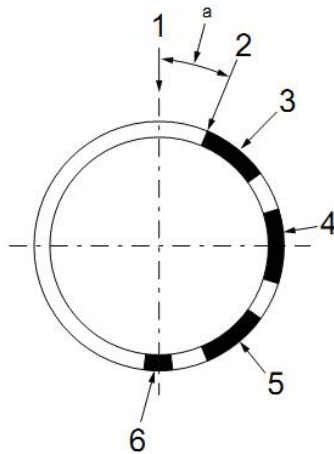
- 1 一个拉伸试件；弯曲试件或断裂试件的截取区；
- 2 附加试件的截取区，若要求；
- 3 一个拉伸试件；弯曲试件或断裂试件的截取区；
- 4 一个粗视检测试件的截取区；
- 5 焊缝

l 试验焊缝各端的废弃长度

注释：非比例图

a 焊接方向

图 4—板内对接接头的试件位置



图例：

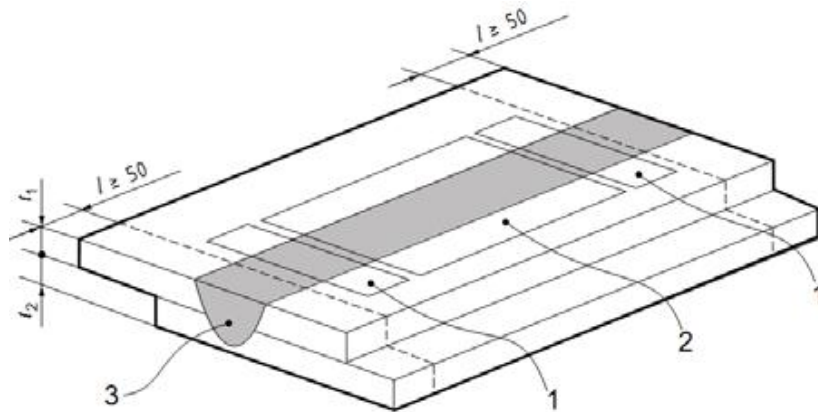
- 1 焊缝起点
- 2 焊缝终点
- 3 一个拉伸试件；弯曲试件或断裂试件的截取区；
- 4 附加试件的截取区，若要求；
- 5 一个拉伸试件；弯曲试件或断裂试件的截取区；
- 6 一个粗视检测试件的截取区；

注释：非比例图

- a 利用 WOA 获取一个拉伸试件，如果可能

图 5—管道内对接接头的试件位置

单位：毫米



图例：

- 1 两个粗视检测试件的截取区
- 2 剥离试验、剪切试验、S 形锤弯试验试件截取区（参见附录 C），若需要
- 3 焊缝
- 1 试验焊缝各端的废弃长度

注释：非比例图

图 6—搭接接头试件的位置

6.3.3.3 横向拉伸试验和验收标准

对接接头要根据 ISO 4136 进行横向拉伸试验，但试件表面必须处于焊接后状态。

试件的最大拉伸强度不得低于相关国际标准中对母材的最小规定值（参见表 3）。

对于热处理合金，焊接后条件下的焊接试件的规定拉伸强度 $\sigma_{\min,w}$ 应满足以下最低要求：

$$\sigma_{\min,w} = \sigma_{\min,pm} f_e \quad (1)$$

其中：

$\sigma_{\min,pm}$ 相关国际标准中规定的母材的最小拉伸强度；

f_e 接头效率因子（参见表 3）。

对于两种铝合金构成的混合材料，要取两种合金中较小的那个 $\sigma_{\min,w}$ 值。

为确定 f_e 值是否符合表 3 中的规定值，利用公式 (1) 计算出的 f_e 值要按照 ISO 80000-1:2009 附录 B 的规定进行四舍五入。

表 3—对接接头的拉伸强度效率

材料类型	母材在焊接前的回火状态 ^{a, b}	焊接后状态	接头效率因子 f_e
纯铝	所有回火状态	焊接后	1.0 ^d
非热处理合金	所有回火状态	焊接后	1.0 ^d
热处理合金	T4	自然老化 ^c	0.7
	T4	人工老化 ^c	0.7 ^e
	T5 和 T6	自然老化 ^c	0.6
	T5 和 T6	人工老化 ^c	0.7 ^e

a 参见 ISO 2107。
 b 如果母材未显示回火状态，则 $\sigma_{\min,w}$ 应符合设计规格。
 c 老化状态要符合设计规格。
 d 无论母材以何种回火状态进行试验， $\sigma_{\min,pm}$ 都基于 O 状态下的最小拉伸强度规定值确定。
 e 如果全部进行焊接后热处理，则可实现更高的性能； $\sigma_{\min,w}$ 应符合设计规格。

