

ICS 27.120.20

F 69

备案号: 59637—2017

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 20450.3—2017

压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范 第3部分：焊接工艺评定

Alternative welding code for mechanical components of PWR nuclear islands
Part 3: Welding procedure qualification

2017-04-01 发布

2017-10-01 实施

国家能源局

发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
4.1 概述	2
4.2 通用要求	3
4.3 制造商的责任	5
4.4 评定试验	5
5 对接焊缝和角焊缝	5
5.1 试件	5
5.2 试验和检验	6
5.3 无损检测结果评定	10
5.4 破坏性试验结果评定	10
5.5 复试	12
5.6 评定的有效范围	12
6 特殊焊缝	24
6.1 带隔离层的焊缝	25
6.2 特殊设计的密封焊缝	25
6.3 复合钢板和预先堆焊钢板的对接接头	26
6.4 补焊和同质堆焊	27
6.5 非承载的角焊缝	27
7 耐磨堆焊和耐蚀堆焊	29
7.1 评定试件制备	29
7.2 评定试件的检验	29
7.3 评定的有效范围	34
8 换热管与管板焊缝	41
8.1 评定试件的制备	41
8.2 评定试件的检验	41
8.3 评定的有效范围	42
9 回火焊道	43
9.1 已有的评定和回火焊道升级评定	43
9.2 对焊接方法的限制	43
9.3 回火焊道工艺评定的变素	43

9.4 试件的制备和试验 44

附录 A（规范性附录） 破坏性试验 46

附录 B（规范性附录） 焊接变素 58

附录 C（资料性附录） 焊接位置 75

附录 D（资料性附录） 焊接用表 80

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

NB/T 20450《压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范》分为5个部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：焊接材料；
- 第3部分：焊接工艺评定；
- 第4部分：产品焊接和热处理；
- 第5部分：焊接检验。

本部分为NB/T 20450的第3部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分主要基于ASME《锅炉压力容器规范》第III卷第一册和第IX卷（2010版），并结合国内核电建造经验和行业反馈意见制订。

本部分由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本部分由核工业标准化研究所归口。

本部分起草单位：中国核电工程有限公司、上海核工程研究设计院、中广核工程有限公司、中国第一重型机械集团公司、上海电气核电设备有限公司、中国核动力研究设计院、苏州热工研究院有限公司。

本部分主要起草人：董安、于坚、郭利峰、黄腾飞、刘振忠、黄敏、朱平、张俊宝。

压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范 第3部分：焊接工艺评定

1 范围

本部分规定了压水堆核电厂核岛机械设备的对接焊缝和角焊缝焊接工艺评定、特殊焊缝工艺评定、耐磨堆焊和耐蚀堆焊工艺评定、换热管与管板焊接工艺评定、回火焊道焊接工艺评定的规则、试验方法和合格标准。

本部分适用于焊条电弧焊(111)、埋弧焊(12)、钨极惰性气体保护电弧焊(141)、熔化极惰性或非惰性气体保护电弧焊(131, 135)、惰性或非惰性气体保护的药芯焊丝电弧焊(137, 136)、等离子弧焊(15)、电子束焊(51)、激光焊(52)以及电渣焊(72)堆焊等焊接方法。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法

GB/T 3375 焊接术语

GB/T 5185 焊接及相关工艺方法代号

GB/T 19866 焊接工艺规程及评定的一般原则

NB/T 20003 核电厂核岛机械设备无损检测

NB/T 20004—2014 核电厂核岛机械设备材料理化检验方法

NB/T 20009 压水堆核电厂用焊接材料

NB/T 20328—2015 核电厂核岛机械设备无损检测 另一规范

NB/T 20450.1—2017 压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范 第1部分：通用要求

NB/T 20450.2—2017 压水堆核电厂

NB/T 20450.4—2017 压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范 第4部分：产品焊接和热处理

3 术语和定义

GB/T 3375、GB/T 5185、GB/T 19866、本标准第1部分界定的以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1

焊接工艺评定指导书 **welding procedure qualification instruction**

用于指导焊接工艺评定实施的技术文件,包括试件和试样的制备、焊接工艺,试验和检验项目和评定标准。

3.2

重要变素 **essential variable**

影响焊接接头力学性能和弯曲性能的(冲击韧性除外)的焊接工艺评定因素。

3.3

附加重要变素 **supplementary essential variable**

影响焊接接头冲击韧性的焊接工艺评定因素。

3.4

非重要变素 nonessential variable

对要求测定的力学性能和弯曲性能无明显影响的焊接工艺评定因素。

3.5

半自动焊 semiautomatic welding

使用能够自动控制一个或多个焊接操作的装置的手工焊。

3.6

上转变温度 upper transformation temperature

在加热期间铁素体向奥氏体转变完成的温度。

3.7

下转变温度 lower transformation temperature

在加热期间开始形成奥氏体的温度。

3.8

金属最低使用温度 lowest service metal temperature

核电厂在运行时金属可能经历的最低温度。该温度应根据周围环境条件、保温层情况和运行期间容器内部的最低温度，通过恰当的计算确定。

3.9

预热保持 preheating maintenance

在焊接完成后，在一定的时间内或直到焊后热处理开始之前保持规定的最低预热温度或规定的更高温度的操作。

3.10

中性焊剂 neutral flux

不由焊接参数（特别是电弧电压）影响熔敷金属化学成分的埋弧焊焊剂。

3.11

活性焊剂 active flux

由焊接参数（特别是电弧电压）决定熔敷金属化学成分的埋弧焊焊剂。

3.12

同质堆焊 homogeneous buildup

为增大或恢复焊件尺寸而采用与母材同样类型的焊接材料进行的堆焊。

4 总则

4.1 概述

制造商应按本部分的要求进行焊接工艺评定，形成工艺评定报告，在此基础上制订焊接工艺规程，并依据焊接工艺规程进行产品焊接。制造商进行焊接工艺评定前，需要编制焊接工艺评定指导书，依据指导书开展焊接工艺评定工作。

焊接工艺规程中应至少包括本部分要求的相关重要变素和非重要变素，如果对冲击韧性有要求时，还应包括附加重要变素。同时，本部分并未包括所有应用场合中影响产品接头质量的全部因素，当制造商确定在特定应用场合下其他因素对于接头质量有影响时，应在焊接工艺规程中做出规定。焊接工艺评定考核接头性能是否满足要求，而不是考核焊工或焊接操作工的技能。

对于焊接工艺规程和工艺评定报告的详细要求见4.2。

第4章适用于本部分所涉及的所有焊缝类型和焊接方法。

第5章适用于对接焊缝与角焊缝的工艺评定。

第6章适用于特殊焊缝（包括带隔离层的焊缝、特殊设计的密封焊缝、焊接返修、复合钢板和预先堆焊钢板的对接接头、补焊和同质堆焊、非承载的角焊缝）。

第7章适用于耐磨堆焊和耐蚀堆焊。

第8章适用于换热管与管板的焊接。

第9章适用于回火焊道。

焊接方法代号定义见GB/T 5185的相关规定。

4.2 通用要求

4.2.1 焊接工艺规程 (WPS)

4.2.1.1 焊接工艺规程是为制造符合规范要求的产品焊缝而提供指导的、经过评定的焊接工艺文件。

4.2.1.2 完整的焊接工艺规程应规定其采用的每一种焊接方法的所有重要变素、非重要变素，当有冲击性能要求时，还应包括附加重要变素。对于特定焊接方法、接头型式的变素见第5章～第9章的相应要求。

焊接工艺规程应注明支持其的工艺评定报告（见4.2.2）。制造商可在焊接工艺规程中增加其他有助于获得符合规范要求接头的规定或指导。

4.2.1.3 根据产品焊接需要，可变更焊接工艺规程中的非重要变素，而无需重新评定。条件是变更后仍规定了其采用的每一种焊接方法的所有重要变素、非重要变素，以及当有冲击性能要求时的附加重要变素。变更的方式可是修订原有焊接工艺规程，或编制新的焊接工艺规程。

焊接工艺规程中重要变素或附加重要变素（当有冲击性能要求时）的变更需要对焊接工艺规程重新评定（使用新的工艺评定报告或附加工艺评定报告以支持重要变素或附加重要变素的变更）。

4.2.1.4 只要焊接工艺规程的内容符合4.2.1.2的要求，制造商可根据需要使用任何格式。

资料性附录D给出了推荐的焊接工艺规程格式。该格式适用于焊条电弧焊(111)、埋弧焊(12)、熔化极惰性或非惰性气体保护电弧焊(131, 135)、惰性或非惰性气体保护的药芯焊丝电弧焊(137, 136)和钨极惰性气体保护电弧焊(141)。该表格没有列出其他焊接方法所需要的全部变素，也不适合于超过一种焊接方法联合使用的焊接工艺规程，例如根部焊道使用141，填充焊道使用111。

4.2.1.5 产品焊接的现场应具有焊接工艺规程，以便于查阅使用以及监查人员检查。

4.2.2 工艺评定报告 (PQR)

4.2.2.1 工艺评定报告应包括工艺评定试件焊接时使用的焊接变素的实际记录，以及要求的各项检验和试验的结果。

4.2.2.2 完整的工艺评定报告应记录工艺评定试件焊接时采用的每一种焊接方法的所有重要变素，当有冲击性能要求时，还应包括附加重要变素，此外，还应记录要求的各项检验和试验的类型、数量和结果。对于特定焊接方法、接头型式的变素见第5章～第9章的相应要求。制造商可根据需要决定是否记录非重要变素和其他变素。

所有记录的变素都应适用于试件焊接的实际变素值（包括范围）。如果焊接时未进行实际测量或记录，则不应记录在工艺评定报告中。工艺评定焊接变素通常只是产品焊接中使用的该变素实际范围的一部分，而不是其全部。除非重要变素或附加重要变素（当有冲击性能要求时）有要求，否则焊接工艺评定中不必使用产品焊接中使用的该变素的整个范围，或其上、下限值。

制造商应对工艺评定报告进行确认（由技术负责人签发）。这项工作不应转包给第三方，确认的目的是令制造商验证工艺评定报告是对试件焊接时所使用的变素的真实记录，以及各项检验和试验结果符合本部分的规定。

焊接工艺评定试件时，可使用焊接方法、填充金属和其他变素的一个或多个组合。对于重要变素以及附加重要变素（当有冲击性能要求时）的每一个组合，应记录熔敷的焊缝金属厚度的大致数值。使用焊接变素的每个组合熔敷的焊缝金属应包含在要求的拉伸、弯曲、冲击性能和其他力学性能试样中。

4.2.2.3 工艺评定报告是对工艺评定的实际记录，因此，除了文字性修改或标准升版造成的修订外，不应再对工艺评定报告进行变更。

对于工艺评定报告的任何变更，制造商都应对工艺评定报告重新进行确认，包括日期。

4.2.2.4 只要工艺评定报告的内容符合 4.2.2.2 的要求，制造商可根据需要使用任何格式。

附录D给出了推荐的工艺评定报告格式。应注意该格式不适用于超过一种焊接方法或填充金属F-No.的焊接工艺评定，为此可增加或引用简图或信息。

4.2.2.5 在监查人员要求时，应提供用于支持焊接工艺规程的工艺评定报告。

4.2.2.6 依据一个工艺评定报告，可编制多个焊接工艺规程，例如，其他重要变素和附加重要变素（当要求冲击性能时）没有变化时，一个 IG 位置的板试件的工艺评定报告可支持板或管在 F、V、H 和 O 位置的焊接工艺规程（焊接位置代号见附录 C）。依据多个工艺评定报告，可以令一个焊接工艺规程使用重要变量的多个范围，条件是重要变素和附加重要变素（当要求冲击性能时）都有工艺评定报告支持。例如，依据试件母材厚度为 2.5 mm（覆盖母材厚度范围为 1.5 mm～5 mm）、16 mm（覆盖母材厚度范围为 5 mm～32 mm）的两个工艺评定报告，可编制母材厚度范围为 1.5 mm～32 mm 的焊接工艺规程。

4.2.3 母材分组

为减少焊接工艺评定的数量，附录B中根据母材的化学成分、焊接性和力学性能给出了其类别号 P-No.。为在有冲击性能要求的工艺评定中，进一步细分同一 P-No. 里的母材，对于钢及其合金，除 P-No. 外还给出了母材的组别号 Group No.。

母材分组不表明一种母材可不加区别地被同一分组内的其他母材代替，而不考虑冶金性能、焊后热处理、设计、力学性能和使用要求等是否匹配。当要求冲击性能时，本部分有关母材牌号覆盖范围规定的前提是母材满足有关冲击性能的要求。

4.2.4 焊接工艺的组合

具有不同重要变素、附加重要变素或非重要变素的多个焊接工艺规程可用于焊接一个产品接头。每个焊接工艺规程可包括焊接方法、填充金属或其他变素的一个或多个组合。

当具有不同焊接方法、填充金属或其它变素的多个焊接工艺规程用于焊接一个接头时，对于每一焊接方法、填充金属或其它变素，都应根据 5.6.2 确定评定覆盖的母材厚度范围和焊缝金属最大厚度，并遵守这些限值。对于根部焊道，也可按照 5.6.2.2 的规定评定焊接工艺规程。

对于具有不同焊接方法、填充金属或其他变素组的一个焊接工艺规程，在满足以下条件时，可以单独或以不同的联合方式使用每个焊接方法、填充金属或其他变素组：

- a) 遵守该焊接方法、填充金属或其他变素组相应的重要变素、非重要变素和要求的附加重要变素；
- b) 对于每一焊接方法、填充金属或其他变素组，母材和焊缝金属厚度限值满足 5.6.2 的规定。

4.2.5 其他

承压零件与永久性或临时性附件的焊接，包括采用的永久性或临时性定位焊缝，其焊接工艺规程应满足本部分的评定要求。

对于对接焊缝试板,应考虑焊件上角度、横向和端部拘束的影响,特别是对于拉伸强度大于或等于550 MPa的母材和焊缝金属,以及厚壁工件。增加拘束度可能导致产生焊接裂纹。

4.3 制造商的责任

每个制造商对于其焊接的产品焊缝,应编写焊接工艺规程,规定相应的焊接工艺参数。

每个制造商应通过焊接工艺评定试件,以及相应的检验、试验来评定焊接工艺规程,焊接数据和检验、试验结果记录在工艺评定报告中。评定试件的焊接应在制造商的全面监督和管理下进行。承担试件焊接的焊工或焊接操作工应是该制造商的雇员,或者通过合同提供焊工或焊接操作工服务的个人,且处于制造商的全面监督和管理下。制造商不应将试件焊接的监督和管理工作分包给其他单位。不过,在制造商承担分包工作责任的前提下,可对外分包下列工作:试件材料准备、从完工试件上取样加工、无损检测、力学性能试验。

一般情况下,焊接工艺评定不应在不同制造商之间转移。

4.4 评定试验

4.4.1 一般要求

试件准备、实施和试验应考虑产品焊缝准备、实施和检验的条件。

4.4.2 试件的数量和类型

焊接工艺评定试件的数量和类型以及需要进行的试验,取决于所使用的焊接操作和影响评定有效范围的变素。

4.4.3 尺寸

评定试件的尺寸应根据下列因素确定:

- 焊接方法;
- 试验试样和复试试样的取样要求;
- 要进行的无损检测;

在任何情况下,被焊接的每个工件的宽度或每段管的长度不应小于150 mm。

4.4.4 焊接位置

焊接位置见附录C。其中图C.1和图C.2适用于产品焊缝的焊接位置,图C.3~图C.6适用于工艺评定试件的焊接位置。

5 对接焊缝和角焊缝

5.1 试件

5.1.1 母材

母材可以是板子、管子或其它制品形式。板子的焊接工艺评定也适用于管子的焊接工艺评定,反之亦然。试件的尺寸应足以切取所需的试样。

5.1.2 坡口的型式和尺寸

除5.6中另有规定外,坡口型式和尺寸不是重要变素。

5.1.3 焊后热处理

铁素体材料的焊后热处理应符合NB/T 20450.4—2017的规定，工艺评定试件的焊后热处理保温时间应至少等于产品焊缝最大累计保温时间的80%，并且可在一个热循环内完成。

5.2 试验和检验

5.2.1 无损检测

一般情况下，评定试件应经过产品接头规定的无损检测。

无损检测方法应按NB/T 20328的规定进行。

应在切割取样之前完成上述无损检测，并在实施无损检测之前，完成规定的焊后热处理。

当未规定进行后热或焊后热处理时，对于氢致裂纹敏感的材料，至少应在焊接完成后24 h再做无损检测。

5.2.2 破坏性试验

5.2.2.1 试验项目

对接焊缝试件应进行拉伸试验、弯曲试验、冲击试验（适用时）。

对于角焊缝试件，只需进行宏观金相检验，不提供力学性能数据。当需要考核力学性能时，应采用对接焊缝进行评定。

5.2.2.2 力学性能试验

试样类型和试验数量应按照表1的要求进行。

表1 力学性能试验类型和数量（拉伸试验、弯曲试验）

焊接试件 厚度 T mm	拉伸试验	弯曲试验		
	拉伸 个	侧弯 个	面弯 个	背弯 个
$T < 1.5$	2	—	2	2
$1.5 \leq T < 19$	2	—	2	2
$T \geq 19$	2	4	—	—
注1：当试件两侧母材之间、或焊缝金属和母材之间弯曲性能显著不同时，可用纵向弯曲试验代替横向弯曲试验，纵向弯曲试验时，取背弯、面弯试样各2个。				
注2：当试件厚度大于25 mm，需采用多个试样时，详见附录A.2.1。				
注3：当试件厚度大于或等于10 mm时，对所需的面弯和背弯试验可用4个侧弯试验代替之。				
注4：当试件厚度大于150 mm时，试件的全厚度均应进行焊接。				

5.2.2.3 试验及试验程序

拉伸试验的试样应符合附录A.2.2所示类型之一，试验程序应满足NB/T 20004—2014第4章的要求。

弯曲试样与试验程序应符合附录A.3的要求。

5.2.2.4 冲击试验

在满足附录A.4.2的条件下，需对工艺评定试件的焊缝金属和热影响区进行相应的冲击试验（夏比V型缺口冲击试验、落锤试验），夏比V型缺口冲击试验程序和设备应符合NB/T 20004—2014第5章的要求，落锤试验试验程序和设备应满足NB/T 20004—2014第6章的要求。

- a) 试件和试样的制备, 冲击试验要求均应符合附录 A.4 要求;
b) 对于工艺评定试件的焊缝金属, 冲击试验项目与母材相同, 见表 2;
c) 对于工艺评定试件的热影响区(HAZ)冲击试验项目应符合表 2。

表2 工艺评定试件冲击试验要求

分级	产品制品型式	产品材料厚度 mm ^a	评定试件焊缝金属冲击试验要求	评定试件热影响区冲击试验要求 ^b
1 级	容器材料	≥16	——落锤试验(一组 2 个), 温度不高于 $RT_{NDT}+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ——KV 冲击(一组 3 个), 温度不高于 $RT_{NDT}+33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ——KV 转变曲线 ^c (考核上平台冲击功) ——实测 RT_{NDT} ^c	RT_{NDT} 型, 见附录 A.4.2.2
	管道、泵、阀门	≤64	KV冲击(一组3个), 温度不高于设备技术规格书规定的最低使用温度	KV-L型, 见附录 A.4.2.2
		>64	——落锤试验(一组 2 个), 温度不高于设备技术规格书规定的 $RT_{NDT}+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ——KV 冲击(一组 3 个), 温度不高于设备技术规格书规定的 $RT_{NDT}+33\text{ }^{\circ}\text{C}$	RT_{NDT} 型, 见附录 A.4.2.2
2 级和 MC 级	承压材料(除螺栓)	≤64	KV 冲击(一组 3 个), 温度不高于设备技术规格书规定的最低使用温度	KV-E 型, 见附录 A.4.2.2
	承压材料(除螺栓)	>64	落锤试验(一组 2 个), 温度不高于设备技术规格书规定的最低使用温度- $A+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, A 由图 A.8 查。	KV-E 型, 见附录 A.4.2.2
3 级	承压材料(除螺栓)	≥16	KV 冲击(一组 3 个), 温度不高于设备技术规格书规定的最低使用温度	KV-E 型, 见附录 A.4.2.2
支承件	材料(除螺栓)	≥16	KV 冲击(一组 3 个), 温度不高于设备技术规格书规定的最低使用温度	KV-E 型, 见附录 A.4.2.2
堆芯支承件	堆芯支撑结构	≤50	KV 冲击(一组 3 个), 温度不高于设备技术规格书规定的最低使用温度	KV-L 型, 见附录 A.4.2.2
		>50	——落锤试验(一组 2 个), 温度不高于设备技术规格书规定的 $RT_{NDT}+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ——KV 冲击(一组 3 个), 温度不高于设备技术规格书规定的 $RT_{NDT}+33\text{ }^{\circ}\text{C}$	RT_{NDT} 型, 见附录 A.4.2.2