6.3.3.4 弯曲试验和验收标准

对于对接接头，要按照 ISO 5173 要求截取试件和进行弯曲试验。试件的前进侧和后退侧要在试验前标识出来。

对于所有母材，其最小弯曲角应为 150°（基于以下母材伸长率计算出压头直径）。

若伸长率>5%:

$$d = \frac{100 \times t_s}{\Delta l} - t_s \quad (2)$$

其中:

d 最大压头直径, 毫米;

t_s 弯曲试件厚度 (包括侧弯), 毫米;

Δl 材料规格所要求的最小拉长率, 以百分数表示 (对于不同合金组成的混合材料, 应取最小单项值)。

若伸长率≤5%, 试验前要进行退火。利用 O 回火状态下得出的伸长率计算压头直径。

如果退火造成晶粒长大, 进而导致弯曲试验失败, 则应按表 1 规定进行附加弯曲试验, 但新试验参数应符合设计规格。

d 值要四舍五入到最接近的整数。

可以取较小的压头直径值。

试验期间, 试件在任何方向上都不得出现长度>3mm 的单个裂纹。试验期间在试件边缘出现的裂纹在评定时可以忽略不计, 除非有证据显示裂纹是由于不完全扎入或孔洞造成。

6.3.3.5 粗视检测和验收标准

试件一侧要按照 ISO 17639 要求进行准备和检测, 以完全露出焊缝区。

粗视检测要涵盖未受影响的母材。蚀刻前进行粗视检测, 不得出现裂纹。

蚀刻某些合金时要特别小心, 避免蚀刻错误指示。

验收标准参见 ISO 25239-5:2011 附录 A。其他缺陷必须位于相关要求或设计规格的限值以内。

6.3.4 重复试验

如果试样未能满足 6.3.2 规定的任一目视检测要求, 要另外焊接一个试样, 并接受同样检测。

如果第二个试样仍然未能满足要求, 则焊接工艺试验失败。

如果试样未能满足 6.3.3 规定的破坏性试验要求, 且原因仅仅是焊缝缺陷, 则针对每个未满足的要求, 要另选两个试件接受试验。如果原试样足够大, 附加试件应从原试样上截取, 如果不够大, 可以从新试样上截取。每个附加试件都要接受与前一 (失败) 试件相同的测试。

如果两个附加试件中有一个未能满足要求, 则焊接工艺试验失败。

6.4 评定范围

6.4.1 总则

必须满足 6.4.2 至 6.4.5 规定的所有条件。

规定范围出现任何增加、删减、或变更都必须重新进行焊接工艺试验。

6.4.2 与制造商有关的事项

制造商开展的评定试验对于在由该制造商进行技术和质量控制的车间或工地上进行焊接作业有效。

只要开展焊接工艺试验的制造商对所有相关焊接作业全权负责,则可在相同的技术和质量控制条件下进行焊接作业。

6.4.3 预热温度

评定上限为焊接工艺试验开始时测定的预热温度。按照 WPS 的规定,下限为实测预热温度以下 30℃。

6.4.4 道间温度

评定上限为焊接工艺试验过程中达到的最高道间温度。按照 WPS 的规定,下限为道间温度以下 30℃。

6.4.5 其他变量

WPS 应规定其他变量的评定范围。

6.5 焊接工艺评定记录

WPQR 是各个试样,包括重复试验,的评估结果记录。该记录应包括 WPS 中列出的所有相关项目,以及按照 6.3 的要求可以判定试验失败的详细特征。如果试验结果可以接受,则 WPQR 认定合格,并由检验员或检验机构代表签字确认并标明日期。此外,pWPS 也认定合格。随后发布 WPS。

WPQR 要采用标准格式。WPQR 示例参见附录 D。

7. 通过生产前焊接试验进行评定

7.1 总则

应按照第 6 条的相关条款进行生产前焊接试验,但 7.2 至 7.5 规定的修正情形除外。

满足 ISO 25239 本部分要求也可用于评定焊工(参见 ISO 25239-3)。

7.2 试样

试样的准备和焊接要在通行的生产焊接条件下进行。试样设计要确保其外形和尺寸能够模拟构件的实际焊接条件，包括焊接位置和其他关键项目（如应力状态、加热效果、空间限制以及边缘状态等）。

如果采用实际元件，夹具和紧固件必须与生产过程中所用的一致。

7.3 试样的检测和试验

试样应按照第 6 条的相关规定进行试验。

至少应进行以下试验：

- 目视检测（100%）；
- 粗视检测（数量取决于构件的几何外形）。

7.4 评定范围

按照 ISO 25239 本部分规定发布的任一 WPS 仅适用于生产前焊接试验中所采用的接头类型。

评定范围一般要符合 6.4 的相关规定。

7.5 焊接工艺评定记录

WPQR 要采用标准格式。WPQR 示例参见附录 D。

附录 A
(资料性)
预备焊接工艺规范

制造商的 pWPS 编号: _____
 制造商的 WPQR 编号: _____
 搅拌摩擦焊焊工姓名: _____
 母材类型、韧度、和参照标准: _____
 母材厚度 (mm): _____
 管道外径 (mm): _____
 设备标识 (型号、序列号、和制造商): _____
 焊接装置标识 (简图)¹⁾: _____
 紧固配置 (简图)¹⁾: _____
 预焊: _____
 接头准备和清理方法: _____

接头设计

接头设计和接头构造 (简图) ¹⁾	焊接顺序
---------------------------------	------

焊接细节

焊道	装置动作, 转速 r/min	踵部插入深度 mm 或轴向力 kN	倾角 °	侧倾角 °	停留时间 s	焊接速度 mm/min 其他

焊接位置: _____
 焊接前热处理: _____
 预热温度 (°C): _____ 预热保持温度 (°C): _____
 道间温度 (°C): _____
 保护气体: _____ 名称: _____ 气体流速 (l/min): _____
 焊接后处理: _____
 焊接后热处理: _____
 时间、温度、方法: _____
 加热和冷却速度: _____
 其他信息¹⁾ _____

制造商

名称、日期和签名

1) 若要求

附录 B
(资料性)
无损试验

如果要求进行无损试验，应当在尚未截取试件的试样上进行。

根据接头几何外形、母材、和工作要求的不同，无损试验（如果要求）应按照 ISO 3452^[1]（穿透检验），ISO 17636^[2]（放射实验呢），和 ISO 17640^[3]（超声波检测）的规定进行。如果对焊缝完整性有更高的要求，则需要开发特殊的试验方法（如相控阵超声波试验或涡流试验）。

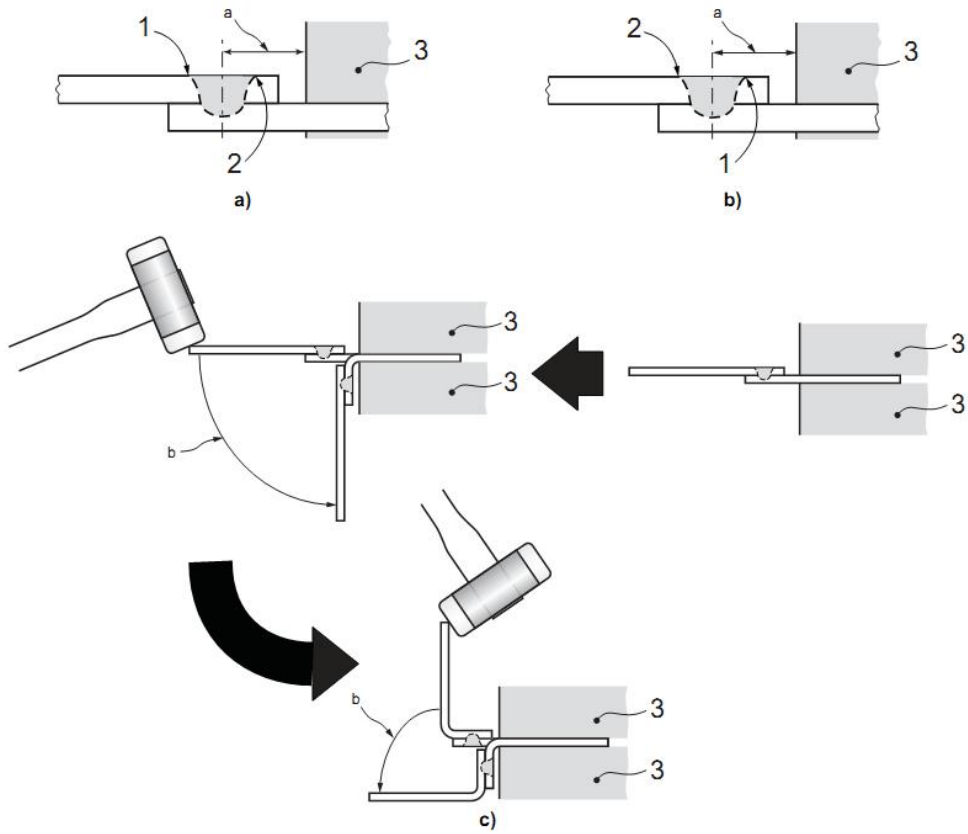
附录 C
(资料性)