RT_{NDT} : 参考无延性转变温度。

KV: 夏比V型缺口冲击试验, -L测定侧膨胀值, -E测定冲击能量, -EL同时测定, E/L可选。

^a 对于泵、阀门和管件, 材料厚度取与之相连的管道的名义壁厚。

^b 各型冲击试验详见附录 A.4。

^c 对于反应堆压力容器堆芯区。

5.2.3 试样的位置及截取

无损检测完成之后, 允许避开缺陷部位, 从合格的部位截取力学性能试样。
试样截取应符合对应的图1~图3的要求。

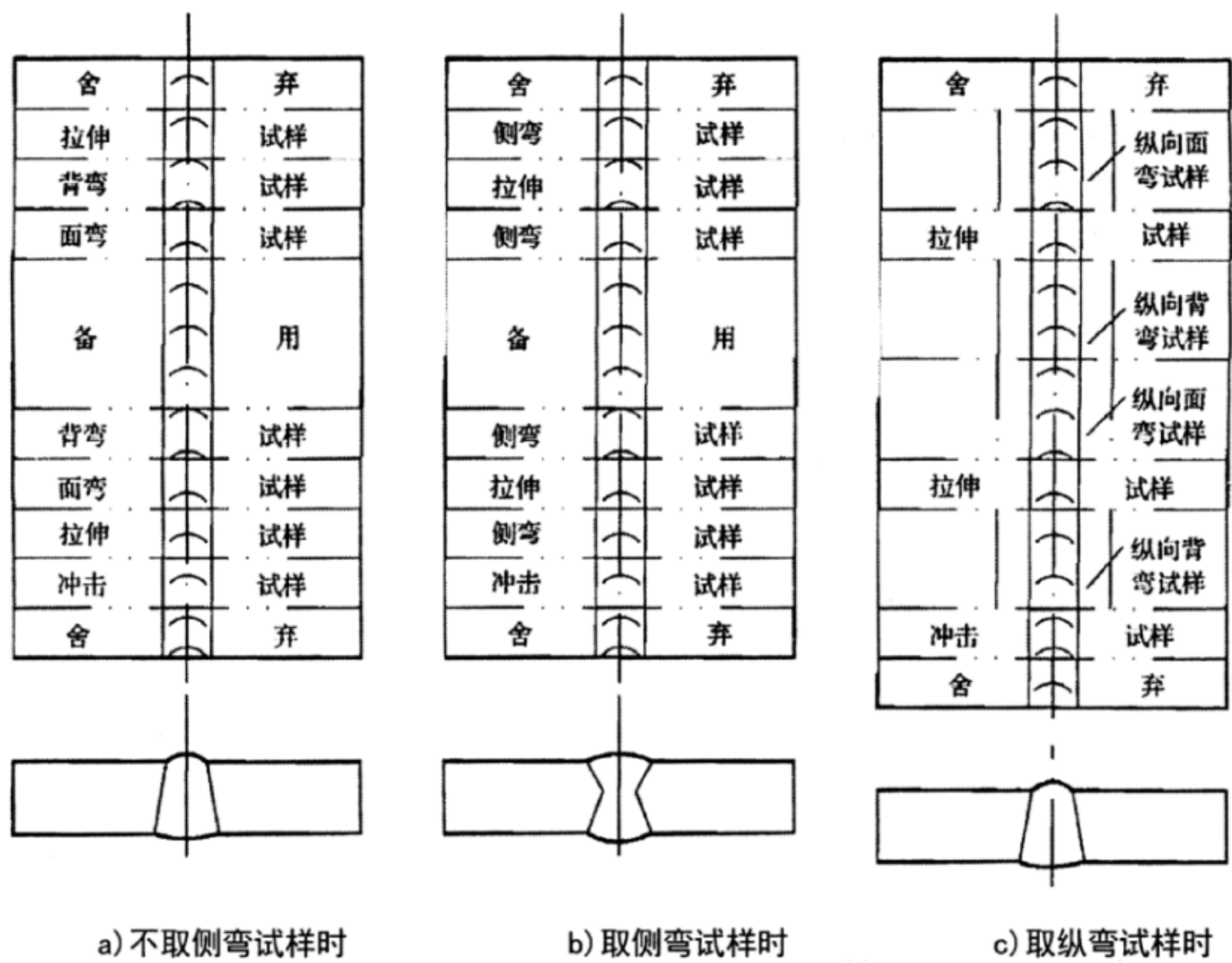
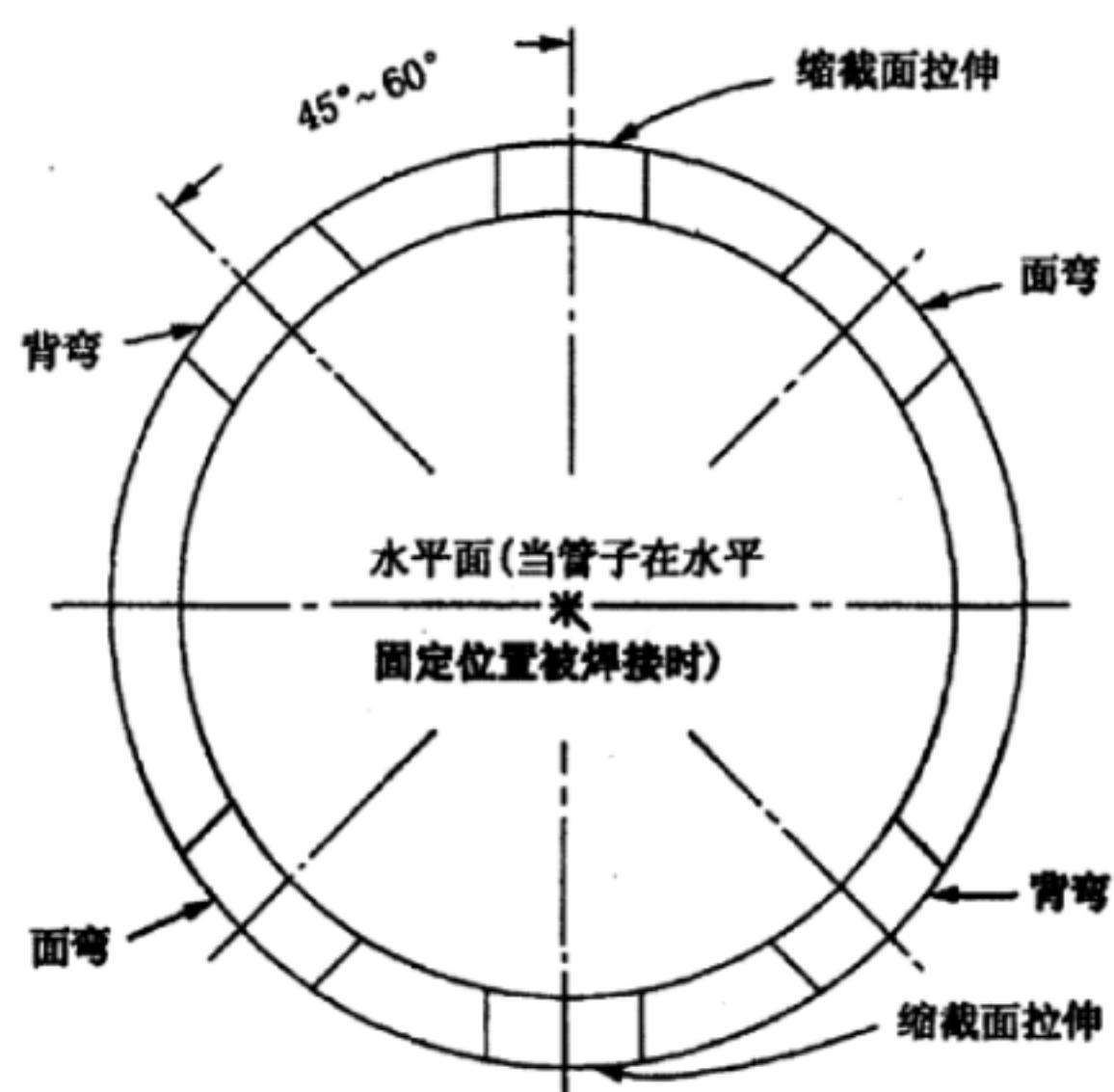
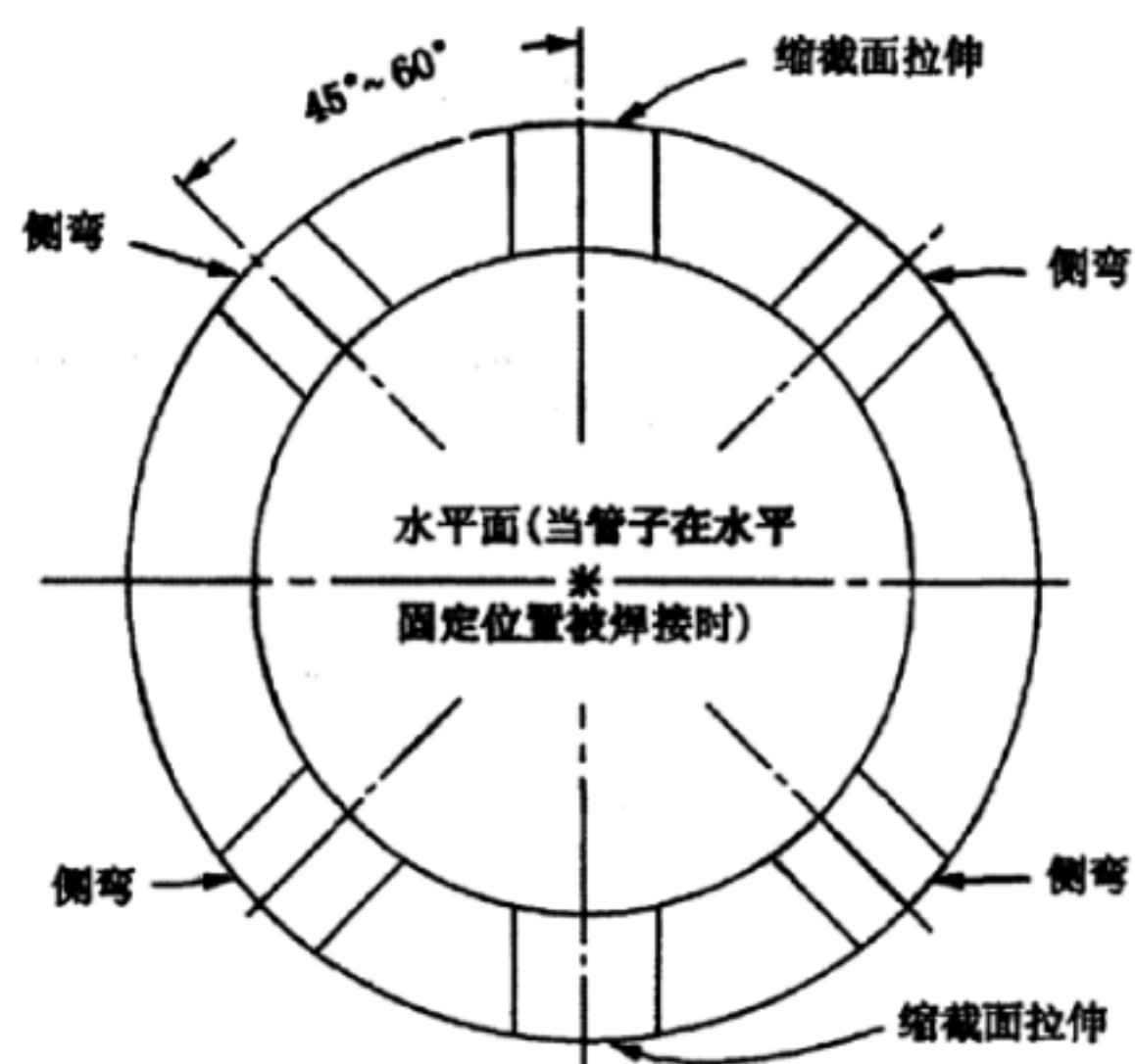


图1 板对接焊缝试件上取样位置图

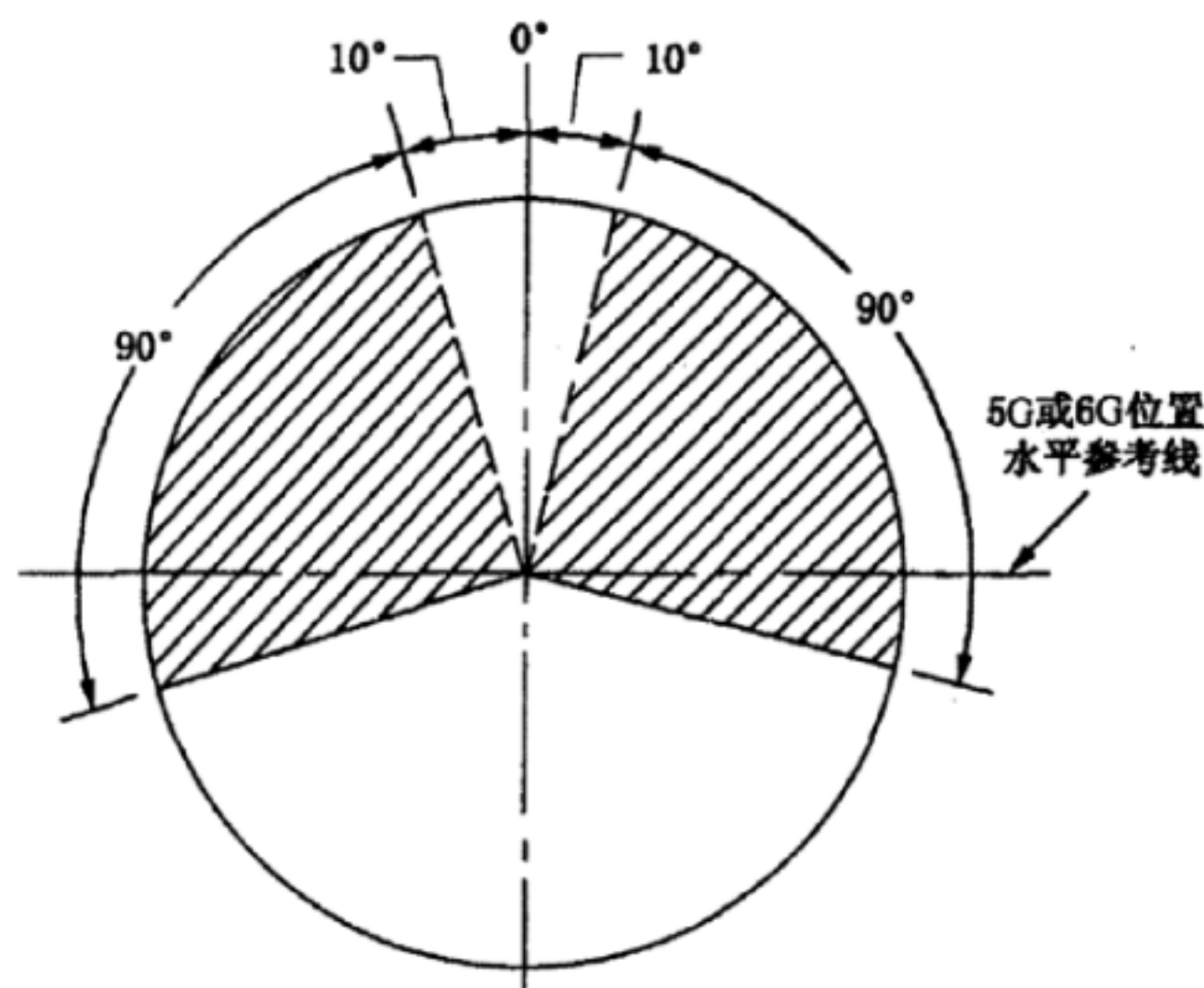


(a) 取面弯、背弯试样



(b) 取侧弯试样

图2 管子对接焊缝试件上拉伸、弯曲试样取样位置图



注：对于冲击性能试样（KV冲击试验、落锤试验），当管子评定位置为5G和6G时，取样部位为图中阴影部分。

图3 管对接焊缝试件上冲击性能试样取样位置

5.3 无损检测结果评定

无损检测结果应符合NB/T 20328对于焊缝的规定。

5.4 破坏性试验结果评定

5.4.1 横向拉伸试验

试样的抗拉强度不应低于母材的规定最低抗拉强度。

对于两种规定最低抗拉强度不同的母材焊接的接头，试样抗拉强度不应低于其中规定最低抗拉强度的较小者。

如果允许使用抗拉强度低于母材的焊缝金属，试样抗拉强度不应低于焊缝金属的规定最低抗拉强度。

如果试样断在焊缝和熔合线以外的母材上，且试样抗拉强度不小于母材的规定最低抗拉强度的95%，可认为试验结果合格。

上述母材的规定最低抗拉强度见附录B.11。

5.4.2 弯曲试验

对于横向弯曲试样，试验后焊缝和热影响区均应位于受弯范围内。

对接焊缝试件的弯曲试样在试验后，其拉伸面上的焊缝和热影响区内，沿任何方向不应有单条长度大于3 mm的开口缺陷。试样的棱角开口缺陷一般不计，但由未熔合、夹渣或其他内部缺陷引起的棱角开口缺陷应考虑。

5.4.3 冲击性能试验

评定试件的焊缝金属和热影响区(HAZ)冲击试验结果应满足表3的规定。

表3 工艺评定试件冲击试验结果要求

分级	制品型式	产品材料厚度 mm	焊缝金属	热影响区(HAZ)
1级	容器材料	≥16	——落锤：两个均不断； ——KV 冲击：冲击功不小于 68 J，侧膨胀值不小于 0.89 mm。 ——上平台冲击功满足规格书要求 ——实测 RT_{NDT}	——如热影响区 KV 冲击侧膨胀值平均值不小于未受影响的母材 KV 冲击侧膨胀值平均值，合格。 ——否则按附录 A.4.2.2，A.4.2.3 补偿。
	管道、 泵、 阀门	≤64	见附录A表A.2。	——如热影响区 KV 冲击侧膨胀值平均值不小于未受影响的母材 KV 冲击侧膨胀值平均值，合格。 ——否则按附录 A.4.2.2，A.4.2.3 补偿。
		>64	——落锤：两个均不断； ——KV 冲击：冲击功不小于 68 J，侧膨胀值不小于 0.89 mm。	——如热影响区 KV 冲击侧膨胀值平均值不小于未受影响的母材 KV 冲击侧膨胀值平均值，合格。 ——否则按附录 A.4.2.2，A.4.2.3 补偿。
2级， MC级	承压材料 (除螺栓)	≤64	见附录A表A.3。	——如热影响区 KV 冲击功平均值不小于未受影响的母材 KV 冲击功平均值，合格。 ——否则按附录 A.4.2.2，A.4.2.3 补偿。
2级， MC级	承压材料 (除螺栓)	≥64	两个均不断。	——如热影响区 KV 冲击功平均值不小于未受影响的母材 KV 冲击功平均值，合格。 ——否则按附录 A.4.2.2，A.4.2.3 补偿。
3级	承压材料 (除螺栓)	≥16	见附录A表A.4。	——如热影响区 KV 冲击功平均值不小于未受影响的母材 KV 冲击功平均值，合格。 ——否则按附录 A.4.2.2，A.4.2.3 补偿。
支承件	材料 (除螺栓)	≥16	见附录A表A.5。	——如热影响区 KV 冲击功平均值不小于未受影响的母材 KV 冲击功平均值，合格。 ——否则按附录 A.4.2.2，A.4.2.3 补偿。
堆芯支撑 件	堆芯支撑 结构 (除螺栓)	≤50	见附录A表A.6。	——如热影响区 KV 冲击侧膨胀值平均值不小于未受影响的母材 KV 冲击侧膨胀值平均值，合格。 ——否则按附录 A.4.2.2，A.4.2.3 补偿。
		>50	——落锤：两个均不断； ——KV 冲击：冲击功不小于 68 J，侧膨胀值不小于 0.89 mm。	——如热影响区 KV 冲击侧膨胀值平均值不小于未受影响的母材 KV 冲击侧膨胀值平均值，合格。 ——否则按附录 A.4.2.2，A.4.2.3 补偿。
注1：冲击试验结果满足1级部件要求时，可认为也满足2、3级和MC级部件要求。				
注2：2级和MC级部件对冲击试验结果要求相同。				
注3：冲击试验结果满足1级、2级或MC级部件要求时，可认为也满足3级部件和支承件要求。				

5.5 复试

如果无损检测发现了超标缺陷，则应研究这些缺陷发生的原因，如与焊接工艺无关，工艺评定可继续进行。

如果在试件的焊接过程中或在无损检测中，发现超标缺陷有规律性地出现，并认为这些缺陷的产生与焊接工艺有关，则应拒绝该焊接工艺通过评定。

如果某一不合格的结果是由于试验实施过程有问题，则有关结果不予认可，并应重新进行试验。

对于KV冲击试验，如试验结果满足表4中的复试条件，可在尽可能靠近不合格试样位置附近取两组（一组3个）附加试样进行加倍试验，两组试样均应合格。

表4 工艺评定试件 KV 冲击试验复试条件

1 级设备	2 级和 MC 级设备	3 级设备	支撑件	堆芯构件支撑件
1) 试验结果的平均值满足表A.2最低要求； 2) 每次试验中，只能有一个试样小于表A.2最低要求； 3) 不满足表A.2最低要求的试样，不应比规定低0.13 mm。	1) 试验结果的平均值满足表A.3平均值要求； 2) 每次试验中，只能有一个试样小于表A.3最小值要求； 3) 不满足表A.3最小值要求的试样，不应比规定低6.8 J。	1) 试验结果的平均值满足表A.4平均值要求； 2) 每次试验中，只能有一个试样小于表A.4最小值要求； 3) 不满足表A.4最小值要求的试样，不应比规定低6.8 J。	1) 试验结果的平均值满足表A.5平均值要求； 2) 每次试验中，只能有一个试样小于表A.5最小值要求； 3) 不满足表A.5最小值要求的试样，不应比规定低6.8 J。	1) 试验结果的平均值满足表A.6最低要求； 2) 每次试验中，只能有一个试样小于表A.6最低要求； 3) 不满足表A.6最低要求的试样，不应比规定低0.13 mm。

5.6 评定的有效范围

5.6.1 对接焊缝和角焊缝

5.6.1.1 全焊透对接焊缝

全焊透对接焊缝试件的母材厚度和焊缝金属厚度的评定有效范围应符合5.6.2的规定。

5.6.1.2 部分焊透对接焊缝

部分焊透对接焊缝试件的母材厚度和焊缝金属厚度的评定有效范围应符合5.6.2的规定，且当评定试件母材厚度不小于38 mm时，其评定的母材厚度有效范围的上限不做限制。

5.6.1.3 角焊缝

角焊缝可通过上述全焊透或部分焊透对接焊缝试件评定，此时评定覆盖的角焊缝尺寸和母材厚度均无限制。对于非承载的角焊缝，可按6.5的要求使用角焊缝试件进行评定，并符合其对角焊缝尺寸和母材厚度的有效范围要求。

5.6.2 母材和焊缝金属的厚度有效范围

5.6.2.1 对接焊缝

对接焊缝试件的母材和焊缝金属的评定有效范围见表5和表6。

表5 对接焊缝采用拉伸试验和横向弯曲试验

单位为毫米

焊接试件厚度 T	母材评定厚度 T 的范围		熔敷金属 t 评定厚度上限
	最小	最大	
$T < 1.5$	T	$2T$	$2t$
$1.5 \leq T \leq 10$	1.5	$2T$	$2t$
$10 < T < 19$	5	$2T$	$2t$
$19 \leq T < 38$	5	$2T$	$2t$, 当 $t < 19$ 时
$19 \leq T < 38$	5	$2T$	$2T$, 当 $t \geq 19$ 时
$38 \leq T \leq 150$	5	200	$2t$, 当 $t < 19$ 时
$38 \leq T \leq 150$	5	200	200, 当 $t \geq 19$ 时
$T > 150$	5	$1.33T$	$2t$, 当 $t < 19$ 时
$T > 150$	5	$1.33T$	$1.33T$, 当 $t \geq 19$ 时
<p>注1: 5.6 中特定的焊接方法采用以下变素时: B.3.7、B.3.8、B.4.21 和 B.7.3, 对表中厚度有效范围进行了进一步限制。另外, 根据 5.6.1、5.6.2.3 和 6.4, 可不遵守表中厚度有效范围的规定。</p> <p>注2: 对于焊接工艺的组合, 见 5.6.2.2。</p> <p>注3: 仅当焊接方法为焊条电弧焊(111)、埋弧焊(12)、熔化极惰性或非惰性气体保护电弧焊(131、135)、等离子弧焊(15)或钨极惰性气体保护电弧焊(141)时, 对于其他焊接方法根据是否采用相关变素, 按注 1 或 $2T$、$2t$ 执行。</p>			

表6 对接焊缝采用拉伸试验和纵向弯曲试验

单位为毫米

焊接试件厚度 T	母材评定厚度 T 的范围		熔敷金属 t 评定厚度上限
	最小	最大	
$T < 1.5$	T	$2T$	$2t$
$1.5 \leq T \leq 10$	1.5	$2T$	$2t$
$T > 10$	5	$2T$	$2t$
<p>注1: 5.6中特定的焊接方法采用以下变素时: B.3.7、B.3.8、B.4.21和B.7.3, 对表中厚度有效范围进行了进一步限制。另外, 根据5.6.1、5.6.2.3和6.4, 可不遵守表中厚度有效范围的规定。</p> <p>注2: 对于焊接工艺的组合, 见5.6.2.2。</p>			

5.6.2.2 焊接工艺组合的特殊规定

对于使用焊条电弧焊(111)、熔化极惰性或非惰性气体保护电弧焊(131、135)、钨极惰性气体保护电弧焊(141)、埋弧焊(12)和等离子弧焊(15)焊接方法或其组合的工艺评定报告, 如试件母材厚度不小于 13 mm, 则可与一个或多个使用其他焊接方法和更大母材厚度的工艺评定报告组合使用。组合时, 根部焊道可使用第一个工艺评定报告中的焊接方法, 其焊缝金属厚度上限为 $2t$ (t 为第一个工艺评定报告中的焊缝金属厚度。对于熔化极惰性或非惰性气体保护电弧焊(131、135), 厚度上限还应满足B.4.21的规定), 母材厚度的上限由组合中使用的其他工艺评定报告确定。

5.6.2.3 母材厚度不同的产品焊缝

对接焊缝评定的焊接工艺规程用于母材厚度不同的产品焊缝时，应满足下列条件：

- a) 较薄件的母材厚度应满足 5.6.2 的规定；
- b) 较厚件的母材厚度：
 - 1) 当评定试件母材为 P-No.8、P-No.41、P-No.42、P-No.43、P-No.44、P-No.45、P-No.46、P-No.49、P-No.51、P-No.52、P-No.53、P-No.61 或 P-No.62，且厚度不小于 6 mm 时，较厚件的最大厚度不限。
 - 2) 对于其他类别号的母材，较厚件的厚度应满足 5.6.2 的规定，但当评定试件母材厚度不小于 38 mm 时，最大厚度不限。

根据上述规定，某些母材厚度不同的产品焊缝可能需要一个以上的工艺评定。

5.6.3 各焊接方法变素表

从一种焊接方法改变为另一种焊接方法是重要变素，需要重新评定。

表7～表13给出了本部分适用的各种焊接方法的重要变素、附加重要变素和非重要变素。

表中的符号含义如下：

+：增加 >：提高/大于 ↑：向上 Φ：改变
-：减少 <：降低/小于 ↓：向下

不能仅依据上述符号含义理解各个变素，对于每个变素的详细描述见附录B。

表7 焊接工艺规程 (WPS) 变素 手工电弧焊 (111)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.2 接头	B.2.1	Φ 坡口设计			X
	B.2.3	-衬垫			X
	B.2.6	Φ 根部间隙			X
	B.2.7	±成型块			X
B.3 母材	B.3.4	Φ 组号		X	
	B.3.5	T 范围		X	
	B.3.6	Φ 评定的 T	X		
	B.3.7	Φ 焊道 $t > 13\text{mm}$	X		
	B.3.9	Φ 评定的 P-No	X		
B.4 填充金属	B.4.4	ΦF-No.	X		
	B.4.5	ΦA-No.	X		
	B.4.6	Φ 直径			X
	B.4.7	Φ 直径 $> 6\text{mm}$		X	
	B.4.11	Φ 焊材型号		X	
	B.4.20	Φ t	X		
	B.4.22	Φ 焊材型号			X
B.5 焊接位置	B.5.1	+焊接位置			X
	B.5.2	Φ 焊接位置		X	
	B.5.3	Φ $\uparrow\downarrow$ 立焊			X
B.6 预热	B.6.1	预热温度减少 $> 55^\circ\text{C}$	X		
	B.6.2	预热保持时间			X
	B.6.3	层间温度增加 $> 55^\circ\text{C}$		X	
B.7 焊后热处理	B.7.1	Φ 焊后热处理	X		
	B.7.2	Φ 焊后热处理(T 及 T 范围)		X	
	B.7.3	T 范围	X		
B.9 电特性	B.9.1	>热输入		X	
	B.9.4	Φ 电流或极性		X	X
	B.9.7	Φ 电流、电压范围			X
B.10 焊接技巧	B.10.1	Φ 直进/横摆			X
	B.10.3	Φ 清理方法			X
	B.10.4	Φ 背面清根方法			X
	B.10.7	Φ 每面多道焊为每面单道焊		X	X
	B.10.18	Φ 手工焊/自动焊			X
	B.10.19	±锤击			X
	B.10.40	热加工的使用	X		

表8 焊接工艺规程 (WPS) 变素 埋弧焊 (12)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.2 接头	B.2.1	Φ 坡口设计			X
	B.2.3	-衬垫			X
	B.2.6	Φ 根部间隙			X
	B.2.7	±成型块			X
B.3 母材	B.3.4	Φ 组号		X	
	B.3.5	T 范围		X	
	B.3.6	Φ 评定的 T	X		
	B.3.7	Φ 焊道 $t > 13\text{mm}$	X		
	B.3.9	Φ 评定的 P-No	X		
B.4 填充金属	B.4.4	Φ F-No.	X		
	B.4.5	Φ A-No.	X		
	B.4.6	Φ 直径			X
	B.4.9	Φ 焊剂/焊丝型号	X		
	B.4.10	Φ 合金焊剂成分	X		
	B.4.17	±或 Φ 附加填充金属	X		
	B.4.18	Φ 合金元素成分	X		
	B.4.19	Φ 焊剂牌号			X
	B.4.20	Φ t	X		
	B.4.22	Φ 焊材型号			X
	B.4.23	Φ 焊剂类型	X		
	B.4.24	Φ 焊剂/焊丝型号		X	X
	B.4.25	重用重碎渣	X		
B.5 焊接位置	B.5.1	+焊接位置			X
B.6 预热	B.6.1	预热温度减少 $> 55\text{ }^{\circ}\text{C}$	X		
	B.6.2	预热保持时间			X
	B.6.3	层间温度增加 $> 55\text{ }^{\circ}\text{C}$		X	
B.7 焊后热处理	B.7.1	Φ 焊后热处理	X		
	B.7.2	Φ 焊后热处理 (T 及 T 范围)		X	
	B.7.3	T 范围	X		
B.9 电特性	B.9.1	>热输入		X	
	B.9.4	Φ 电流或极性		X	X
	B.9.7	Φ 电流、电压范围			X

表8 (续)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.10 焊接技巧	B.10.1	Φ 直进/横摆			X
	B.10.3	Φ 清理方法			X
	B.10.4	Φ 背面清根方法			X
	B.10.5	Φ 摆动			X
	B.10.6	Φ 导电嘴至工件距离			X
	B.10.7	Φ 每面多道焊为每面单道焊		X	X
	B.10.8	Φ 单丝到多丝		X	X
	B.10.12	Φ 电极间距			X
	B.10.18	Φ 手工焊/自动焊			X
	B.10.19	±锤击			X
	B.10.40	热加工的使用	X		

表9 焊接工艺规程(WPS)变素 熔化极气体保护焊(131, 135, 136, 137)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.2 接头	B.2.1	Φ 坡口设计			X
	B.2.3	-衬垫			X
	B.2.6	Φ 根部间隙			X
	B.2.7	±成型块			X
B.3 母材	B.3.4	Φ 组号		X	
	B.3.5	T 范围		X	
	B.3.6	Φ 评定的 T	X		
	B.3.7	Φ 焊道 $t > 13\text{mm}$	X		
	B.3.8	T 范围(短路弧)	X		
	B.3.9	Φ 评定的 P-No	X		
B.4 填充金属	B.4.4	ΦF-No.	X		
	B.4.5	ΦA-No.	X		
	B.4.6	Φ 直径			X
	B.4.11	Φ 焊材型号		X	
	B.4.16	Φ 填充金属制品型式	X		
	B.4.17	±或 Φ 附加填充金属	X		
	B.4.18	Φ 合金元素成分	X		
	B.4.20	Φt	X		
	B.4.21	Φt 范围(短路弧)	X		
	B.4.22	Φ 焊材型号			X

表9 (续)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.5 焊接位置	B.5.1	+焊接位置			X
	B.5.2	Φ 焊接位置		X	
	B.5.3	Φ↑↓立焊			X
B.6 预热	B.6.1	预热温度减少>55℃	X		
	B.6.2	预热保持时间			X
	B.6.3	层间温度增加>55℃		X	
B.7 焊后热处理	B.7.1	Φ 焊后热处理	X		
	B.7.2	Φ 焊后热处理(<i>T</i> 及 <i>T</i> 范围)		X	
	B.7.3	<i>T</i> 范围	X		
B.8 气体	B.8.1	±尾部保护气体或 Φ 组成			X
	B.8.2	Φ 单一气/混合气或组成	X		
	B.8.3	Φ 气体流量			X
	B.8.5	±或 Φ 背面保护气流量			X
	B.8.7	±背保气体或 Φ 组成	X		
	B.8.8	-拖尾保护气或 Φ 组成或 Φ 流量	X		
B.9 电特性	B.9.1	>热输入		X	
	B.9.2	Φ 过渡模式	X		
	B.9.4	Φ 电流或极性		X	X
	B.9.7	Φ 电流、电压范围			X
B.10 焊接技巧	B.10.1	Φ 直进/横摆			X
	B.10.2	Φ 喷嘴、喷嘴尺寸			X
	B.10.3	Φ 清理方法			X
	B.10.4	Φ 背面清根方法			X
	B.10.5	Φ 摆动			X
	B.10.6	Φ 导电嘴至工件距离			X
	B.10.7	Φ 每面多道焊为每面单道焊		X	X
	B.10.8	Φ 单丝到多丝		X	X
	B.10.12	Φ 电极间距			X
	B.10.18	Φ 手工焊/自动焊			X
	B.10.19	±锤击			X
	B.10.40	热加工的使用	X		

表10 焊接工艺规程 (WPS) 变素 钨极惰性气体保护焊 (141)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.2 接头	B.2.1	Φ 坡口设计			X
	B.2.4	+衬垫或 Φ 成分			X
	B.2.6	Φ 根部间隙			X
	B.2.7	±成型块			X
B.3 母材	B.3.4	Φ 组号		X	
	B.3.5	T 范围		X	
	B.3.6	Φ 评定的 T	X		
	B.3.9	Φ 评定的 P-No	X		
B.4 填充金属	B.4.3	Φ 尺寸			X
	B.4.4	ΦF-No.	X		
	B.4.5	ΦA-No.	X		
	B.4.11	Φ 焊材型号		X	
	B.4.12	±填充金属	X		
	B.4.15	±可熔性嵌条			X
	B.4.16	Φ 填充金属制品型式	X		
	B.4.20	Φt	X		
	B.4.22	Φ 焊材型号			X
	B.4.38	±焊剂			X
B.5 焊接位置	B.5.1	+焊接位置			X
	B.5.2	Φ 焊接位置		X	
	B.5.3	Φ↑↓立焊			X
B.6 预热	B.6.1	预热温度减少>55℃	X		
	B.6.3	层间温度增加>55℃		X	
B.7 焊后热处理	B.7.1	Φ 焊后热处理	X		
	B.7.2	Φ 焊后热处理(T 及 T 范围)		X	
	B.7.3	T 范围	X		
B.8 气体	B.8.1	±尾部保护气体或 Φ 组成			X
	B.8.2	Φ 单一气/混合气或组成	X		
	B.8.3	Φ 气体流量			X
	B.8.5	±或 Φ 背面保护气流量			X
	B.8.7	-背保气体或 Φ 组成	X		
	B.8.8	-拖尾保护气或 Φ 组成或 Φ 流量	X		

表 10 （续）

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.9 电特性	B.9.1	>热输入		X	
	B.9.3	±脉冲电流			X
	B.9.4	Φ 电流或极性		X	X
	B.9.7	Φ 电流、电压范围			X
	B.9.8	Φ 钨极			X
B.10 焊接技巧	B.10.1	Φ 直进/横摆			X
	B.10.2	Φ 喷嘴、喷嘴尺寸			X
	B.10.3	Φ 清理方法			X
	B.10.4	Φ 背面清根方法			X
	B.10.5	Φ 摆动			X
	B.10.7	Φ 每面多道焊为每面单道焊		X	X
	B.10.8	Φ 单丝到多丝		X	X
	B.10.9	Φ 闭室为室外焊	X		
	B.10.12	Φ 电极间距			X
	B.10.18	Φ 手工焊/自动焊			X
	B.10.19	±锤击			X
	B.10.40	热加工的使用	X		

表11 焊接工艺规程（WPS）变素 等离子弧焊（15）

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.2 接头	B.2.1	Φ 坡口设计		X	
	B.2.4	+衬垫或 Φ 成分			X
	B.2.6	Φ 根部间隙			X
	B.2.7	±成型块			X
B.3 母材	B.3.4	Φ 组号		X	
	B.3.5	T 范围		X	
	B.3.6	Φ 评定的 T	X		
	B.3.10	ΦP-No./填丝焊技术	X		

表 11 (续)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.4 填充金属	B.4.3	Φ 尺寸			X
	B.4.4	ΦF-No.	X		
	B.4.5	ΦA-No.	X		
	B.4.11	Φ 焊材型号		X	
	B.4.12	±填充金属	X		
	B.4.15	±可溶性嵌条			X
	B.4.16	Φ 填充金属制品型式	X		
	B.4.18	Φ 合金元素成分	X		
	B.4.20	Φ _t	X		
	B.4.22	Φ 焊材型号			X
B.5 焊接位置	B.5.1	+焊接位置			X
	B.5.2	Φ 焊接位置		X	
	B.5.3	Φ↑↓立焊			X
B.6 预热	B.6.1	预热温度减少>55℃	X		
	B.6.3	层间温度增加>55℃		X	
B.7 焊后热处理	B.7.1	Φ 焊后热处理	X		
	B.7.2	Φ 焊后热处理(T 及 T 范围)		X	
	B.7.3	T 范围	X		
B.8 气体	B.8.1	±尾部保护气体或 Φ 组成			X
	B.8.4	Φ 气体组成/流量	X		
	B.8.5	±或 Φ 背面保护气流量			X
	B.8.7	±背保气体或 Φ 组成	X		
	B.8.8	-拖尾保护气或 Φ 组成或 Φ 流量	X		
	B.8.16	Φ 流量			X
B.9 电特性	B.9.1	>热输入		X	
	B.9.4	Φ 电流或极性		X	X
	B.9.7	Φ 电流、电压范围			X
	B.9.8	Φ 钨极			X

表 11 (续)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.10 焊接技巧	B.10.1	Φ 直进/横摆			X
	B.10.2	Φ 喷嘴、喷嘴尺寸			X
	B.10.3	Φ 清理方法			X
	B.10.4	Φ 背面清根方法			X
	B.10.5	Φ 摆动			X
	B.10.7	Φ 每面多道焊为每面单道焊		X	X
	B.10.8	Φ 单丝到多丝		X	X
	B.10.9	Φ 闭室为室外焊	X		
	B.10.10	Φ 填丝焊为小孔焊		X	
	B.10.12	Φ 电极间距			X
	B.10.19	± 锤击			X
	B.10.40	热加工的使用	X		

表12 焊接工艺规程 (WPS) 变素 电子束焊 (51)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.2 接头	B.2.1	Φ 坡口设计	X		
	B.2.2	-衬垫	X		
	B.2.5	> 装配间隙	X		
B.3 母材	B.3.1	Φ P-No.	X		
	B.3.2	Φ 熔深	X		
	B.3.11	Φ P-No.	X		
B.4 填充金属	B.4.1	Φ 截面积或速度	X		
	B.4.2	< 或 Φ 化学成分	X		
	B.4.8	± 或 Φ 化学成分	X		
	B.4.12	± 填充金属	X		
	B.4.13	Φ 添加方法	X		
	B.4.14	Φ 成分	X		
	B.4.22	Φ 焊材型号			X
B.6 预热	B.6.1	预热温度减少 > 55℃	X		
B.7 焊后热处理	B.7.1	Φ 焊后热处理	X		
B.8 气体	B.8.6	Φ 焊接环境	X		
B.9 电特性	B.9.5	Φ 束流加速电压、焊接速度等	X		
	B.9.6	Φ 电子束脉冲频率	X		

表 12 (续)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.10 焊接技巧	B.10.3	Φ 清理方法			X
	B.10.5	Φ 摆动	X		
	B.10.11	Φ 射束轴线角度	X		
	B.10.13	Φ 焊接设备类型	X		
	B.10.14	>真空室压强	X		
	B.10.15	Φ 灯丝型式、尺寸等	X		
	B.10.16	+装饰焊道	X		
	B.10.17	Φ 单面焊/双面焊	X		
	B.10.40	热加工的使用	X		

表13 焊接工艺规程 (WPS) 变素 激光焊 (52)

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.2 接头	B.2.1	Φ 坡口设计	X		
	B.2.2	±衬垫	X		
	B.2.5	>装配间隙	X		
	B.2.10	Φ 搭接接头参数	X		
B.3 母材	B.3.1	ΦP-No.	X		
	B.3.2	Φ 熔深	X		
	B.3.11	ΦP-No.	X		
B.4 填充金属	B.4.1	Φ 截面积或速度	X		
	B.4.2	<ι 或 Φ 化学成分	X		
	B.4.8	±或 Φ 化学成分	X		
	B.4.12	±填充金属	X		
	B.4.13	Φ 填加方法	X		
	B.4.14	Φ 成分	X		
	B.4.22	Φ 焊材型号			X
B.6 预热	B.6.1	预热温度减少>55℃	X		
B.7 焊后热处理	B.7.1	Φ 焊后热处理	X		
B.8 气体	B.8.2	Φ 单一气/混合气或组成	X		
	B.8.6	Φ 焊接环境	X		
	B.8.9	±保护气	X		
	B.8.10	Φ 保护流量>5%	X		
	B.8.11	Φ 吹除等离子气喷嘴位置	X		

表 13 （续）

变素简述			重要变素	附加重要变素	非重要变素
B.9 电特性	B.9.9	Φ 脉冲	X		
	B.9.10	Φ 焦点、操作模式、能量	X		
	B.9.11	Φ 功率、速度、尺寸、距离	X		
B.10 焊接技巧	B.10.3	Φ 清理方法			X
	B.10.5	Φ 摆动	X		
	B.10.11	Φ 射束轴线角度	X		
	B.10.13	Φ 焊接设备类型	X		
	B.10.16	+装饰焊道	X		
	B.10.17	Φ 单面焊/双面焊	X		
	B.10.20	Φ 单道/多道	X		
	B.10.40	热加工的使用	X		

5.6.4 工艺评定补充要求

5.6.4.1 碳含量大于 0.030%的奥氏体不锈钢

对于碳含量大于0.030%的奥氏体不锈钢，当设计要求抗晶间腐蚀性能时，需按以下要求进行工艺评定补充试验：

- a) 产品母材厚度大于或等于 12.7 mm 时，工艺评定试件厚度应不小于 12.7 mm。产品母材厚度小于 12.7 mm 且存在多种厚度规格时，评定试件为两件，其中一件厚度不小于 12.7 mm，或不小于产品母材厚度最大值，另一件厚度为产品母材厚度最小值；
- b) 试件母材为 304 型，或产品实际母材牌号，试件焊缝长度不小于 150 mm。试件母材的实测碳含量为评定覆盖的产品母材最大碳含量；
- c) 工艺评定应记录焊接电流、电压和焊接速度，工艺评定的热输入为评定覆盖的焊接工艺的最大热输入；
- d) 评定试件应进行晶间腐蚀试验，在试件中心附近取横向试样，试样包括焊缝两侧至少 12.7 mm 的母材。试验方法按 NB/T 20004—2014 第 18 章方法二进行，结果应无晶间腐蚀倾向；
- e) 对于产品焊接中的每种焊接方法应进行上述补充试验。机械焊方法可覆盖半机械焊和手工焊，反之亦然。

当产品焊缝焊后要进行固溶热处理时，不需要进行上述补充试验。

5.6.4.2 有缺口韧性要求的碳钢和低合金钢评定要求

当有冲击试验要求时，碳钢和低合金钢的评定应采用最大热输入。除附录A.4.2免除的情况以外，制造商应证明每个焊接工艺满足焊缝和焊接热影响区的缺口韧性要求。

5.6.4.3 低合金钢的预热温度和道间温度要求

对于低合金钢材料（P-No.3、4、5A），评定试件的预热温度为评定覆盖的焊接工艺的最低预热温度，评定试件的最高道间温度为评定所覆盖的焊接工艺的最高道间温度。

6 特殊焊缝

6.1 带隔离层的焊缝

6.1.1 范围

当用于隔离层焊接的重要变素与用于随后焊接接头焊接的重要变素不同时，需满足本条的规定。典型例子包括：

- a) 隔离层焊后需进行热处理，而随后焊接的部分不进行焊后热处理；
- b) 用于隔离层的填充金属与用于随后焊接的部分的填充金属的 F-No.不同。

6.1.2 试验要求

工艺评定试件应先堆焊隔离层（如产品的隔离层有焊后热处理，则工艺评定的隔离层也进行焊后热处理），然后再完成后续连接焊缝。隔离层和随后焊缝的焊接变素均应按5.6.3的规定，另外，隔离层最小厚度小于5 mm时，B.9.1对于随后焊缝的焊接工艺为重要变素。评定试件的力学性能试验应按5.6.1.1规定。

如果堆焊隔离层所用填充金属与完成后续连接焊缝的相同，可按本部分规定，通过直接焊接两个母材来评定异种金属接头。

6.1.3 隔离层厚度

在焊接工艺规程中应规定堆焊隔离层和加工打磨后，后续焊接前的隔离层厚度要求。如该厚度小于5 mm，则工艺评定中实施后续焊接前，应测量堆焊层厚度，该厚度为评定覆盖的隔离层最小厚度。

6.1.4 评定方式选择

当用于隔离层之后的焊接接头的某个重要变素发生变化，或隔离层后的焊接接头是由不同的单位完成时，可按下列方式之一完成一个新的评定：

- a) 按 6.1.2 和 6.1.3 进行评定。当评定试件的隔离层厚度小于 5 mm 时，产品隔离层厚度和后续焊接热输入均不得大于评定值；
- b) 当评定试件的隔离层厚度大于或等于 5 mm 时，对于隔离层焊接完毕后，后续焊缝的评定可使用与隔离层化学成分等效的其他 P-No.母材来代替隔离层及其母材。

6.2 特殊设计的密封焊缝

6.2.1 通用要求

对于特殊设计的密封焊缝通用要求如下：

- a) 特殊设计的密封是指类似 OMEGA 密封等防止液体泄漏的薄壁结构，其强度由其他结构承受；
- b) 任一重要变素改变时，应重新评定整个焊接工艺规程。如果只改变重要变素以外的其他变素，并且这种改变反映在焊接工艺规程中，则不要求重新评定；
- c) 本部分 5 规定的重要变素适用于特殊设计的密封焊缝的工艺评定，此外，还应增加 6.2.2 和 6.2.3 重要变素。

6.2.2 自动焊、机械焊和半自动焊的重要变素

自动焊、机械焊和半自动焊的重要变素如下：

- a) 当预置的填充金属熔化后成为焊缝的部分或全部时，如果母材或填充金属的型号或牌号发生变化，即使仍属于同一 P-No.或 A-No.，也应重新评定；

- b) 对于自动焊或机械焊，焊接接头任何尺寸发生变化；对于半自动焊，焊接接头任何尺寸变化超过评定试件相应尺寸的 10%；
- c) 焊接时，添加的焊材名义尺寸或形状发生变化；
- d) 对于自动焊，密封焊缝的长度变化超过 30%；
- e) 对于自动焊，焊接电流的改变大于评定时所用最大电流和最小电流差值的 50%。对于这种情况，重新评定时只需要焊接两个试件；
- f) 电极、工件、焊材之间的角度或距离的变化超出评定的范围；
- g) 为便于组对或保证根部间隙，增加或取消定位焊或固定夹具；
- h) 增加或取消可熔化嵌条。

6.2.3 手工焊的重要变素

手工焊的重要变素如下：

- a) 除坡口角度和母材厚度外，焊接接头横截面任何尺寸的变化超过 10%。对于等厚部件的母材厚度，其允许范围为评定厚度的 90%到 2.5 倍，当薄件与厚件相焊时，薄件厚度的允许范围为评定厚度的 90%到 2 倍；
- b) 当预置的填充金属熔化后成为焊缝的部分或全部时，如果母材或填充金属的型号或牌号发生变化，即使仍属于同一 P-No.或 A-No.，也应重新评定。

6.2.4 试件

6.2.4.1 尺寸要求

试件应与产品焊缝相同，允许存在符合 6.2.2 b) 或 6.2.3 a) 的尺寸变化。除自动焊外，如果认为产品焊缝长度超出评定需要，可采用 300 mm 的评定焊缝长度。

6.2.4.2 自动焊

应至少连续焊接 6 个试件，以考核焊接工艺的稳定性。此外，制造商在产品焊接前，应连续焊接 2 个试件以验证焊接工艺。

6.2.4.3 手工焊、机械焊和半自动焊

应至少焊接 2 个试件。

6.2.5 试件检验

试件检验应按如下要求进行：

- a) 要求全焊透时，应从试件上切取横截面进行金相检验。
- b) 每个试件应至少切取 4 个横截面。其中在焊接开始和终止处应各取 1 个，其余随机选取。每个横截面试样应按 GB/T 226，放大 10 到 15 倍后进行金相检验。结果应无裂纹、未焊透、可熔化嵌条未熔合，气孔或夹渣的包络圆最大尺寸不得超过焊缝厚度的 10%。有怀疑时，监查人员可要求增加切取检验的横截面数量。

6.3 复合钢板和预先堆焊钢板的对接接头

如设计需要考虑复合层或堆焊层的强度，焊接工艺评定应按下述 a) 进行。否则，焊接工艺评定可按下述 a) 或 b) 进行：

- a) 5.6 规定的重要变素和非重要变素适用于此类接头的基板部分的连接,对于复合层或堆焊层部分的连接,其重要变素、非重要变素应符合 7.3.2 的规定。此外,工艺评定试件中的基板和复合层(堆焊层)母材的 P-No.、焊接方法和填充材料应与产品焊缝相同,如附录 B.11 中无该材料的 P-No.,其化学成分应符合实际产品的要求范围。母材和焊缝金属的评定厚度范围应根据评定试件的实际尺寸按 5.6.2 确定,且连接复合层(堆焊层)部分的焊缝金属最小厚度还需按图 10 脚注^a的规定依据化学分析取样位置确定。试件应按 5.2.2 取样进行拉伸和弯曲试验。对于拉伸试验,试样标距段应包括全厚度的复合层(堆焊层)。对于弯曲试验,如复合层和基板之间的连接使用熔化焊以外的方法,则侧弯试验结果评价可不考虑复合层和基板之间的结合情况。
- b) 5.6 规定的重要变素和非重要变素适用于此类接头的基板部分的连接,且基板母材的评定厚度范围可不使用复合钢板或预先堆焊钢板的评定试件。对于复合层或堆焊层部分的连接,其重要变素、非重要变素应符合 7.3.2 的规定,评定试件的制备和检验应符合 7.1 和 7.2 的规定。焊接工艺规程中应限制连接复合层或堆焊层部分的坡口深度,以保证下方的基板接头具有要求的强度。