搭接焊缝的 S 形锤弯试验

搭接焊缝的 S 形锤弯试验已被实践证明是一种确定焊缝是否存在缺陷（如板材变薄或弯钩等）的有效的定性方法。由于本身是一种定性方法，所以要调节焊缝中心至夹钳（或紧固夹）的距离，以补偿受试材料的延展性（或缺乏延展性）和厚度。对于延展性较强的材料，焊缝中心至夹钳的距离应小于延展性较差的材料。

建议在两个试件上进行 S 形锤弯试验。第一个试件的焊缝前进侧靠近锤子[参见图 C.1a]。第二个试件的焊缝后退侧靠近锤子[参见图 C.1b]。

本试验不得取代其他定量试验。



图例：

- 1 焊缝前进侧
- 2 焊缝后退侧
- 3 夹钳

注释：大箭头表示试验顺序。

- a 夹钳边缘至焊缝中心线距离
- b 锤子挥动方向

图 C.1—不受限 S 形锤弯试验

附录 D
(资料性)
焊接工艺评定记录表

焊接工艺评定—试验证书

制造商: _____ 地址: _____

制造商的 pWPS 编号: _____

制造商的 WPQR 编号: _____

检验员或检验机构: _____

参考号: _____

规程/试验标准: _____

焊接日期: _____

搅拌摩擦焊焊工姓名: _____

母材类型和参照标准: _____

母材厚度 (mm): _____

管道外径 (mm): _____

接头设计 (简图):

焊接后热处理: _____

其他信息: _____

以下签名证实试验焊缝已经按照上述试验规程/标准的要求进行了准备、焊接和测试, 并获得满意结果。

地点

发布日期

检验员或检验机构
名称、日期和签名

检验员或检验机构
打印姓名和日期

焊接试验记录

制造商: _____ 地址: _____
 制造商的 pWPS 编号: _____
 制造商的 WPQR 编号: _____
 检验员或检验机构: _____
 参考号: _____

搅拌摩擦焊焊工姓名: _____
 母材类型、韧度、和参照标准: _____
 母材厚度 (mm): _____ 管道外径 (mm): _____
 设备标识: _____
 焊接装置标识 (简图)²⁾: _____
 紧固配置 (简图)²⁾: _____
 预焊: _____
 接头准备和清理方法: _____

接头设计

接头设计和接头构造	焊接顺序
(简图) ²⁾	

焊接细节

焊道	装置动作, 转速 r/min	踵部插入深度 mm 或轴向力 kN	倾角 °	侧倾角 °	停留时间 s	焊接速度 mm/min 其他

焊接位置: _____
 焊接前热处理: _____
 预热温度 (°C): _____
 预热保持温度 (°C): _____
 道间温度 (°C): _____
 保护气体: _____ 名称: _____ 气体流速 (l/min): _____
 焊接后处理: _____
 焊接后热处理 (时间、温度、方法、加热和冷却速度): _____
 其他信息²⁾ _____

 制造商
 名称、日期和签名

 检验员或检验机构
 名称、日期和签名

 检验员或检验机构
 打印姓名和日期

2) 若要求

试验结果

制造商: _____ 地址: _____
制造商的 pWPS 编号: _____
制造商的 WPQR 编号: _____
实验室参考号: _____
检验员或检验机构: _____
参考号: _____

目视检测

可接受	不可接受	报告编号

粗视检测

可接受	不可接受	报告编号

破坏性试验

是否要求进行拉伸试验: 是 否

类型/编号	$\sigma_{\min,w}$ N/mm ²	$\sigma_{\min,pm}$ N/mm ²	f_e $\sigma_{\min,w}/\sigma_{\min,pm}$	断裂位置	备注
要求					
1		—			
2		—			

$\sigma_{\min,w}$: 试件的拉伸强度 $\sigma_{\min,pm}$: 母材的拉伸强度

是否要求进行弯曲试验: 是 否

类型/编号	弯曲侧	压头直径 d mm	试验结果

其他试验 3):

备注:

按照以下要求进行试验:

实验室报告参考号:

试验结果可接受/不可接受 (按实际情形删除)

试验见证人:

检验员或检验机构
名称、日期和签名

检验员或检验机构
打印姓名和日期

3) 若要求

参考文献

- [1] ISO 3452 (所有部分), 无损试验—穿透检验
- [2] ISO 17636, 焊缝无损试验—熔焊接头的放射试验
- [3] ISO 17640, 焊缝无损试验—超声波试验—试验技术、试验标准和评估

ICS 25.160.10

按 22 页定价

© ISO 2011—保留所有权利