6.4 补焊和同质堆焊

补焊和同质堆焊的焊接工艺可使用对接焊缝试件进行评定,并且:

- a) 对于角焊缝,评定覆盖的母材厚度和焊缝金属厚度均无限制;
- b) 对于角焊缝以外的焊缝,评定覆盖的母材厚度和焊缝金属厚度按 5.6.2 确定,且评定试件母材厚度不小于 38 mm 时,最大母材厚度无限制。

6.5 非承载的角焊缝

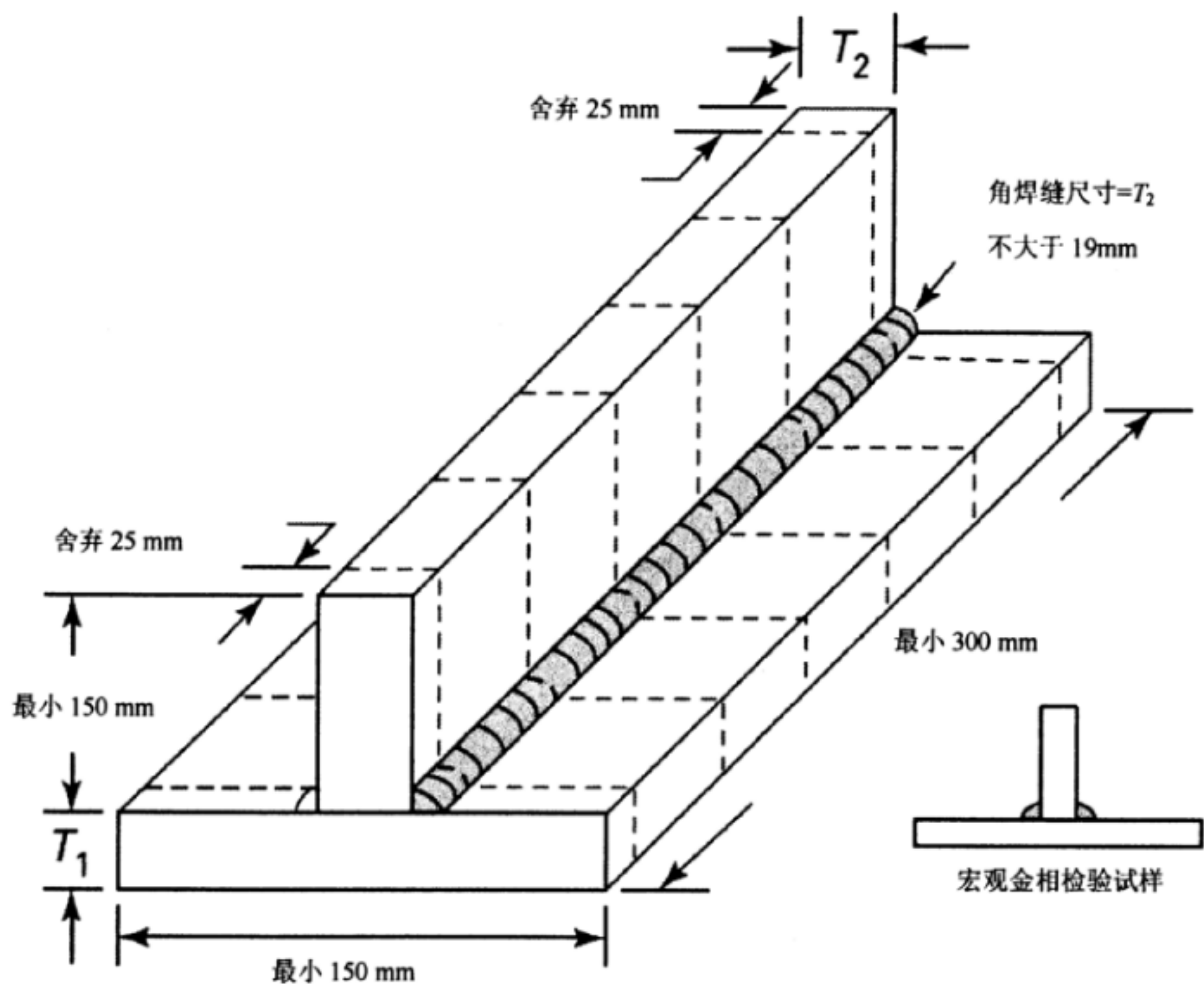
6.5.1 一般规定

非承载的角焊缝可使用角焊缝试件评定,试件尺寸和取样位置应符合图4和图5的要求。对于板-板试件应切取5个金相试样,每个长度约50 mm。对于管-板或管-管试件应经过管轴线4等分,切取4个金相试样,试样应按6.5.3进行检验。评定覆盖的角焊缝母材厚度、直径和角焊缝尺寸均无限制。

6.5.2 产品模拟件

可使用产品模拟件代替6.5.1的评定试件。对于板-板的模拟件应切取5个金相试样,每个长度约50 mm。对于管-板的模拟件应经过管子轴线4等分,切取4个金相试样,试样应按 6.5.3进行检验。对于小尺寸产品模拟件,为获得上述试样可能需要焊接多个模拟件。

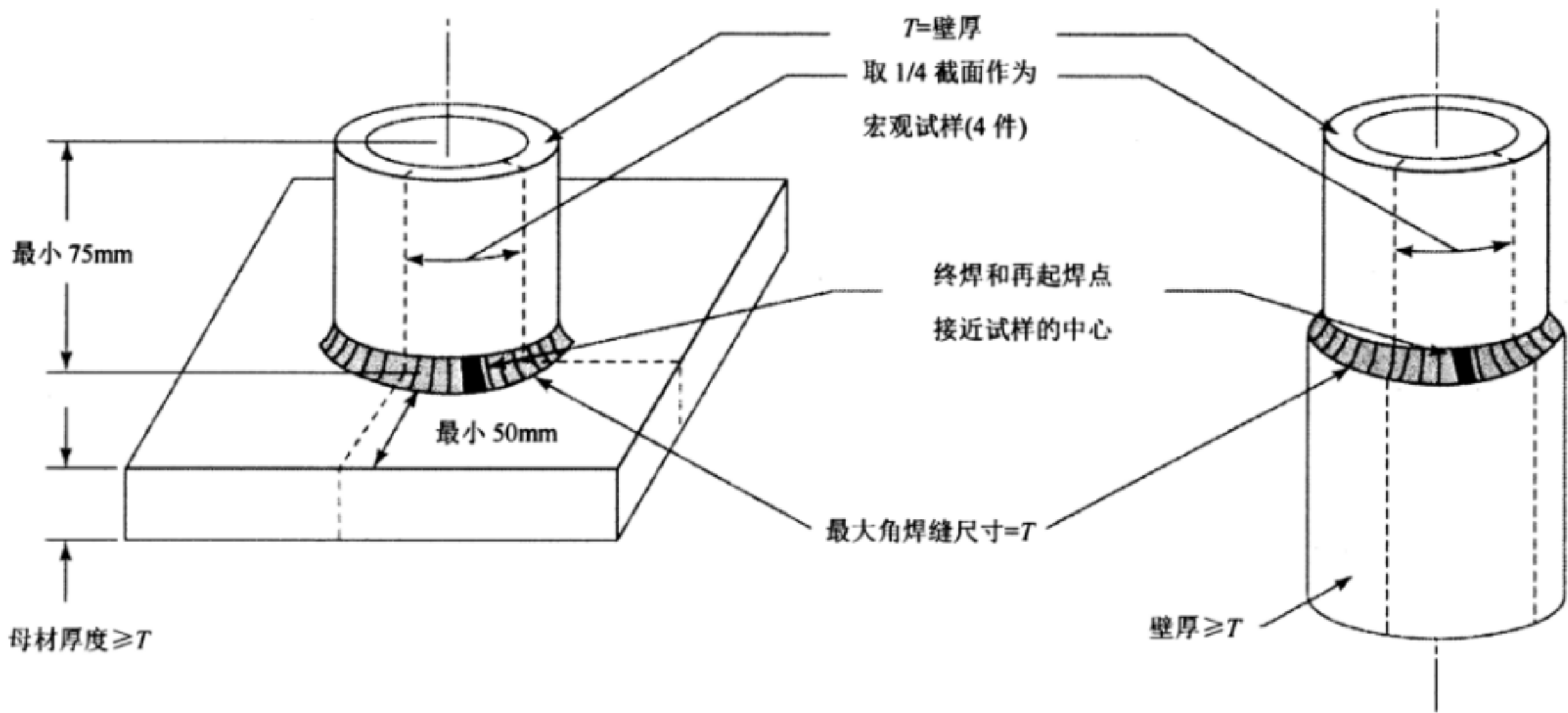
对于单个模拟件,评定覆盖范围限于与模拟件相同的形式、母材厚度和角焊缝尺寸。对于多个形式相同、尺寸不同的模拟件,评定覆盖的母材厚度范围为模拟件对应母材厚度的最小值到最大值,角焊缝尺寸为模拟件角焊缝尺寸的最小值到最大值,形式应与模拟件相同。



T_1	T_2
$\leq 3\text{ mm}$	T_1
$> 3\text{ mm}$	$\leq T_1$, 但不小于3 mm。

注：宏观金相检验焊缝根部应熔合，但不一定要求根部熔深，焊缝金属和热影响区不得有裂纹。

图4 板-板角焊缝工艺评定试件



注：如图所示，采用板—管或管—管试件均可。宏观金相检验焊缝根部应熔合，但不一定要求根部熔深，焊缝金属和热影响区不得有裂纹。

图5 管-板角焊缝工艺评定试件

6.5.3 宏观金相检验

检验横截面限于剖面处形成的两个相邻面中的一个。

检验包括全部焊缝金属和热影响区，结果应无裂纹、未熔合，焊脚之差不大于3 mm。

7 耐磨堆焊和耐蚀堆焊

7.1 评定试件制备

评定试件可为板或管。对于板状试件，其尺寸应至少为150 mm×150 mm，堆焊层至少为150 mm（长）×38 mm（宽）。对于管状试件，其长度应至少为150 mm，直径应足以取得要求的试样，堆焊层在圆周方向上应连续。对于耐磨堆焊，还可在代表实际产品尺寸的母材上进行评定。

对于堆焊，焊接工艺规程中应规定堆焊层厚度，当技术文件对于堆焊层化学成分有要求时，还应在焊接工艺规程中注明化学成分要求。

7.2 评定试件的检验

7.2.1 试验项目

对于耐蚀堆焊，应进行液体渗透检验、侧弯试验和化学成分分析。

对于耐磨堆焊，应进行液体渗透检验、硬度试验、金相试验和化学成分分析。

化学成分分析仅在有关技术文件有要求时进行。

7.2.2 试验方法

液体渗透检验方法应按NB/T 20003进行。

侧弯试样与试验程序应符合附录A.3的要求。

硬度试验应符合NB/T 20004—2014第11章的要求。

金相试验应符合GB/T 226的要求。

化学分析试验应符合NB/T 20004—2014第19章的要求。

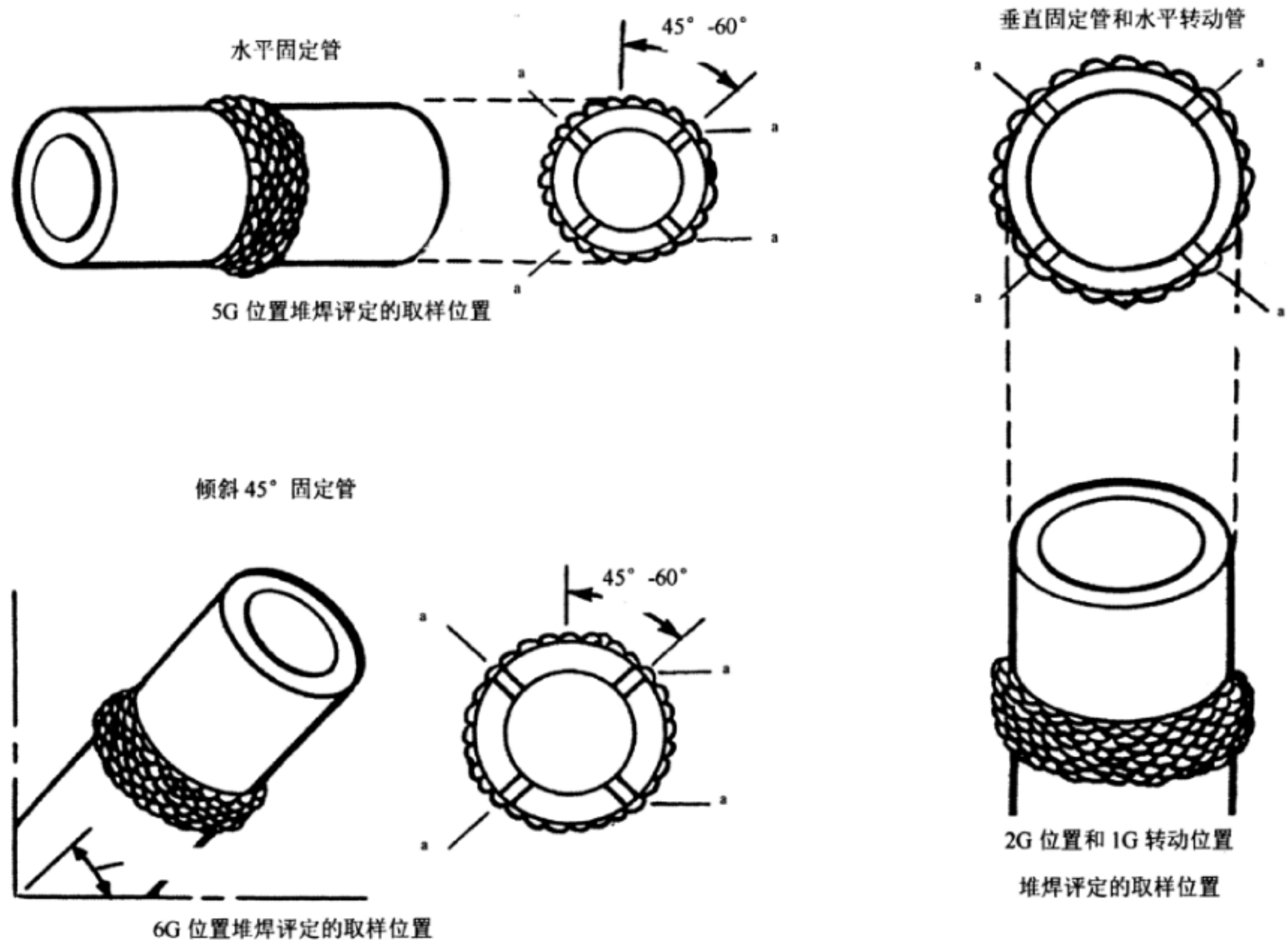
7.2.3 试样的位置及截取

侧弯试验试样为4个，垂直于焊接方向切取，或者2个垂直于焊接方向，2个平行于焊接方向。当试件厚度小于10 mm时，试样宽度可为试件厚度。取样位置见图6和图7。

硬度试验应按焊接工艺规程将堆焊层制备到最小厚度，然后对于图8和图9中的每个试样位置至少测量3个点的硬度。

金相试验应垂直于耐磨堆焊方向进行切取。切取形成的2个面都应使用放大倍率不大于5的放大镜检验。试样位置见图8和图9。

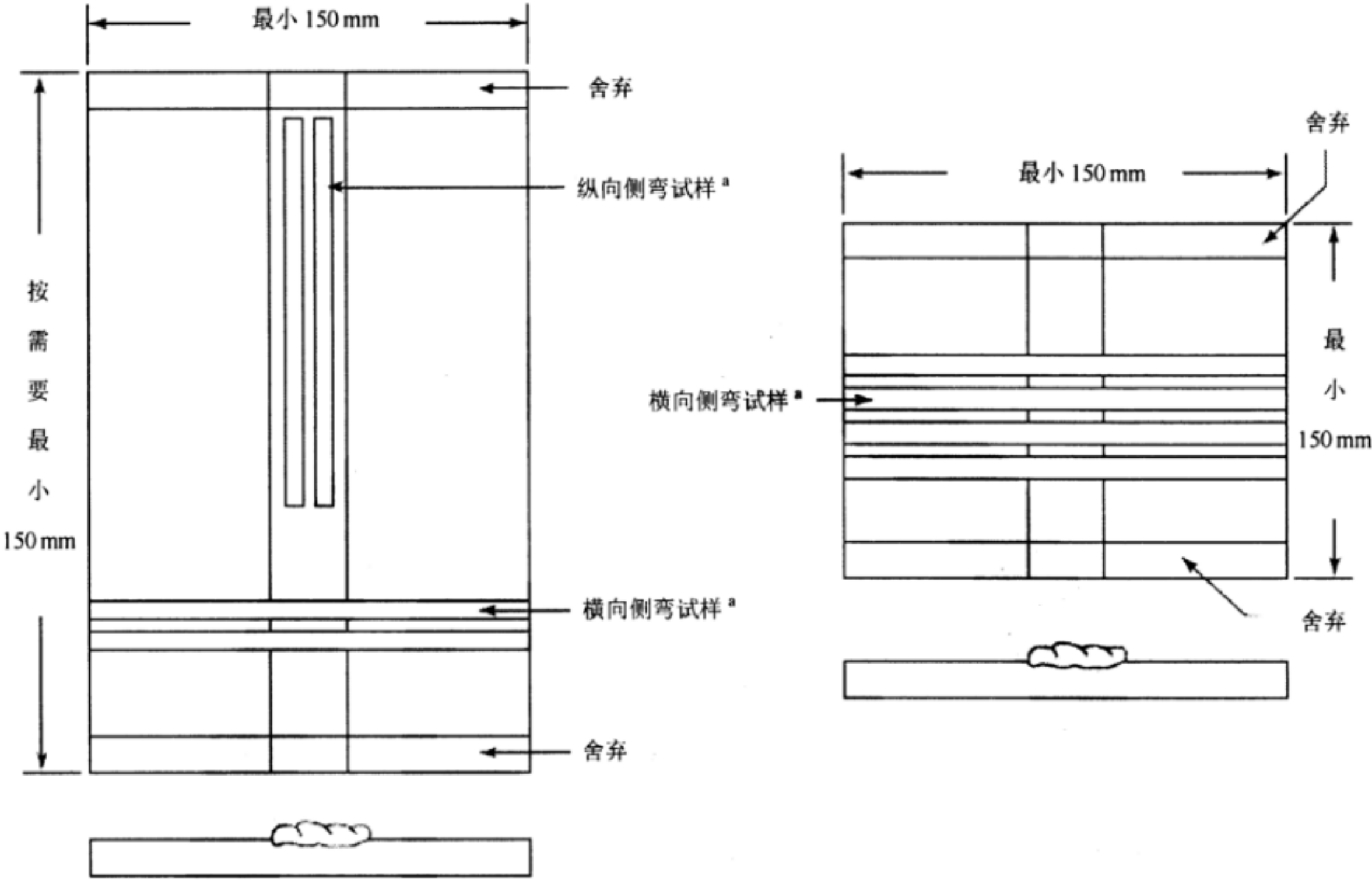
化学分析试样位置见图8和图9。



注：堆焊可以在管的外表面和内表面。

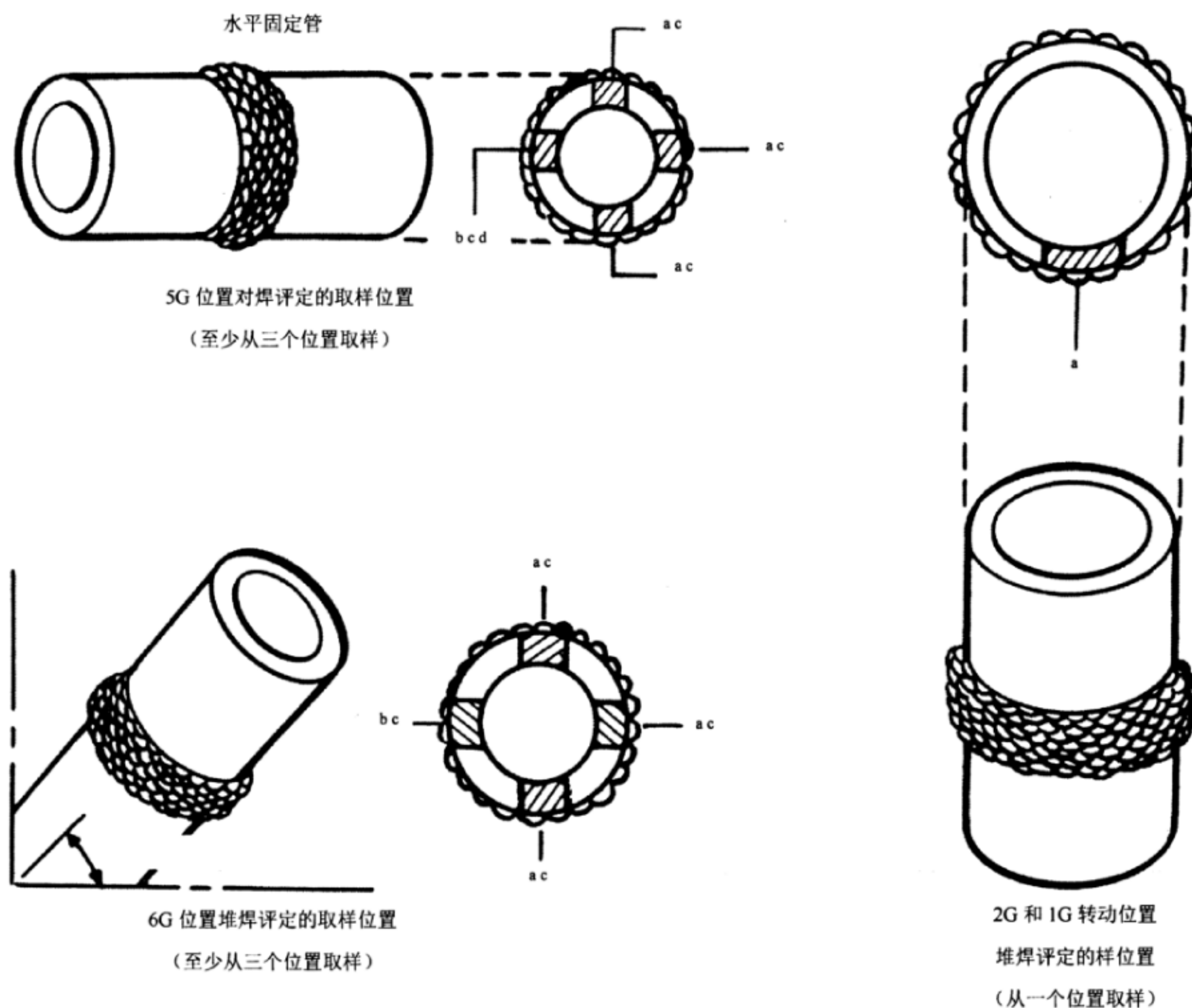
⁴ 遵守 7.2.3 中的工艺评定取样位置要求。

图6 耐蚀堆焊——管子的弯曲试样



^a 遵守 7.2.3 中的工艺评定取样位置要求。

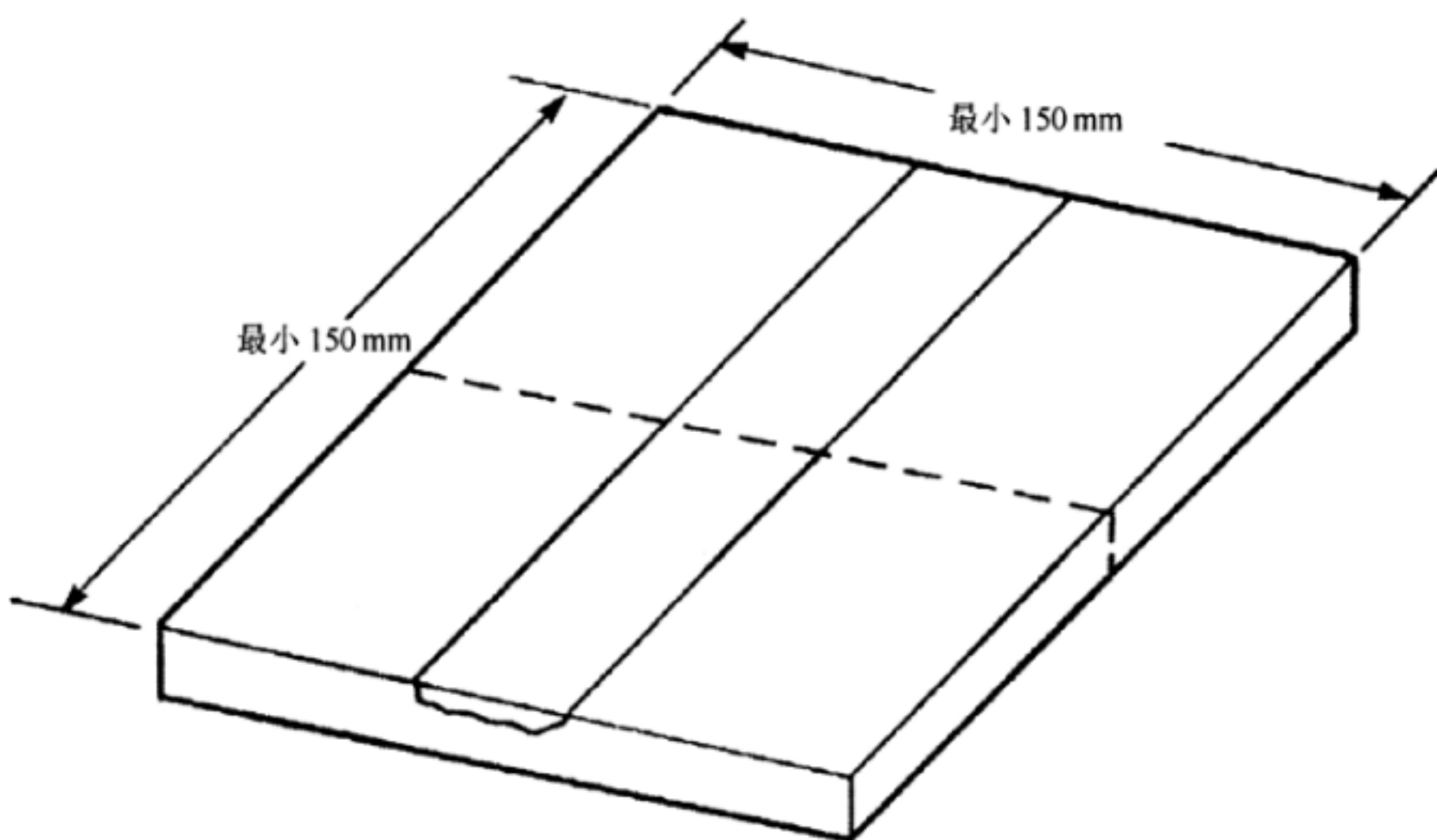
图7 耐蚀堆焊——板材的弯曲试样



注：堆焊可以在管的内表面或外表面。

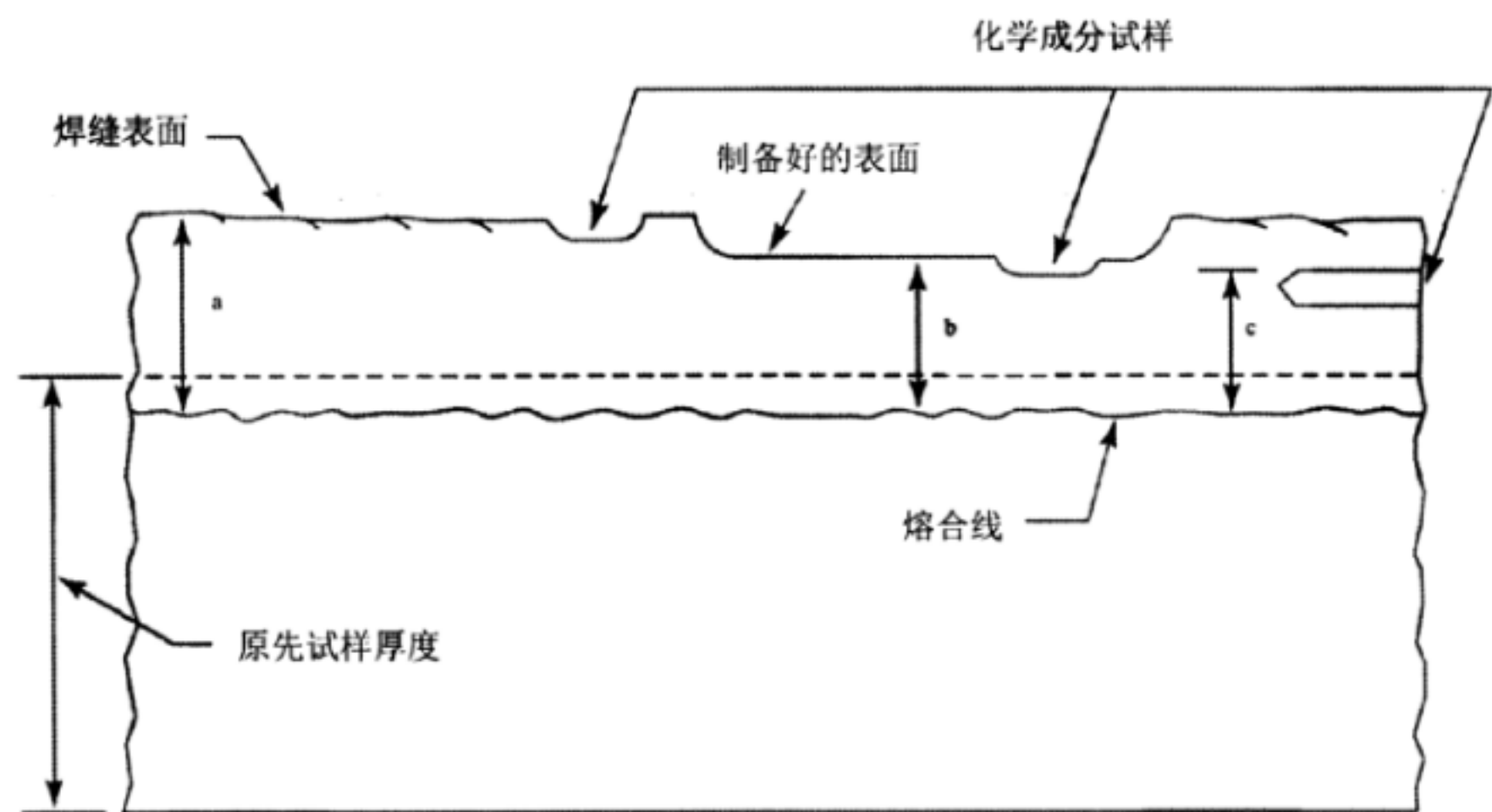
- ^b 7.2.3 要求的试样取样位置，对于化学成分、硬度试验的表面位置和评定的最小厚度参见图 10。
- ^c 对管子环向耐磨堆焊的工艺评定试件进行检测时，可仅限于一个以立向上焊接完成的扇形段，从该段取样作 7.2.3 要求的化学分析、硬度试验和宏观金相检验。要在从立向下转为立向上的焊接位置取样，反之则否。
- ^d 试样位置的角度范围按附录 C.1.2。
- ^e 当采用机械焊或自动焊进行堆焊，且相邻焊道交替变换垂直前进方向，则只需取一个代表垂直部分化学分析或硬度试验的试样。这种评定只限于生产中交替变换转动方向的堆焊。

图8 耐蚀堆焊/耐磨堆焊化学成分试样、宏观试验和耐磨堆焊硬度试验位置



注1：7.2.3要求的试样取样位置，对于化学成分、硬度试验的表面位置和评定的最小厚度参见图10。
注2：从垂直向上改为垂直向下和反之时要取样。

图9 耐蚀堆焊和耐磨堆焊试板的宏观、硬度和化学成分试样



- ^a 当在焊缝表面上进行化学分析或硬度试验时，从熔合线至最终焊态表面的距离应成为最小的堆焊层评定厚度，化学分析可以直接在焊缝表面上进行或从焊缝表面取的金属屑上进行。
- ^b 当化学分析或硬度试验在从焊缝表面切除金属的表面上进行时，从熔合线至制备好的表面的距离应成为最小的堆焊层评定厚度，化学分析可以直接在制备好的表面上进行或从制备表面取金属屑。
- ^c 当化学分析试验在水平钻取试样取的金属上进行时，从熔合线至钻孔孔穴最上边的距离应为最小的堆焊层评定厚度，化学分析应在钻孔孔穴取的金属屑上进行。

图10 耐蚀堆焊和耐磨堆焊焊缝金属化学成分分析和硬度试验试样

7.2.4 结果评定

7.2.4.1 液体渗透检验

对于耐蚀堆焊层，尺寸大于1.5 mm的为相关显示。以下相关显示为不合格：

- a) 线性显示；

- b) 直径大于 5 mm 的圆形显示;
- c) 在一条直线上, 边缘间距小于或等于 1.5 mm 的 4 个或 4 个以上的圆形显示;
- d) 凡在相关显示最密集部位的任意面积为 4000 mm² 其最大尺寸不大于 150 mm 的区域内, 有 10 个或更多相关显示。

对于耐磨堆焊层, 可按上述验收准则评定, 当焊接工艺规程中有专门要求时, 遵循其专门要求。允许在液体渗透检验前对表面进行修整。

7.2.4.2 弯曲试验

耐蚀堆焊层试件的侧弯试样在试验后, 在试样拉伸面的堆焊层上沿任何方向不得有单条长度大于 1.5 mm 的开口缺陷, 在熔合线内不得有单条长度大于 3 mm 的开口缺陷。试样的棱角开口缺陷一般不计, 但由未熔合、夹渣或其他内部缺陷引起的棱角开口缺陷应考虑。

7.2.4.3 硬度试验

硬度试验结果应满足有关技术文件规定。

7.2.4.4 金相试验

母材和热影响区应无裂纹、未熔合和其他线性缺陷。

7.2.4.5 化学分析

化学分析结果应满足有关技术文件规定。

7.3 评定的有效范围

7.3.1 厚度的有效范围

基材的评定厚度有效范围见表14。

表14 堆焊试件厚度适用于焊件厚度范围

试件基层厚度 <i>T</i>	适用于焊件基层厚度范围
<25	≥ <i>T</i> (对于耐蚀堆焊), <i>T</i> ~25 (对于耐磨堆焊)
≥25	≥25

7.3.2 各焊接方法的变素表

从一种焊接方法改变为另一种焊接方法是重要变素, 需要重新评定。
表15~表21给出了本部分适用的各种焊接方法的重要变素和非重要变素。
表中的符号含义如下:

- + : 增加 > : 提高/大于 ↑ : 向上 Φ : 改变
- : 减少 < : 降低/小于 ↓ : 向下

不能仅依据上述符号含义理解各个变素, 对于每个变素的详细描述见附录B。

表15 焊接工艺规程（WPS）变素 手工电弧焊（111）

节号		重要变素		非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	
B.2 接头	B.2.8	<堆完的 t	<堆完的 t	
B.3 母材	B.3.12	Φ P-No.	Φ P-No.	
	B.3.13	Φ 评定的 T	Φ 评定的 T	
B.4 填充金属	B.4.11	Φ 焊材型号		
	B.4.26		Φ A-No.	
	B.4.27			Φ 直径(第一层)
B.5 焊接位置	B.5.4	+焊接位置	+焊接位置	
B.6 预热	B.6.4	预热温度降低>55℃ >层间温度	预热温度降低>55℃ >层间温度	
B.7 焊后热处理	B.7.4	Φ 焊后热处理		
	B.7.6		Φ 焊后热处理	
B.9 电特性	B.9.4	Φ 电流或极性	Φ 电流或极性	
	B.9.11	第一层电流增加>10%	第一层电流增加>10%	
B.10 焊接技巧	B.10.1			Φ 直进/横摆
	B.10.3			Φ 清理方法
	B.10.19			\pm 锤击
	B.10.21	Φ 多层为单层	Φ 多层为单层	

表16 焊接工艺规程（WPS）变素 埋弧堆焊（12）

节号		重要变素		非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	
B.2 接头	B.2.8	<堆完的 t	<堆完的 t	
B.3 母材	B.3.12	Φ P-No.	Φ P-No.	
	B.3.13	Φ 评定的 T	Φ 评定的 T	
B.4 填充金属	B.4.6			Φ 焊丝的公称尺寸
	B.4.11	Φ 焊材型号		
	B.4.17	\pm 或 Φ 附加填充金属>10%	\pm 或 Φ 附加填充金属>10%	
	B.4.18	Φ 合金元素成分		
	B.4.26		Φ A-No.	
	B.4.28	Φ 焊剂的公称成分	Φ 焊剂的公称成分	
B.5 焊接位置	B.5.4	+焊接位置	+焊接位置	
B.6 预热	B.6.4	预热温度降低>55℃ >层间温度	预热温度降低>55℃ >层间温度	
B.7 焊后热处理	B.7.4	Φ 焊后热处理		
	B.7.6		Φ 焊后热处理	

表 16 （续）

节号		重要变素		非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	
B.9 电特性	B.9.4	Φ 电流或极性	Φ 电流或极性	
	B.9.15	第一层热输入增加>10%	第一层热输入增加>10%	
B.10 焊接技巧	B.10.1			Φ 直进/横摆
	B.10.3			Φ 清理方法
	B.10.5			Φ 摆动
	B.10.6			Φ 导电嘴到工件距离
	B.10.12			Φ 电极间距
	B.10.19			±锤击
	B.10.21	Φ 多层为单层	Φ 多层为单层	
	B.10.22		-辅助磁场装置	
	B.10.31	Φ 电极的数量	Φ 电极的数量	

表17 焊接工艺规程（WPS）变素熔化极气体保护焊(131,135,136,137)

节号		重要变素		非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	
B.2 接头	B.2.8	<堆完的 <i>t</i>	<堆完的 <i>t</i>	
B.3 母材	B.3.12	ΦP-No.	ΦP-No.	
	B.3.13	Φ 评定的 <i>T</i>	Φ 评定的 <i>T</i>	
B.4 填充金属	B.4.6			Φ 焊丝的公称尺寸
	B.4.11	Φ 焊材型号		
	B.4.16	Φ 填充金属产品形式	Φ 填充金属产品形式	
	B.4.17	±或 Φ 附加填充金属>10%	±或 Φ 附加填充金属>10%	
	B.4.18	Φ 合金元素成分		
	B.4.26		ΦA-No.	
B.5 焊接位置	B.5.4	+焊接位置	+焊接位置	
B.6 预热	B.6.4	预热温度降低>55℃ >层间温度	预热温度降低>55℃ >层间温度	
B.7 焊后热处理	B.7.4	Φ 焊后热处理		
	B.7.6		Φ 焊后热处理	
B.8 气体	B.8.2	Φ 单一气体、混合气体或组成	Φ 单一气体、混合气体或组成	
	B.8.3			Φ 气体流量
B.9 电特性	B.9.4	Φ 电流或极性	Φ 电流或极性	
	B.9.15	第一层热输入增加>10%	第一层热输入增加>10%	

表 17 (续)

节号		重要变素		非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	
B.10 焊接技巧	B.10.1			Φ 直进/横摆
	B.10.2			Φ 喷孔、喷嘴尺寸
	B.10.3			Φ 清理方法
	B.10.5			Φ 摆动
	B.10.6			Φ 导电嘴到工件距离
	B.10.18			Φ 半自动或自动
	B.10.19			±锤击
	B.10.21	Φ 多层为单层	Φ 多层为单层	
	B.10.31	Φ 电极的数量	Φ 电极的数量	

表18 焊接工艺规程 (WPS) 变素 钨极气体保护焊 (141)

节号		重要变素		非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	
B.2 接头	B.2.8	<堆完的 t	<堆完的 t	
B.3 母材	B.3.12	ΦP-No.	ΦP-No.	
	B.3.13	Φ 评定的 T	Φ 评定的 T	
B.4 填充金属	B.4.3			Φ 焊丝的尺寸
	B.4.11	Φ 焊材型号		
	B.4.12	±填充金属	±填充金属	
	B.4.16	Φ 填充金属产品形式	Φ 填充金属产品形式	
	B.4.26		ΦA-No.	
B.5 焊接位置	B.5.4	+焊接位置	+焊接位置	
B.6 预热	B.6.4	预热温度降低>55℃ >层间温度	预热温度降低>55℃ >层间温度	
B.7 焊后热处理	B.7.4	Φ 焊后热处理	Φ 焊后热处理	
B.8 气体	B.8.2	Φ 单一气体、混合气体或组成	Φ 单一气体、混合气体或组成	
	B.8.3			Φ 气体流量
B.9 电特性	B.9.4	Φ 电流或极性	Φ 电流或极性	
	B.9.8			Φ 钨极
	B.9.15	第一层热输入增加>10%	第一层热输入增加>10%	

表 18 (续)

节号		重要变素		非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	
B.10 焊接技巧	B.10.1			Φ 直进/横摆
	B.10.2			Φ 喷孔、喷嘴尺寸
	B.10.3			Φ 清理方法
	B.10.5			Φ 摆动
	B.10.12			Φ 电极间距
	B.10.18			Φ 半自动或自动
	B.10.19			±锤击
	B.10.21	Φ 多层为单层	Φ 多层为单层	
	B.10.31	Φ 电极的数量	Φ 电极的数量	
	B.10.32			Φ 填充丝送进方式

表19 焊接工艺规程 (WPS) 变素 等离子弧焊 (15)

节号		重要变素			非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	喷熔耐磨堆焊	
B.2 接头	B.2.8	<堆完的 t	<堆完的 t		
	B.2.9			>堆完的 t	
B.3 母材	B.3.12	ΦP-No.	ΦP-No.		
	B.3.13	Φ 评定的 T	Φ 评定的 T		
B.4 填充金属	B.4.11	Φ 焊材型号			
	B.4.12	±填充金属	±填充金属		
	B.4.16	Φ 评定的 T	Φ 评定的 T		
	B.4.26		ΦA-No.		
	B.4.29	Φ 送粉速度>10%	Φ 送粉速度>10%		
	B.4.30			Φ 粉末粒度>5%	
	B.4.31	Φ 金属粒度	Φ 金属粒度		
	B.4.32	Φ 粉状/粒状金属类型	Φ 粉状/粒状金属类型		
	B.4.33	Φ 填充金属类型	Φ 填充金属类型		
	B.4.34			Φ 送粉速率	
B.5 焊接位置	B.5.4	+焊接位置	+焊接位置	+焊接位置	
B.6 预热	B.6.4	预热温度降低>55℃ >层间温度	预热温度降低>55℃ >层间温度	预热温度降低>55℃ >层间温度	
	B.6.5			Φ 预热保持时间	

表 19 (续)

节号		重要变素			非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	喷熔耐磨堆焊	
B.7 焊后热处理	B.7.4	Φ 焊后热处理		Φ 焊后热处理	
	B.7.5			Φ 喷熔后的焊后热处理	
	B.7.6		Φ 焊后热处理		
B.8 气体	B.8.1			Φ 尾部保护气或 Φ 组成	
	B.8.12	Φ 供气或供粉气>5%	Φ 供气或供粉气>5%	Φ 供气或供粉气>5%	
	B.8.13	Φ 气体类型或混合比	Φ 气体类型或混合比		
	B.8.14	Φ 气体混合比>10%	Φ 气体混合比>10%		
	B.8.15			Φ 等离子气或送粉气成分	
	B.8.16			Φ 等离子气流量范围	
B.9 电特性	B.9.4	Φ 电流或极性	Φ 电流或极性		
	B.9.8			Φ 钨极	
	B.9.15	第一层热输入增加>10%	第一层热输入增加>10%		
B.10 焊接技巧	B.10.1				Φ 直进/横摆
	B.10.2				Φ 喷孔、喷嘴尺寸
	B.10.3				Φ 清理方法
	B.10.5				Φ 摆动
	B.10.18				Φ 半自动或自动
	B.10.19				±锤击
	B.10.21	Φ 多层为单层	Φ 多层为单层	Φ 多层为单层	
	B.10.23	Φ 焊速>15%	Φ 焊速>15%		
	B.10.24			Φ 速度范围>10%	
	B.10.25			Φ 喷炬到工件距离>15%	
	B.10.26			Φ 表面制备方法	
	B.10.27			Φ 喷火型号	
	B.10.28			Φ 熔化温度>10%或 Φ 熔化方法	
	B.10.29	Φ 电弧过渡方式	Φ 电弧过渡方式	Φ 电弧过渡方式	
	B.10.30	Φ 嘴孔直径	Φ 嘴孔直径		
	B.10.32	Φ 填充丝送进方式	Φ 填充丝送进方式		

表20 焊接工艺规程（WPS）变素 激光焊(52)

节号		重要变素		非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	
B.2 接头	B.2.8	<堆完的 t	<堆完的 t	
B.3 母材	B.3.12	ΦP-No.	ΦP-No.	
B.4 填充金属	B.4.11	Φ 焊材型号	Φ 焊材型号	
	B.4.18	Φ 合金元素成分	Φ 合金元素成分	
	B.4.32	Φ 粉状/粒状金属类型	Φ 粉状/粒状金属类型	
	B.4.35	Φ 填充金属或 Φ 粉状金属尺寸	Φ 填充金属或 Φ 粉状金属尺寸	
	B.4.36	Φ 金属粉密度	Φ 金属粉密度	
	B.4.37	Φ 填充金属或金属粉的供给速度	Φ 填充金属或金属粉的供给速度	
B.5 焊接位置	B.5.1	+焊接位置	+焊接位置	
B.6 预热	B.6.4	预热温度降低>55℃ >层间温度	预热温度降低>55℃ >层间温度	
B.7 焊后热处理	B.7.4	Φ 焊后热处理	Φ 焊后热处理	
	B.7.6	Φ 焊后热处理	Φ 焊后热处理	
B.8 气体	B.8.2	Φ 单一气体、混合气体或组成	Φ 单一气体、混合气体或组成	
	B.8.6	Φ 保护环境	Φ 保护环境	
	B.8.9	±保护气	±保护气	
	B.8.10	Φ 保护气流量>5%	Φ 保护气流量>5%	
	B.8.11	Φ 吹除等离子气喷嘴位置	Φ 吹除等离子气喷嘴位置	
B.9 电特性	B.9.9	Φ 脉冲	Φ 脉冲	
	B.9.10	Φ 操作模式、能量	Φ 操作模式、能量	
	B.9.11	Φ 功率、速度、尺寸、距离	Φ 功率、速度、尺寸、距离	
B.10 焊接技巧	B.10.3			Φ 清理方法
	B.10.5	Φ 摆动		
	B.10.11	Φ 射束轴角度线	Φ 射束轴角度线	
	B.10.13	Φ 焊接设备类型	Φ 焊接设备类型	
	B.10.21	Φ 多层为单层	Φ 多层为单层	
	B.10.26	Φ 表面制备方法	Φ 表面制备方法	
	B.10.32	Φ 填充丝送进方式	Φ 填充丝送进方式	
	B.10.33	Φ 焊道中心距	Φ 焊道中心距	

表21 焊接工艺规程（WPS）变素 电渣堆焊(72)

节号		重要变素		非重要变素
		耐磨堆焊	耐蚀堆焊	
B.2 接头	B.2.8	<堆完的 t	<堆完的 t	
B.3 母材	B.3.12	Φ P-No.	Φ P-No.	
	B.3.13	Φ 评定的 T	Φ 评定的 T	
B.4 填充金属	B.4.6			Φ 直径
	B.4.11	Φ 焊材型号		
	B.4.17	\pm 或 Φ 附加填充金属>10%	\pm 或 Φ 附加填充金属>10%	
	B.4.26		Φ A-No.	
	B.4.28	Φ 焊剂的公称成分	Φ 焊剂的公称成分	
B.6 预热	B.6.4	预热温度降低>55℃ >层间温度	预热温度降低>55℃ >层间温度	
B.7 焊后热处理	B.7.4	Φ 焊后热处理		
	B.7.6		Φ 焊后热处理	
B.9 电特性	B.9.4	Φ 电流或极性	Φ 电流或极性	
	B.9.16	第一层电流增加>10%	第一层电流增加>10%	
B.10 焊接技巧	B.10.3			Φ 清理方法
	B.10.5			Φ 摆动
	B.10.21	Φ 多层为单层	Φ 多层为单层	
	B.10.22	-辅助磁场装置	-辅助磁场装置	
	B.10.31	Φ 电极的数量	Φ 电极的数量	

8 换热管与管板焊缝

8.1 评定试件的制备

每个工艺评定应焊接10个换热管-管板接头。评定试件的结构、形式应与实际产品相同，允许存在符合8.3的尺寸变化。当产品厚度小于50 mm时，则评定件管板的厚度应为产品厚度，并可使用化学成分相当的材料代表产品管板的堆焊层。

8.2 评定试件的检验

8.2.1 目视检验

焊缝可达的表面应按NB/T 20003进行目视检验。结果应无未熔合、管壁烧穿、裂纹和气孔。

8.2.2 液体渗透检验

焊缝应按NB/T 20328进行液体渗透检验。
尺寸大于1.5 mm的为相关显示，以下相关显示为不合格：
a) 线性显示；

- b) 直径大于 5 mm 的圆形显示;
- c) 在一条直线上, 边缘间距小于或等于 1.5 mm 的 4 个或 4 个以上的圆形显示;
- d) 在与受评定的显示有关的最不利的部位上, 任取一个面积为 4000 mm² 且其主要尺寸不超过 150 mm 的区域, 在这个区域内有 10 个或 10 个以上的圆形显示。

8.2.3 金相检验

在每根管子上, 通过最终焊道的搭接面截取径向切片, 对切开后形成的4个剖面按按GB/T 226进行金相检验, 放大倍数为10×-20×。结果应满足:

- a) 焊缝的最小泄漏路径不小于规定换热管壁厚的 2/3;
- b) 无裂纹;
- c) 焊缝金属与管板、换热管之间无未熔合;
- d) 根部焊缝熔透不小于 0.4mm;
- e) 焊喉尺寸减去气孔尺寸不小于规定换热管壁厚的 2/3。

8.3 评定的有效范围

8.3.1 适用于全部焊接方法的重要变素如下:

- a) 改变焊接方法;
- b) (超过制造公差)改变焊接接头结构。如增加或取消预置的填充金属、增加坡口深度、减小坡口角度或改变坡口型式;
- c) 换热管公称壁厚小于或等于 2.5 mm 时, 壁厚增加或减少 10%或更多; 换热管公称壁厚大于 2.5 mm 时, 可覆盖所有大于 2.5 mm 的产品换热管壁厚;
- d) 换热管公称壁厚小于或等于 2.5 mm, 公称直径等于或小于 50 mm 时, 公称直径减小 10%或更多; 公称直径大于 50 mm 时, 评定覆盖的最小公称直径为 50 mm。换热管公称壁厚大于 2.5 mm 时, 公称直径不是重要变素;
- e) 当管孔间孔带宽度小于 10 mm 或 3 倍换热管公称壁厚中的较大者时, 孔带宽度减小 10%或更多。
- f) 从多道焊改为单道焊, 或相反;
- g) 改变评定的焊接位置(见附录 C);
- h) 由向上立焊改为向下立焊, 或相反;
- i) 换热管或管板母材(如管板材料熔入接头)P-No 的改变, 管板堆焊层材料(如堆焊层材料熔入接头)的 P-No.或 A-No.的改变, 或者当无对应 P-No.或 A-No 时堆焊层材料的改变;
- j) 如果使用填充金属, 熔敷金属 A-No 的改变, 或者当无对应 A-No 时熔敷金属公称化学成分的改变;
- k) 预热温度比评定的低 55 °C 以上, 或道间温度比评定的高 55 °C 以上;
- l) 增加或取消焊后热处理;
- m) 电流比评定的增加或减少超过 10%;
- n) 改变电流极性或类型(AC 和 DC);
- o) 焊接方法自动化程度(手工、半自动、机械或自动)的改变;
- p) 增加焊前胀管工艺;
- q) 改变焊前清理方法。

8.3.2 适用于焊条电弧焊(111)的其他重要变素如下:

- a) 增加焊条直径;
- b) 改变焊条 F-No.。

8.3.3 适用于钨极气体保护焊(141)、等离子弧焊(15)和熔化极气体保护焊(131, 135)的其他重要变素如下:

- a) 改变预置的可熔嵌条的形状或尺寸;
- b) 从一种单一保护气体改变为另一种单一保护气体; 从一种单一保护气体改变为混合保护气体, 或相反;
- c) 使用混合保护气体时, 组分最小气体的流量变化大于或等于 $\pm 25\%$ 或 2.5 L/min 中的较大者;
- d) 对于 141 或 15 焊接方法, 增加或取消填充金属;
- e) 对于 141 或 15 焊接方法, 改变填充金属或焊丝的公称直径;
- f) 取消辅助气体保护;
- g) 改变填充金属或焊丝的 F-No.。

9 回火焊道

9.1 已有的评定和回火焊道升级评定

用于对接焊缝或角焊缝的回火焊道焊接工艺规程, 应满足第5章关于对接焊缝的评定要求, 或6.1关于带隔离层的焊缝的评定要求。用于堆焊层的回火焊道焊接工艺规程, 应通过第7章关于堆焊层的评定要求。

满足上述要求后, 可使用该焊接工艺规程, 包括相同的重要变素和附加重要变素(当对冲击韧性有要求时), 制备一个回火焊道评定试件, 其长度应足以获得要求的试样。对接焊缝评定/带隔离层的焊缝评定/堆焊层评定也可与回火焊道评定一同在一个试件上进行。

对于已评定合格的回火焊道工艺规程, 如果一个或多个回火焊道重要变素发生改变, 仅需使用相同的重要变素和附加重要变素(当对冲击韧性有要求时), 和新的回火焊道重要变素, 制备一个补充试件, 其长度应足以获得要求的回火焊道试样。

9.2 对焊接方法的限制

回火焊道焊接方法仅允许使用焊条电弧焊(111)、钨极惰性气体保护电弧焊(141)、埋弧焊(12)、熔化极惰性或非惰性气体保护电弧焊(131, 135)、惰性或非惰性气体保护的药芯焊丝电弧焊(137, 136)和等离子弧焊(15)。除了单面焊的根部焊道打底外, 禁止使用手工和半自动的141和15。

9.3 回火焊道工艺评定的变素

表22规定了回火焊道的重要变素和非重要变素。这些变素是对对接焊缝、带隔离层的焊缝或者堆焊层焊接工艺评定的焊接变素的补充。当两者不一致时, 应以表22的规定为准。

当规定合格标准基于冲击试验时, 应使用"冲击试验重要变素"栏, 否则应使用"硬度试验重要变素"栏。"非重要变素"栏适用于所有情况。

表22 回火焊道工艺评定的变素

节	号	变素简述	硬度试验 重要变素	冲击试验 重要变素	非重要变素
B.2 接头	B.2.11	+流体衬垫	X		
	B.2.12	+流体衬垫		X	
B.3 母材	B.3.14	ϕ P-No. 或 Gr. No.		X	
	B.3.15	>碳当量	X		
	B.3.16	>T	X		
B.4 填充金属	B.4.39	储存条件			X
	B.4.40	扩散氢等级			X
B.6 预热	B.6.6	>层间温度		X	
	B.6.7	<预热温度	X		
	B.6.8	预热保温时间			X
	B.6.9	焊后消氢时间			X
B.8 气体	B.8.18	保护气湿气含量			X
B.9 电特性	B.9.7	ϕ 热输入率	X	X	
B.10 焊接技巧	B.10.8	ϕ 单电极为多电极	X	X	
	B.10.34	-表面回火焊道	X	X	
	B.10.35	ϕ 焊接类型	X	X	
	B.10.36	+表面热制备	X	X	
	B.10.37	表面焊道布置	X	X	
	B.10.38	表面焊道的去除方法			X
	B.10.39	焊道搭接宽度	X	X	
	B.10.41	±打磨	X	X	

全焊透对接焊缝试件可评定全焊透和部分焊透对接焊缝、角焊缝和同质堆焊。部分焊透对接焊缝试件可评定部分焊透对接焊缝、角焊缝和同质堆焊。堆焊层试件仅评定堆焊层焊缝。

9.4 试件的制备和试验

9.4.1 试件的制备

要求如下：

- 只要可取出要求的试样，试件可为任何形状。试件应包括对接焊缝、堆焊层或其他适用结构和回火补焊用凹槽。在垂直于焊接方向上，凹槽边缘距离试件边缘的距离应至少为 75 mm。凹槽深度应至少可熔敷两层焊缝金属，其中一层可为表面回火焊道，凹槽深度应足以取得要求的试样。
- 工艺评定试件母材至少应与被返修产品母材经受相同的热处理温度和时间；
- 试件应按 5.6.2 进行弯曲试验；
- 当要求进行硬度试验或无明确试验要求，应进行硬度试验。

9.4.2 硬度试验

硬度试验方法应满足 NB/T 20004—2014 的第 11 章，采用 HV10，测点间距不大于 0.25mm，要求：

- 在填充层上至少有 2 个测点；

- b) 测点经过所有回火焊道;
- c) 测点经过热影响区;
- d) 在未受影响的母材上至少有 2 个测点。

测点位于试件半厚度处和母材表面下 1 mm 处的直线上,对于单面焊全焊透对接焊缝,还包括距离背面 1.5 mm 处的直线。为满足要求的间距且避免测点压痕的干涉,热影响区的硬度测点可偏离直线。

硬度测量结果应不超过设计规定范围。无规定时,应报告硬度数据。

9.4.3 冲击试验

当要求时,应进行夏比 V 形缺口冲击试验。试验范围(即焊缝金属、热影响区和未受影响的母材)、试验温度和合格标准应符合第 5 章或设计规定。焊缝金属和热影响区的冲击试样应尽可能取自焊缝金属的一半厚度处。热影响区试样的取向应使其缺口下包括尽可能多的热影响区。冲击试样和试验方法应符合 NB/T 20004—2014 第 5 章的要求,并使用能从试件上取得的最大尺寸试样,试样缺口根部近似垂直于试件表面。当一套冲击试样不能包括每种焊接方法或变素组合的焊缝金属和热影响区时,应取多套试样进行试验。

附录 A
(规范性附录)
破坏性试验

A.1 范围

本附录规定了拉伸试验和弯曲试验的要求。

试样应包括试件使用的所有焊接方法和填充材料。

图中有关尺寸的符号含义如下：

x ：包括焊缝余高的试件厚度。

y ：试样厚度。

T ：不包括焊缝余高的试件厚度。

W ：试样宽度，19 mm。

A.2 拉伸试验

A.2.1 试样取样

厚度不大于25 mm时，采用全厚度试样进行试验。试样厚度应等于或接近试件母材厚度；

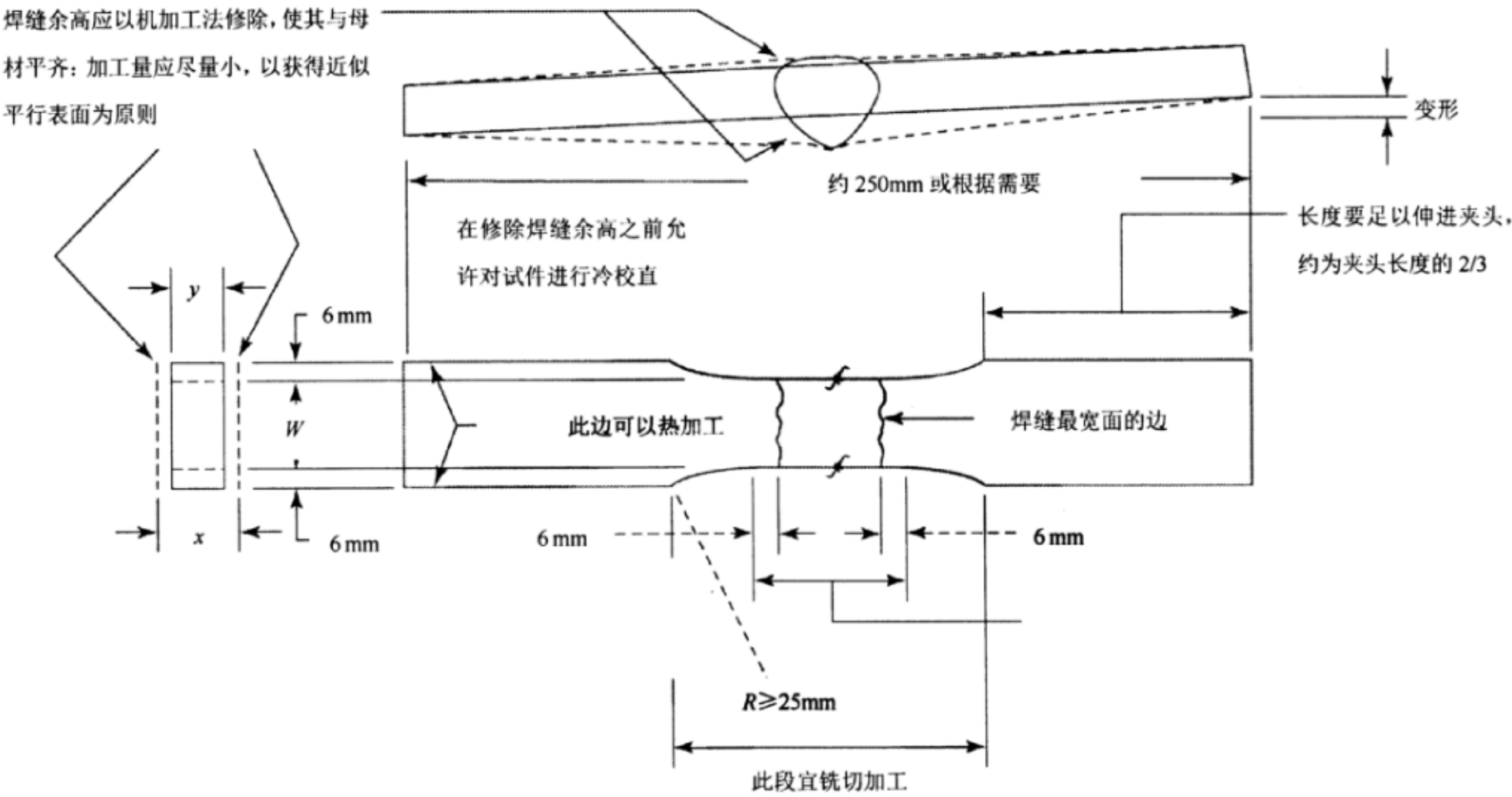
厚度大于25 mm时，可采用全厚度试样，或当试验机受能力限制不能进行全厚度的拉伸试验时，使用多个试样。此时，应将试件在厚度方向上均匀分层取样，等分后制取试样厚度应接近试验机所能试验的最大厚度。等分后的两片或多片试样试验代替一个全厚度试样的试验，每个试样都应符合拉伸试验合格标准。

A.2.2 试样形式

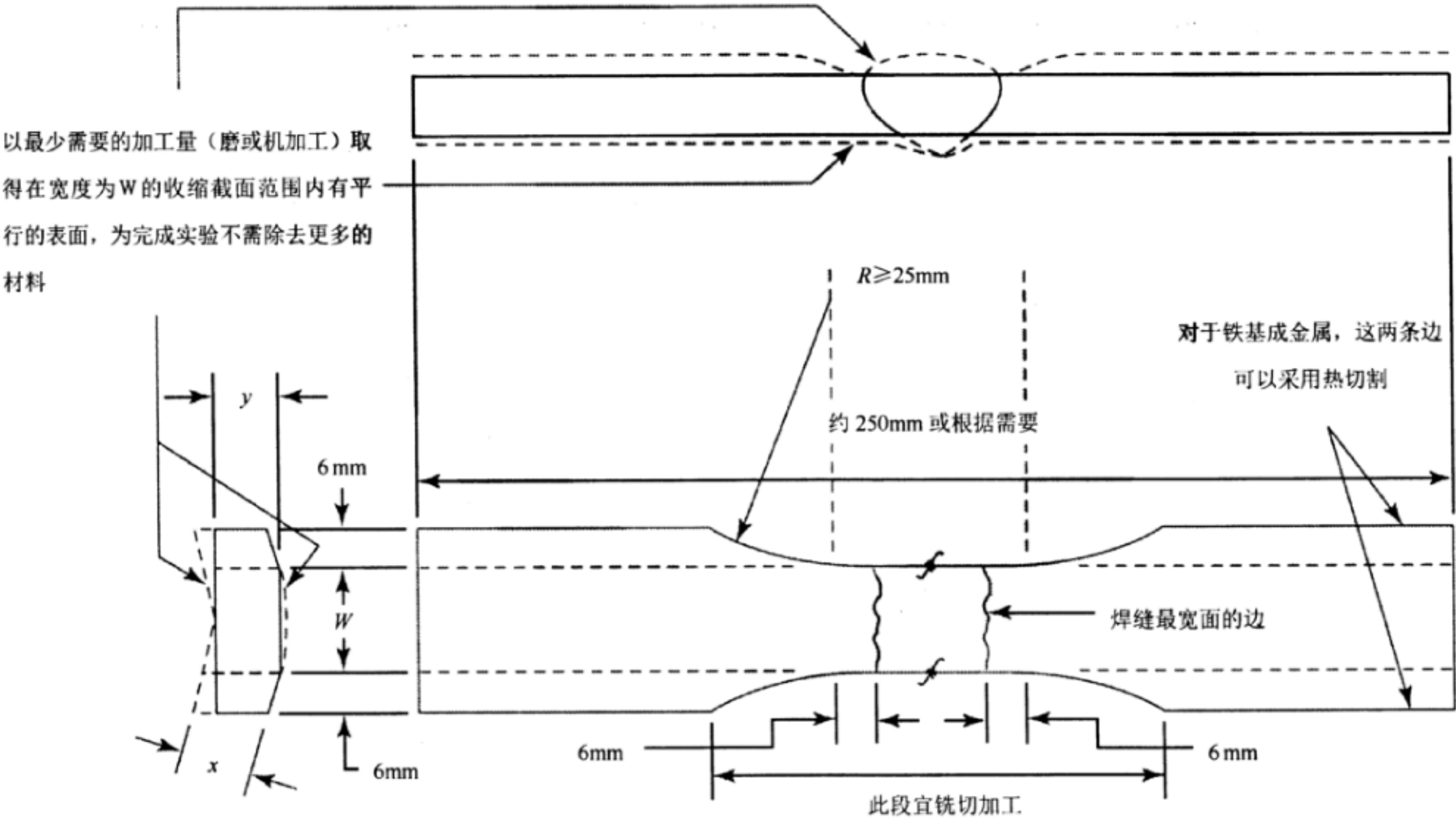
板状试件的拉伸试样应符合图A.1的规定。

外径大于75 mm的管子试件的拉伸试样应符合图A.2的规定。

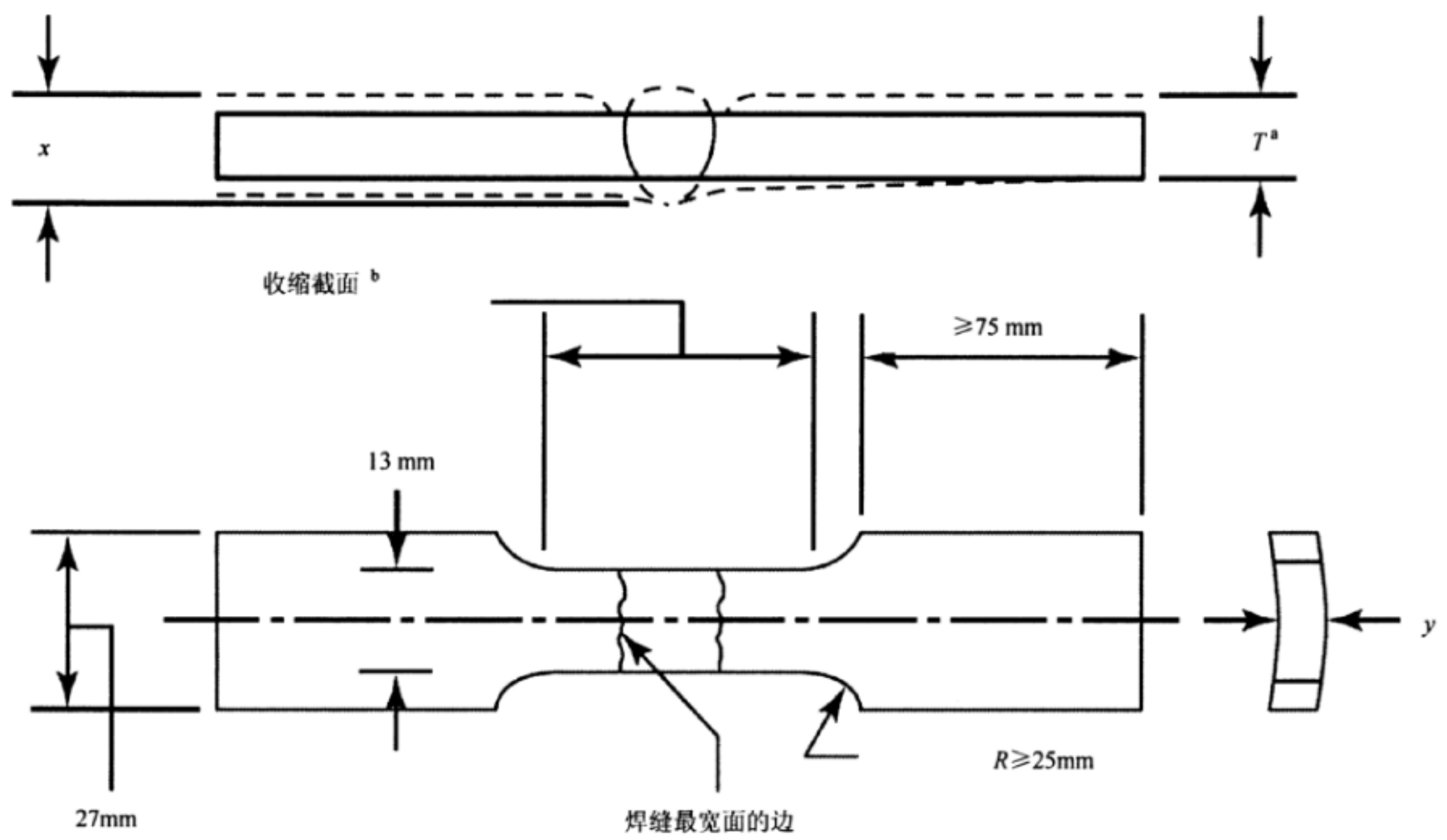
外径不大于75 mm的管子试件的拉伸试样，可符合图A.3的规定，或使用图A.4规定的全截面拉伸试样。



图A. 1 横向拉伸试样-板



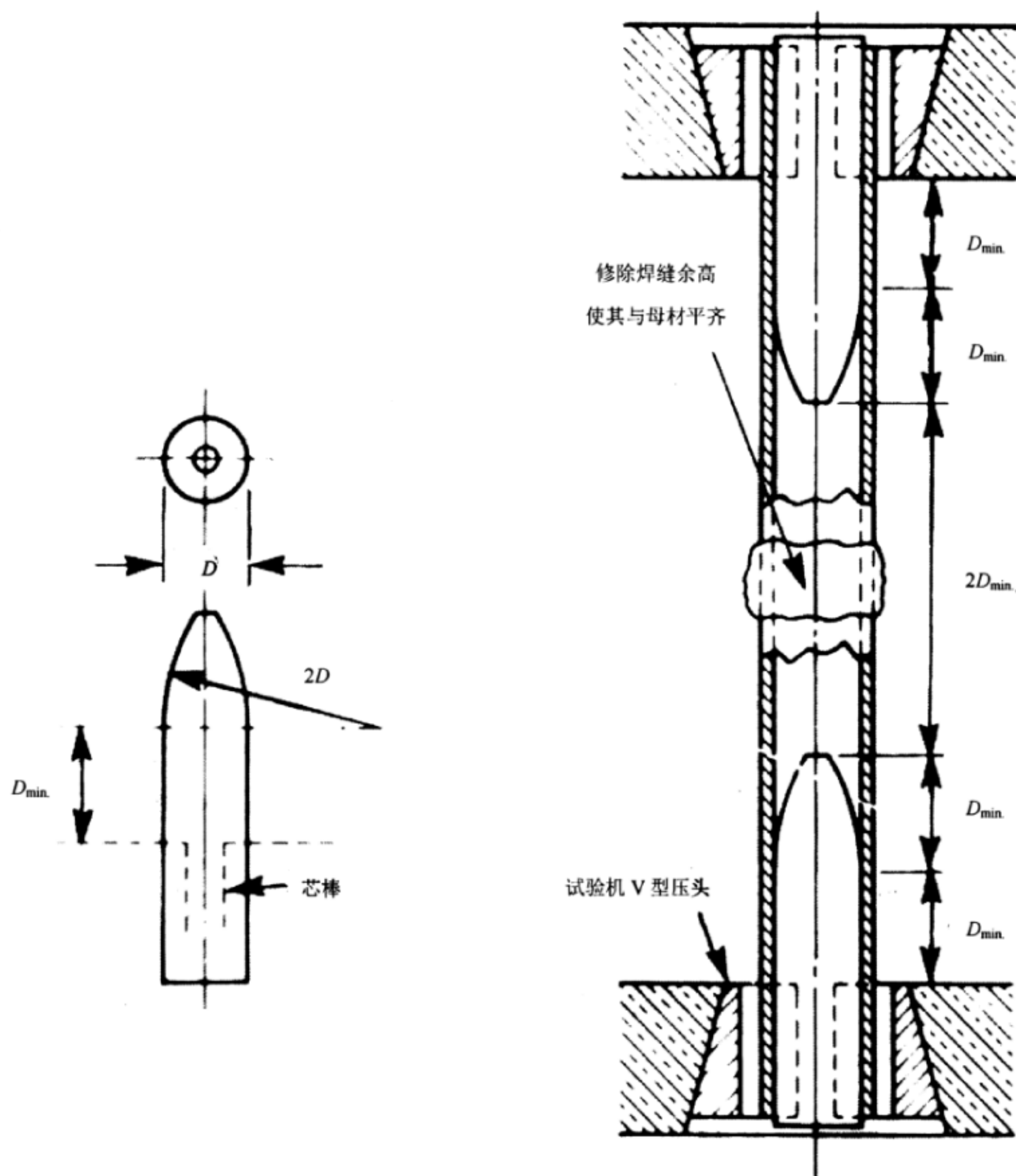
图A. 2 缩截面拉伸试样-管子



^a 对焊缝余高进行打磨或机加工，使焊缝厚度不超过母材厚度 T ，应以最小的加工量获得大致平行的表面。

^b 收缩段长度应不短于焊缝宽度加 $2y$ 。

图A.3 缩截面拉伸试样-管子的另一种试样



图A.4 缩截面拉伸试样-小直径管

A. 2.3 试验方法

拉伸试验应符合NB/T 20004—2014第4章的规定。

A. 3 弯曲试验

A. 3.1 试样

弯曲试验的试样应从板或管试件上切取，试样的横截面近似为矩形。切割面为侧面，另外两个面为正面和背面。正面具有较大的焊缝宽度。试样的厚度和弯曲半径应符合表A.1的要求。

表 A.1 弯曲试验条件及参数

单位为毫米

材料	试样厚度 t	压头直径 D	支撑辊间距离	弯曲角度
P-No.11	10	66	89	180°
	<10	$6.6t$	$8.6t+3$	
钢(除P-No.11)延伸率 $\geq 20\%$	10	40	63	
	<10	$4t$	$6t+3$	
钢(除P-No.11)延伸率<20%	t	$100t/(A-t)$	$D+2t+1.5$	

注：A为断后延伸率的规定值下限值乘以100。

A.3.2 试样形式

横向侧弯试样应符合图A.5的规定。

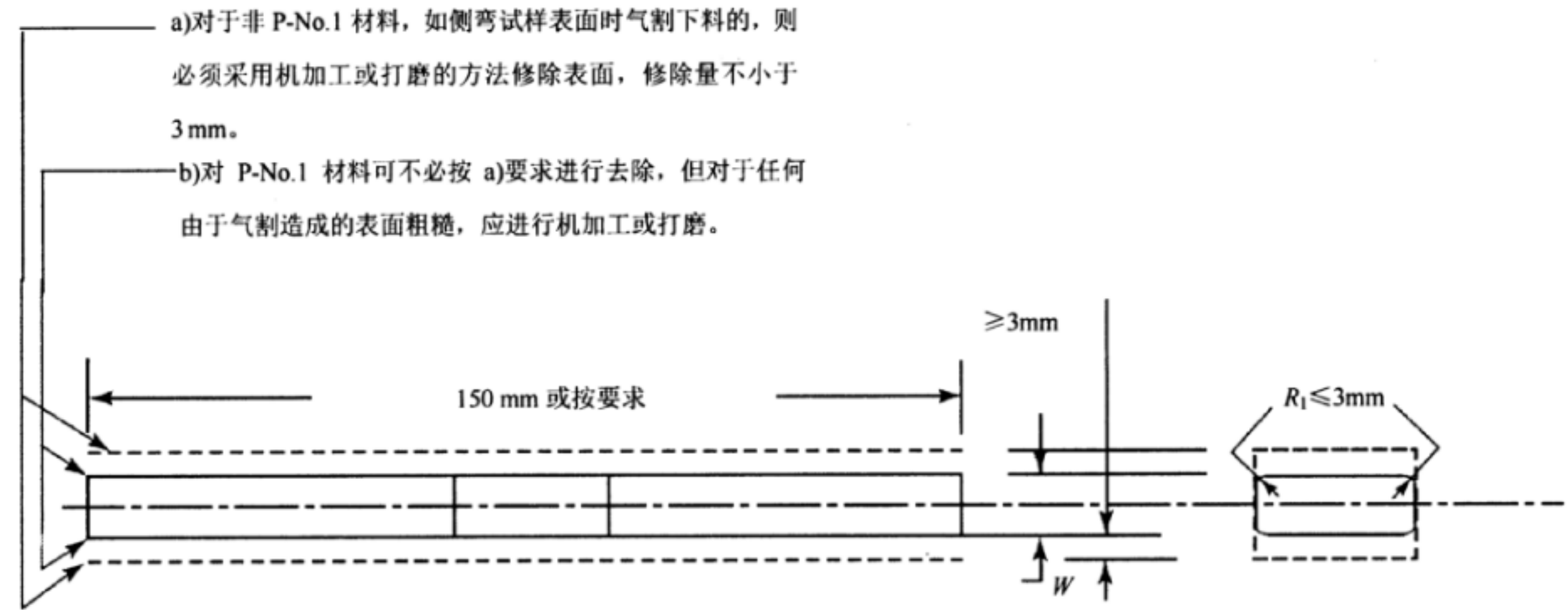
横向面弯试样应符合图A.6的规定。对于小口径管子，可按图A.6注2的规定使用小尺寸试样。

横向背弯试样应符合图A.6的规定。对于小口径管子，可按图A.6注2的规定使用小尺寸试样。

当两种母材之间或焊缝金属与母材之间的弯曲性能存在显著差异时，可使用纵向弯曲试验代替横向面弯、背弯或侧弯试验。

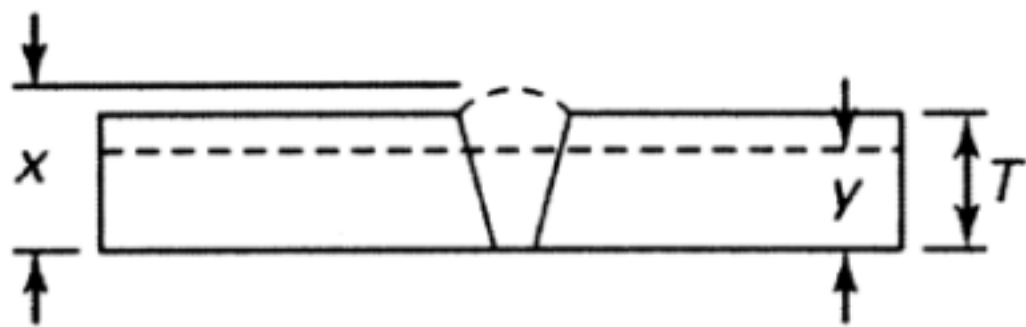
纵向面弯试样应符合图A.7的规定。

纵向背弯试样应符合图A.7的规定。



单位为毫米

T	y	W	
		P-No.23,F-No.23,P-NO.35	其他材料
$10 \leq T < 38$	T^a	3	10
≥ 38	— a,b		

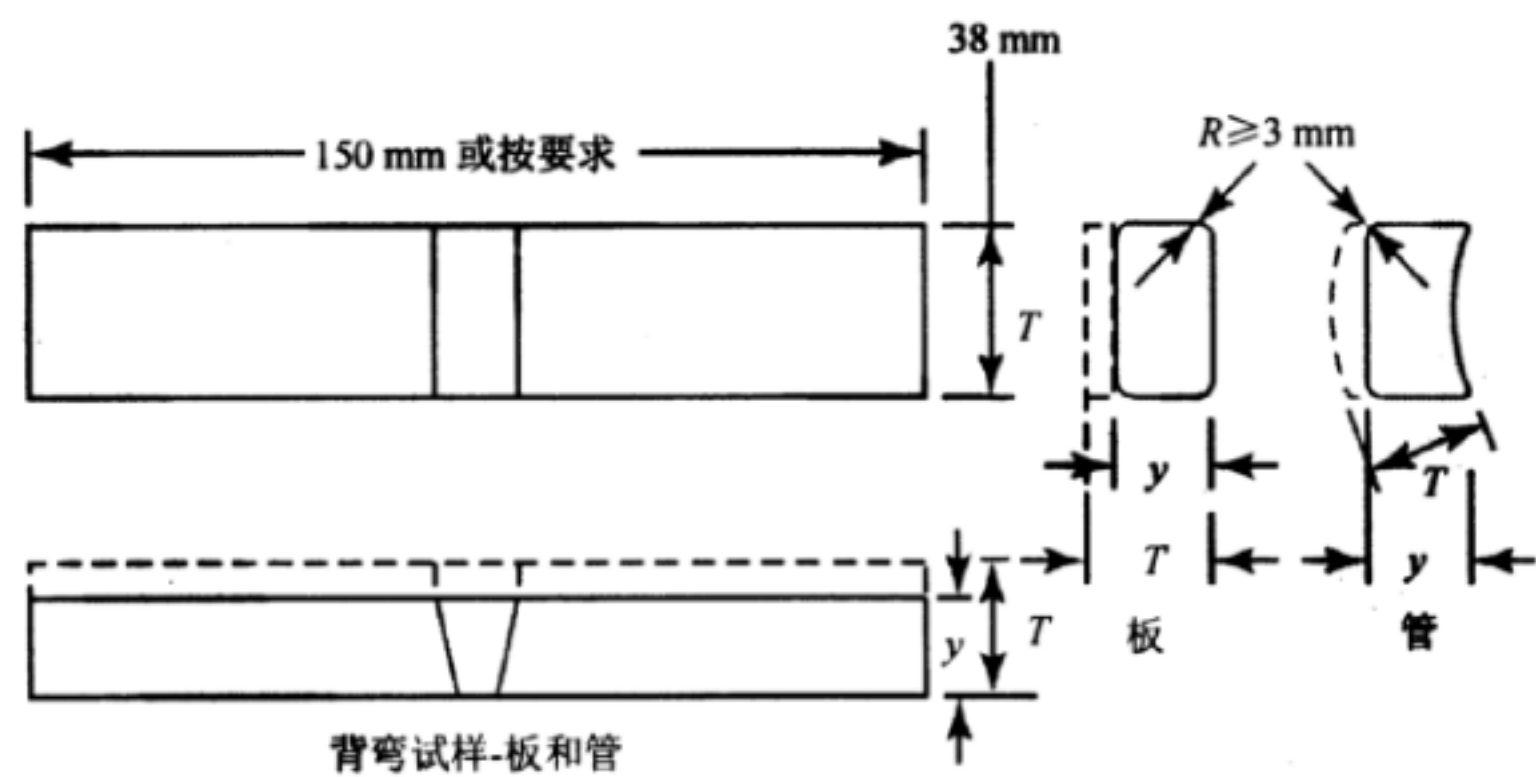
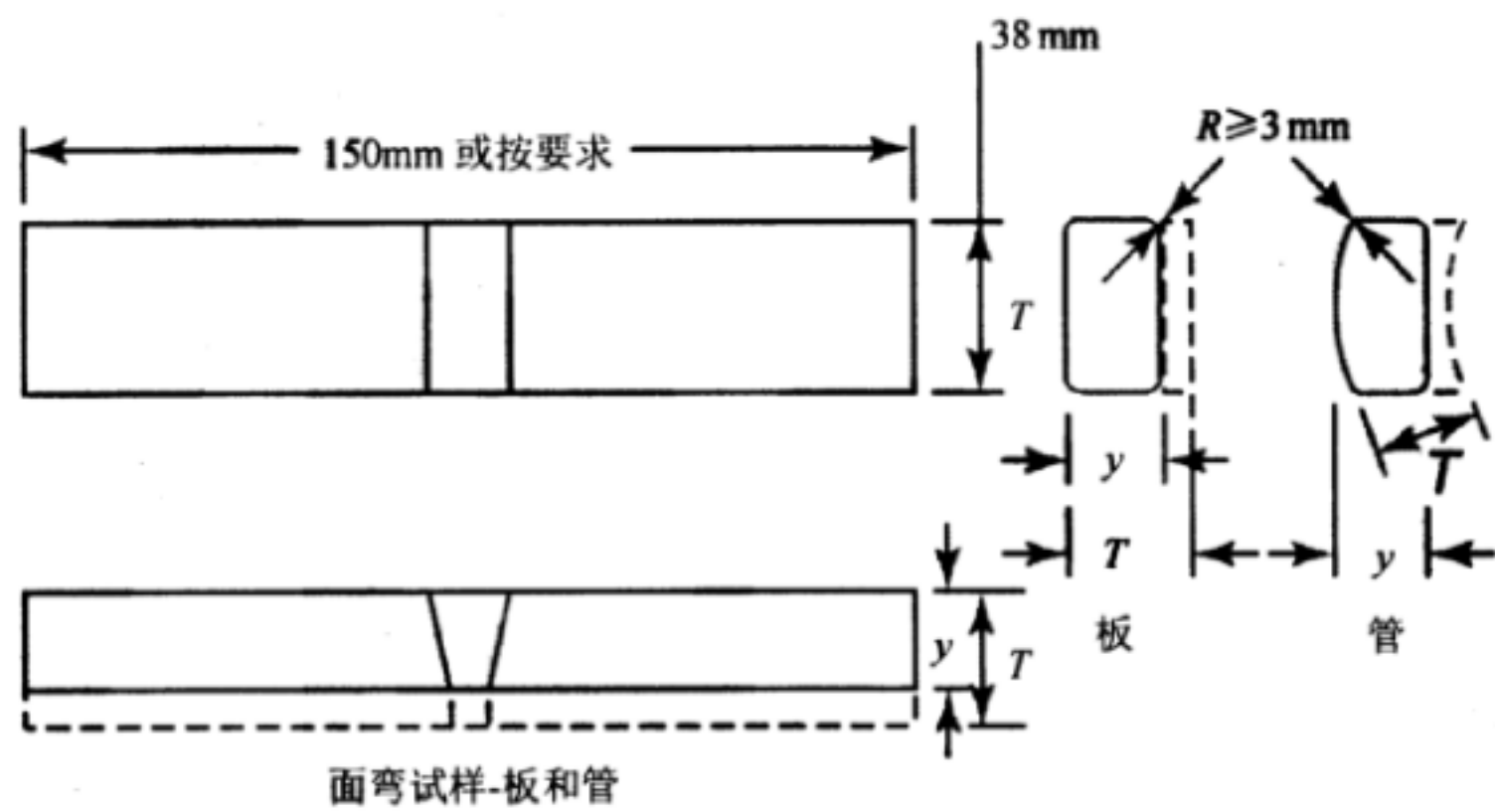


注：若存在焊缝余高、垫板或垫圈，可以采用机加工或打磨的方法进行去除。去除余高之前，允许采用冷校直。

^a 当焊缝金属厚度 t 小于试样厚度时，横向侧弯试样宽度可以是 t 。

^b 横向侧弯试样可沿试件厚度方向分层切成宽度为 19 mm～38 mm 等分的多个试样，等分后的多个试样试验代替一个全厚度的侧弯试样的试验，每个试样都应符合弯曲试验合格标准。

图A.5 侧弯



单位为毫米

T	Y	
	P-No.23,F-No.23,P-NO.35	其他材料
$1.5 \leq T \leq 3$	T	T
$3 < T \leq 10$	3	T
$10 < T$	3	10

注1：若存在焊缝余高、垫板或垫圈，可以采用机加工或打磨的方法进行去除。去除余高之前，允许采用冷校直。

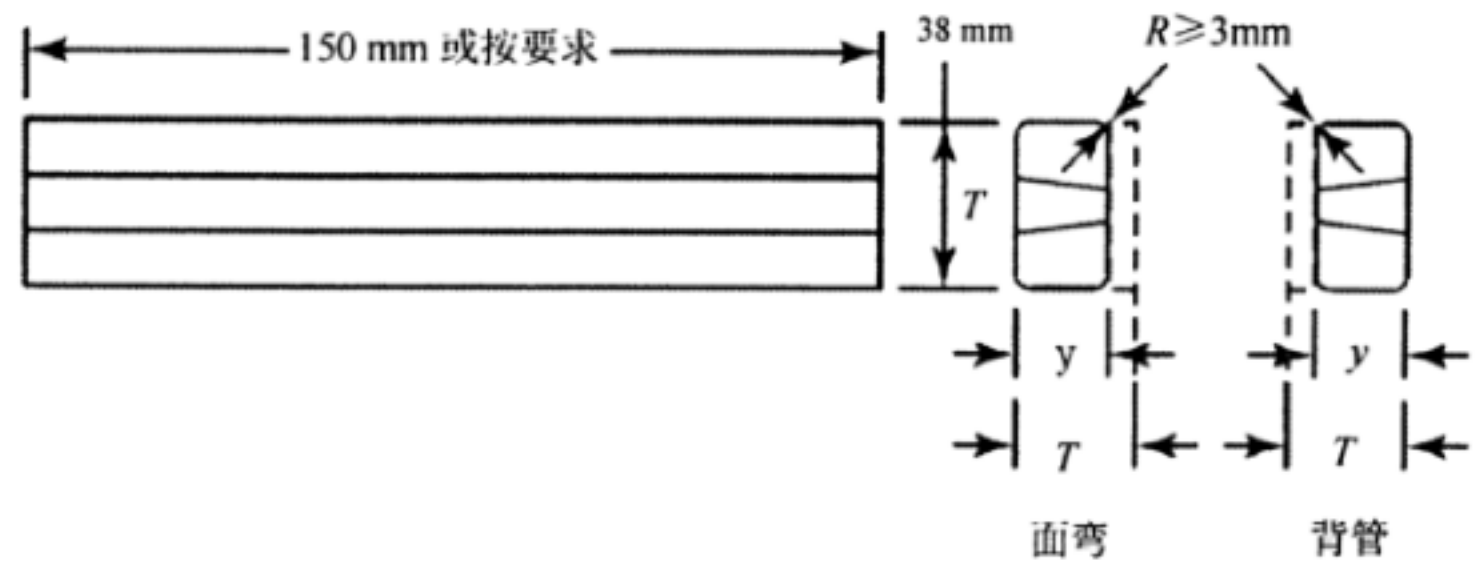
若采用凹槽垫板，则必须对表面进行加工，其加工深度不得超过凹槽的深度，以便去掉垫板，但加工完成的试样其厚度应符合上表规定。

注2：当管状试件外径 $\varphi 50\text{ mm} \sim \varphi 100\text{ mm}$ 时，弯曲试样的宽度可为19 mm；

当 $10\text{ mm} \leq \varphi \leq 50\text{ mm}$ 时，弯曲试样宽度可为10 mm；

当 $\phi \leq 25\text{ mm}$ ，则将试件在圆周方向上四等分取样。

图A.6 面弯和背弯——横向



单位为毫米

T	Y	
	P-No.23,F-No.23,P-NO.35	其他材料
$1.5 \leq T \leq 3$	T	T
$3 < T \leq 10$	3	T
$10 < T$	3	10

注：若存在焊缝余高、垫板或垫圈，可以采用机加工或打磨的方法进行去除。去除余高之前，允许采用冷校直。若采用凹槽垫板，则必须对表面进行加工，其加工深度不得超过凹槽的深度，以便去掉垫板，但加工完成的试样其厚度应符合上表规定。

图A.7 面弯和背弯——纵向

A.3.3 试验方法

弯曲试验应符合NB/T 20004—2014第8章的规定。

A.4 冲击试验

A.4.1 试样的制备

试样的制备应符合以下要求：

- a) 冲击试样尺寸应符合 NB/T 20004—2014 第 5 章的规定；
- b) 对于使用多个焊接工艺完成的评定试件接头，冲击试样应尽可能包含每个焊接工艺的焊缝金属。当在要求的 $1/4t$ 部位取得的全尺寸冲击试样无法满足上述要求时，则应从焊缝中其他厚度切取附加全尺寸冲击试样，使得每种工艺的熔敷金属至少有一部分包含在冲击试样中。另一种方法是：使用每个焊接工艺制备附加的试验焊缝，从而可对每个工艺制备全尺寸试样。

A.4.1.1 代表焊缝金属的试样

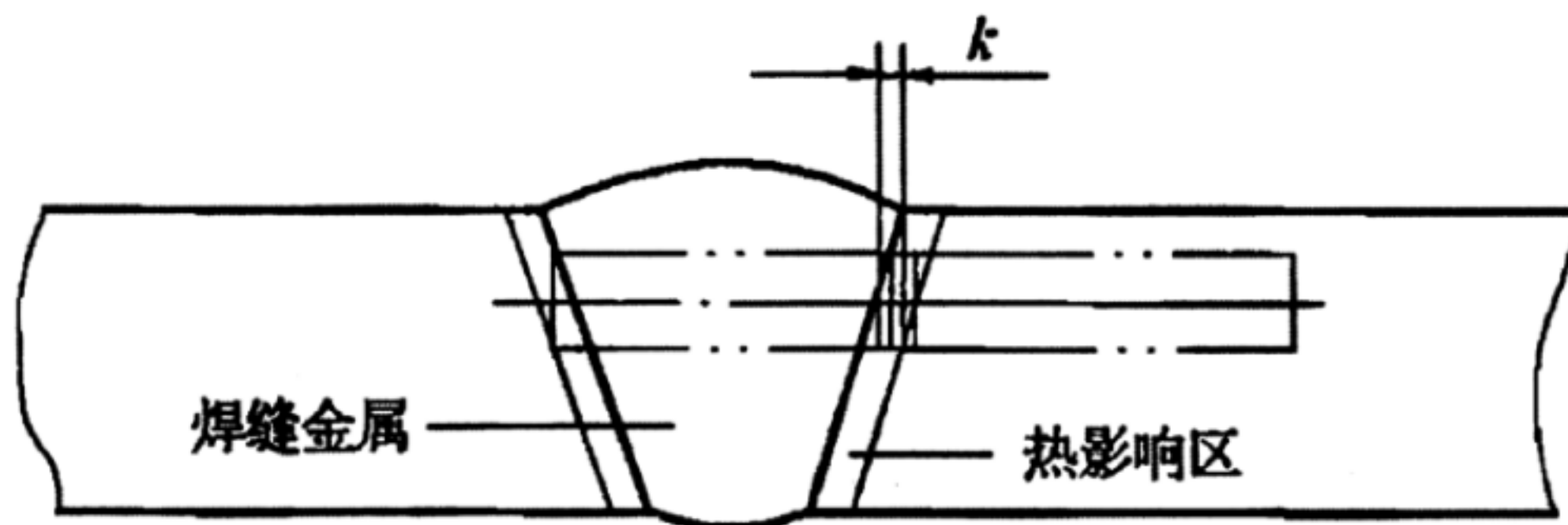
取样部位应使得试样纵轴距离焊缝表面至少 $t/4$ （ t 为试件厚度），当试件厚度允许时，该距离不小于10 mm。此外，当焊后热处理温度超过NB/T 20450.4—2017规定的最高温度，冷却速度超过规定最高冷却速度时，试样纵轴距离试件边缘应至少为 t 。

试样应垂直于焊缝纵轴，缺口位于焊缝。夏比V型缺口冲击试样的缺口长度方向应垂直于焊缝表面。落锤试样的受拉表面应平行于焊缝表面。

A.4.1.2 代表热影响区的试样

当根据A.4.2的要求需进行热影响区冲击试验时，试件和试样取样应满足以下要求：

- 评定试件母材为板材或锻件时，焊缝轴线应平行于轧制或锻造的主方向；
- 取样部位应尽量位于 $t/4$ 深度(t 为试件厚度)。试样应垂直于焊缝纵轴，应进行浸蚀以确定热影响区的位置。夏比 V 型缺口试样的缺口应大致垂直于试件表面，其位置应使得断裂后断口包括尽可能多的热影响区，其热影响区的缺口轴线至试样纵轴线与熔合线交点的距离 $k > 0$ ，见图 A.8。当试件厚度允许时，试样轴线可以是倾斜的，使得缺口根部平行于熔合线。



图A.8 热影响区冲击试样位置

- 为了比较热影响区和母材的冲击性能，应从未受热影响的母材中切取夏比 V 型缺口试样，该试样取样深度应与热影响区试样深度大致相同。试样的轴线应平行于热影响区试样轴线，缺口垂直于试件表面。当要求制备落锤试样时，其取样部位应尽量位于 $t/4$ 深度。

A.4.2 冲击试验要求

A.4.2.1 一般要求

当母材要求进行冲击试验时，应按下列要求进行焊缝金属和热影响区的冲击试验。

按照1级设备通过冲击试验的焊接工艺规程可认为满足对于其他级别设备的冲击试验要求。

A.4.2.2 焊缝金属的冲击试验

焊缝金属的冲击试验应符合以下要求：

- 对于有冲击试验要求的母材，当表面堆焊或开坡口焊接的焊缝厚度大于 16 mm 时，其工艺评定要求进行焊缝金属的冲击试验。对于有冲击试验要求的母材的补焊，无论补焊厚度是多少，其工艺评定要求进行焊缝金属的冲击试验。
- 焊缝金属的冲击试验要求和验收标准与被焊母材相同。当两种母材存在不同要求时，试验要求和验收标准可符合其中的任一种。

A.4.2.3 热影响区的冲击试验

A.4.2.3.1 试验范围

当评定试件焊缝厚度超过16 mm，且任一母材有冲击试验要求时，应进行热影响区的冲击试验，以下情形除外：

- 任何母材上的耐蚀堆焊或耐磨堆焊的焊接工艺评定；

- b) 使用钨极气体保护电弧焊(141)打底时,如最多两层并且厚度小于 5 mm,其热影响区不要求进行冲击试验。

根据对母材冲击试验要求的不同,热影响区冲击试验可分为两种,分别为 RT_{NDT} 型和KV型,见表3。

A.4.2.3.2 RT_{NDT} 型

对于使用 RT_{NDT} 控制冲击性能的母材,其热影响区试验应符合以下要求:

- 确定评定试件未受热影响母材的 T_{NDT} ;
- 分别从热影响区和未受热影响母材取 KV 冲击试样。取自未受热影响母材的试样在 $T_{NDT}+33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下进行冲击试验;
- 未受热影响母材的KV冲击试验应满足每个试样的冲击功不小于 68 J,侧膨胀量不小于 0.89 mm,否则应在更高温度下进行附加试验直到满足上述要求;
- 在 A.4.2.3.2 c) 中确定的温度下进行热影响区 KV 冲击试验,试验结果的侧膨胀量平均值若大于或等于未受热影响母材试样,则热影响区冲击试验合格。

如果热影响区KV冲击试验的侧膨胀量平均值不满足上述要求,则应使用以下1)~3)中的一种方法,确定补偿热影响区冲击性能下降的补偿量,并按A.4.2.4采取补偿措施。

- 在热影响区和/或未受热影响母材进行附加 KV 冲击试验,试验温度应使得一组 3 个试样的单个侧膨胀量不小于 0.89 mm。绘制每次试验侧膨胀量平均值-温度曲线图,在热影响区和未受热影响母材的侧膨胀量平均值相同且不小于 0.89 mm 处,使用对应的热影响区和未受热影响母材的冲击试验温度(T_{HAZ} 和 T_{UBM}),可确定补偿温度:

$$T_{ADJ}: T_{ADJ}=T_{HAZ}-T_{UBM}\dots\dots\dots(A.1)$$

如果 $T_{ADJ}\leq 0$,取 $T_{ADJ}=0$ 。

- 作为上述 1)的替代方法,如果热影响区试样的侧膨胀量平均值不小于 0.89 mm,且相对未受热影响母材试样的侧膨胀量平均值降低不超过 0.13 mm,则 T_{ADJ} 可取 8°C 。
- 作为上述 1)的第二种替代方法,如果热影响区试样的侧膨胀量平均值不小于 0.89 mm,可计算其与未受热影响母材试样侧膨胀量平均值的差值,并按 A.4.2.4 中 c)采取补偿措施。

A.4.2.3.3 KV型

对于使用KV冲击功或侧膨胀量控制冲击性能的母材,其热影响区试验应符合以下要求。根据绘制曲线采用的是冲击功还是侧膨胀量,可细分为KV-E型(使用冲击功)和KV-L型(使用侧膨胀量):

- 分别从热影响区和未受热影响母材取 KV 冲击试样。取自未受热影响母材的试样在小于或等于最低金属使用温度下进行冲击试验;
- 未受热影响母材的 KV 冲击试验应满足母材的冲击要求,否则应在更高温度下进行附加试验直到满足上述要求;
- 在上述 b)确定的温度下进行热影响区 KV 冲击试验,试验结果(冲击功或侧膨胀量)平均值如大于或等于未受热影响母材试样,热影响区冲击试验合格。

如果热影响区KV冲击试验结果(冲击功或侧膨胀量)平均值不满足上述要求,则应使用以下1)~4)中的一种方法,确定补偿热影响区冲击性能下降的补偿量,并按A.4.2.4采取补偿措施。

- 在热影响区和/或未受热影响母材进行附加 KV 冲击试验,试验温度应使得冲击试验结果满足母材的要求。绘制每次试验结果(冲击功或侧膨胀量)平均值-温度曲线图,在热影响区和未受热影响母材的冲击功或侧膨胀量平均值相同且满足母材要求处,使用对应的热影响区和未受热影响母材的冲击试验温度(T_{HAZ} 和 T_{UBM}),可确定补偿温度:

$$T_{ADJ}: T_{ADJ}=T_{HAZ}-T_{UBM}\dots\dots\dots(A.2)$$

如果 $T_{ADJ} \leq 0$ ，取 $T_{ADJ} = 0$ 。

- 2) 作为上述 1) 的替代方法，如果热影响区试样的试验结果满足母材要求，且相对未受热影响母材试样的侧膨胀量平均值降低不超过 0.13 mm，或其冲击功平均值降低不超过 10 J，则 T_{ADJ} 可取 8 °C。
- 3) 作为上述 1) 的第二种替代方法，除 1 级设备或堆内构件外， T_{ADJ} 可取为 17 °C；
- 4) 作为上述 1) 的第三种替代方法，如果热影响区试样的试验结果满足母材要求，可计算其与未受热影响母材试样侧膨胀量平均值或冲击功平均值的差值，并按 A.4.2.4 中 c) 采取补偿措施。

A. 4. 2. 4 韧性补偿

如果焊接工艺导致热影响区韧性降低，应采取以下方法中的至少一种进行补偿，允许的补偿方式应符合表3的规定：

- a) 对于使用该工艺评定报告(PQR)支持的焊接工艺规程(WPSs)焊接的所有材料，其最低使用温度应在规格书基础上提高 T_{ADJ} ；
- b) 母材验收的试验温度降低 T_{ADJ} ；
- c) 如母材的韧性实测值不低于要求值加上工艺评定母材与热影响区韧性的差值，则母材可使用该工艺评定支持的焊接工艺规程焊接。

KV冲击试验结果应记录在焊接工艺评定报告中，任何补偿温度（ T_{ADJ} ）或者补偿的韧性要求都应记录在焊接工艺评定报告和焊接工艺规程中。在焊接工艺评定报告中可采用多种补偿方法。

A. 4. 2. 5 冲击性能要求图表

- 表A.2 1级管道、泵、阀门（壁厚小于等于64mm）冲击性能要求
- 表A.3 2级、MC级承压材料冲击性能要求（除螺栓外）
- 表A.4 3级承压材料冲击性能要求（除螺栓外）
- 表A.5 支承件冲击性能要求（除螺栓外）
- 表A.6 堆芯支承件的堆芯支撑结构（壁厚小于等于50 mm）冲击性能要求(螺栓除外)
- 图A.9 确定允许的金属最低使用温度

表 A. 2 1 级管道、泵、阀门（壁厚小于等于 64 mm）冲击性能要求（除螺栓外）

单位为毫米

名义厚度 T^a	侧膨胀值
$16 < T \leq 19$	0.50
$19 < T \leq 38$	0.64
$38 < T \leq 64$	1.00
^a 对于泵、阀门和管件，采用相连管道的名义厚度。	

表 A. 3 2 级、MC 级承压材料冲击性能要求（除螺栓外）

名义厚度 T^b	冲击吸收功 ^a （按母材规定的最低屈服强度 $R_{p0.2}$ 分组）					
	$R_{p0.2} \leq 380 \text{ MPa}$		$380 \text{ MPa} < R_{p0.2} \leq 515 \text{ MPa}$		$515 \text{ MPa} < R_{p0.2} \leq 725 \text{ MPa}$	
	3 个试样 平均值	3 个试样 最小值	3 个试样 平均值	3 个试样 最小值	3 个试样 平均值	3 个试样 最小值
$16 < T \leq 25$	27	20	34	27	41	34
$25 < T \leq 38$	34	27	41	34	47	41
$38 < T \leq 64$	47	47	54	47	61	54
$T > 64$	61	54	68	61	75	68
<p>^a 焊接两种不同冲击性能要求的母材时，工艺评定试件焊缝金属的冲击性能应满足其中一种母材的冲击要求。</p> <p>^b 对于泵、阀门和管件，采用相连管道的名义厚度。对于容器，应取下列数值的最小值：</p> <p>1) 物项的最大径向壁厚，不包括整体壳体的对接焊缝截面；</p> <p>2) 同物项焊接的容器壳体厚度；</p> <p>3) 与平封头、管板或法兰等相连接的最大壳体厚度。</p>						

表 A. 4 3 级承压材料冲击性能要求（除螺栓外）

名义厚度 T^a	冲击吸收功（按母材规定的最低屈服强度 $R_{p0.2}$ 分组）					
	$R_{p0.2} \leq 275 \text{ MPa}$		$275 \text{ MPa} < R_{p0.2} \leq 380 \text{ MPa}$		$380 \text{ MPa} < R_{p0.2} \leq 725 \text{ MPa}$	
	3 个试样 平均值	3 个试样 最小值	3 个试样 平均值	3 个试样 最小值	3 个试样 平均值	3 个试样 最小值
$16 < T \leq 19$	18	14	20	14	27	20
$19 < T \leq 25$	20	14	27	20	34	27
$25 < T \leq 38$	27	20	34	27	41	34
$38 < T \leq 64$	34	27	48	41	54	48
$T > 64$	41	34	54	48	61	54
<p>^a 对于泵、阀门和管件，采用相连管道的最大名义厚度。</p> <p>对于容器和储罐，采用适用的壳体或封头的名义厚度。</p> <p>对于接管或与容器相焊的其他物项，采用下列中的较小值：与物项相焊的壳体厚度；最大的物项径向厚度，不包括整体性壳体的对接焊缝截面。</p> <p>对于平封头、管板或法兰，采用与对接焊缝突出的管口部分相连的最大壳体厚度。</p>						

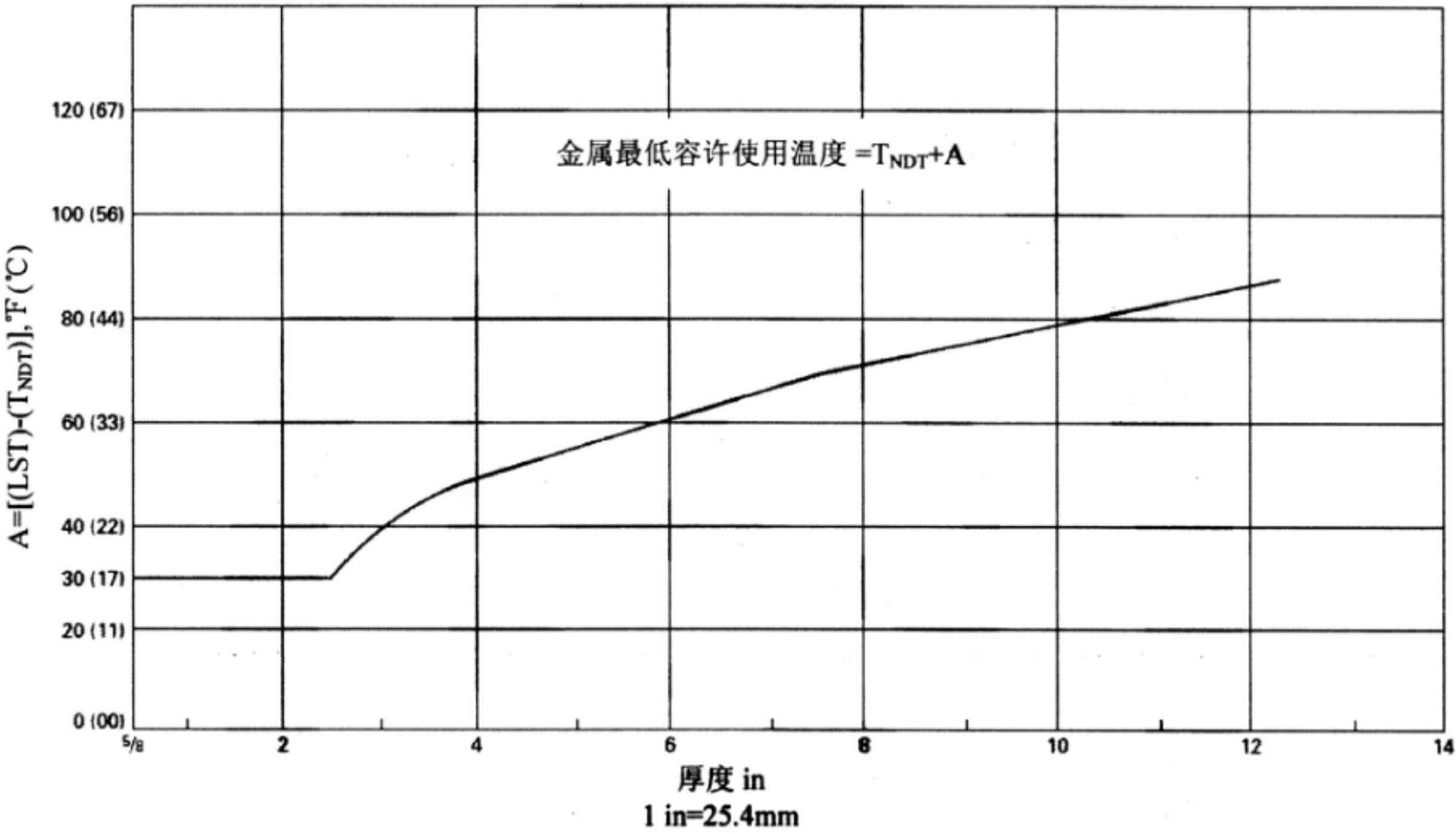
表 A. 5 支承件冲击性能要求（除螺栓外）

名义厚度 T	冲击吸收功					
	$R_{p0.2} \leq 380 \text{ MPa}$		$380 \text{ MPa} < R_{p0.2} \leq 515 \text{ MPa}$		$515 \text{ MPa} < R_{p0.2} \leq 725 \text{ MPa}$	
	3 个试样 平均值	3 个试样 最小值	3 个试样 平均值	3 个试样 最小值	3 个试样 平均值	3 个试样 最小值
$16 < T \leq 25$	20	14	27	20	34	27
$25 < T$	34	27	41	34	47	41

表 A. 6 堆芯支承件的堆芯支撑结构（壁厚≤50 mm）冲击性能要求（螺栓除外）

单位为毫米

名义厚度 T	横向膨胀值
$16 < T \leq 19$	0. 50
$19 < T \leq 38$	0. 64
$38 < T \leq 64$	1. 00



图A. 9 确定允许的金属最低使用温度

附 录 B
(规范性附录)
焊接变素

B.1 范围

本附录按接头、母材、填充金属、焊接位置、预热、焊后热处理、气体、电特性和焊接技巧分别列出了焊接变素。

本附录的焊接变素只有在被引用时才有效，而不可直接使用。

B.2 接头

- B.2.1 改变坡口型式(V型、U型、单面坡口、双面坡口等)。
- B.2.2 增加或取消焊接衬垫。
- B.2.3 取消单面焊的焊接衬垫。双面焊按有衬垫考虑。
- B.2.4 增加焊接衬垫或改变衬垫的名义化学成分。
- B.2.5 组对间隙较评定所用间隙增加。
- B.2.6 改变规定的根部间隙。
- B.2.7 增加或取消非金属成型块或不熔化的金属成型块。
- B.2.8 产品耐蚀堆焊层和耐磨堆焊层最终表面与母材交界面的距离(即堆焊层厚度)小于图6~图10所示最小评定厚度。耐蚀堆焊层或耐磨堆焊层的最大厚度不限。
- B.2.9 以熔化喷涂法熔敷在产品上的耐磨堆焊层厚度超过工艺评定试件上熔敷的厚度。
- B.2.10 当接头为搭接接头时,应用下列变素:
 - a) 到材料边缘距离改变大于10%;
 - b) 搭接宽度改变大于10%;
 - c) 材料层数的改变;
 - d) 金属接触表面精整方法的改变。
- B.2.11 试件厚度小于38 mm的,在焊缝背面增加冷却介质(水、流动气体等)。对于厚度小于38 mm,其焊缝背面带冷却介质(水、流动气体等)试件的评定,评定了大于等于试件厚度或不带冷却介质的母材厚度。
- B.2.12 在焊缝背面带冷却介质(水、冷却气体等)、从正面进行焊接的时间评定,评定了带冷却介质母材的最大厚度,其最小厚度为试件根部厚度或13 mm两者中的较小者。

B.3 母材

B.3.1 母材P-No由一种改变为另一种,或当无P-No.规定时,改变为其他母材。如接头由不同P-No.的两母材组成,即使两者已分别经过工艺评定,仍需进行组合接头试件的评定。

B.3.2 以下情况需重新评定:

对于无垫板的全焊透单面焊缝,如可使用目视检验或机械方法测定熔深,当试件厚度不大于25 mm时,产品母材与试件厚度变化为20%或更大;当试件厚度大于25 mm时,产品母材与试件厚度变化为10%或更大。如无法测定熔深,当试件厚度不大于25 mm时,产品母材与试件厚度变化为10%或更大;当试件厚度大于25 mm时,产品母材与试件厚度变化为5%或更大。

对于带垫板的全焊透单面焊缝或部分焊透焊缝,评定的最小产品母材厚度为试件厚度,评定的最小熔深为试件实测熔深。

B.3.3 焊接工艺评定应当采用与实际焊接生产所用母材具有相同的型号、等级，或相同组号的另一种母材（见B.11）。如接头是由两种不同组号的母材组合而成的，则即使两者分别各自做过工艺评定，亦必须按这种组合来进行工艺评定。

B.3.4 焊接工艺评定的母材应选用下列之一：

- a) 与产品焊接相同的母材(包括型号和等级)；
- b) 对于铁基材料，与产品母材的 P-No.、Group-No.相同的材料；
- c) 对于非铁基材料，与产品母材的 P-No.和 UNS No.相同的材料。

对于铁基材料，如接头由不同P-No.、Group-No.的两母材组成，即使两者已分别经过工艺评定，仍需进行组合接头试件的评定。然而，当两母材P-No.相同，Group-No.不同时，如分别进行的工艺评定具有相同的重要变素和附加重要变素，则母材组合也通过评定。不同P-No.、Group No.的母材组合试件的工艺评定不仅覆盖了该母材组合，也覆盖了每种母材自身之间的焊接。

当不要求热影响区冲击试验时，本变素无效。

B.3.5 评定的母材最小厚度为试件厚度 T 或16 mm两者中较小值，当试件厚度 T 小于6 mm时，评定的最小厚度为 $T/2$ 。

当焊后经受高于上转变温度的焊后热处理（对于铁基材料），或经受固溶热处理（对于奥氏体不锈钢材料，或P-NO.10H双相钢材料），本变素无效。

B.3.6 允许外，母材厚度超过5.6.2的评定范围。

B.3.7 单道焊或多道焊的任一焊道的厚度大于13 mm时，评定的母材最大厚度为 $1.1 T$ ， T 为评定试件厚度。

B.3.8 对于短路过渡的131、135、136、137焊接方法，评定试件厚度 T 小于13 mm时，评定的母材最大厚度为 $1.1 T$ 。评定试件厚度大于或等于13 mm时，按表4或表5的规定。

B.3.9 焊接工艺评定的母材覆盖范围见表B.1。

表B.1 工艺评定用母材及其覆盖范围

工艺评定使用的母材	覆盖的母材
P-No.A + P-No.A	P-No.A + P-No.A
P-No.15E + P-No.15E	P-No.15E或5B + P-No.15E或5B
P-No.A + P-No.B ^a	P-No.A + P-No.B
P-No.15E + P-No.B	P-No.15E或5B + P-No.B
P-No.3 + P-No.3	P-No.3 + P-No.3或1
P-No.4 + P-No.4	P-No.4 + P-No.4、3或1
P-No.5A + P-No.5A	P-No.5A + P-No.5A、4、3或1
P-No.5A + P-No.4、3或1	P-No.5A + P-No.4、3或1
P-No.4 + P-No.3或1	P-No.4 + P-No.3或1
未分类材料 ^b A + 未分类材料A	未分类材料A + 未分类材料A
未分类材料A + P-No.A	未分类材料A + P-No.A
未分类材料A + P-No.15E	未分类材料A + P-No.15E或5B
未分类材料A + 未分类材料B	未分类材料A + 未分类材料B
<p>^a P-No.A、P-No.B 表示附录 B.11 中两个不同的 P-No.。</p> <p>^b 未分类材料指附录 B.11 中未给出，且没有对应的相同 UNS 号的材料。对于未分类材料，应在焊接工艺规程和工艺评定报告中规定其标准、型号和等级，或者其化学成分和机械性能。</p>	

B.3.10 母材P-No由一种改变为另一种。如接头由不同P-No的两母材组成,即使两者已分别经过工艺评定,仍需进行组合接头试件的评定。当使用熔透型等离子弧焊焊接P-No.1、3、4、5A母材时,评定覆盖的母材为试件母材P-No.及更低的P-No.。

B.3.11 对于电子束焊和激光焊,工艺评定应采用与产品母材相同牌号或同一P-No.的母材。如接头由不同P-No的两母材组成,即使两者已分别经过工艺评定,仍需进行组合接头试件的评定。

B.3.12 母材P-No.从某一种改为另一种或未分类的母材。对于P-No.10和P-No.11母材,从某一组改为另一组。

B.3.13 母材厚度超过7.3.1的评定范围。

B.3.14 焊接工艺评定应使用与回火焊道焊接的母材有相同P-No.和组号的母材。当焊接接头由两个不同P-No.和组号的母材组成时,回火焊道的工艺评定必须使用与产品相同的每个P-No.和组号的母材,它可以采用分别的试件进行评定,也可以在一个组合试件上进行评定。当采用不同P-No.和组号的母材在一个试件进行评定试验时,试件每侧的焊接条件和试验结果应分别形成文件。但可以报告于相同的评定记录中。当回火焊道仅使用于接头一侧时(如P-No.与P-No.8组成的接头,仅在P-No.1一侧)或一侧应用堆焊或返修使用回火焊道,按第9章进行的评定仅适用于其WPS应用于材料使用回火焊道的部分。

B.3.15 按下列公式计算的碳当量的增加:

$$CE=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15$$

B.3.16 评定的最大厚度为试件厚度T,或当试件厚度为等于或大于38 mm时,评定的最大厚度不限;但当试件厚度为等于或小于6 mm时,评定的最大厚度为2T。本范围应用于角焊缝及对接焊缝。

B.4 填充金属

B.4.1 与评定值比,焊缝金属(不包括隔离层)横截面积或送丝速度变化超过±10%。

B.4.2 减小隔离层厚度,或改变隔离层名义化学成分。隔离层是指电子束焊之前,在接头的一侧或两面熔敷的焊缝金属。

B.4.3 改变填充金属尺寸。

B.4.4 焊材F-No由一种改变为另一种,或当无F-No.规定时,改变为其他焊材。

B.4.5 对于铁基材料,焊缝熔敷金属的化学成分从一种A-No.改变为另一种。A-No.1的评定可覆盖A-No.2,反之亦然。

焊缝熔敷金属的化学成分可采用以下任一方式确定:

- 对于所有的焊接方法——工艺评定试件的焊缝熔敷金属化学成分分析;
- 对于111、141和15焊接方法——按焊材标准进行熔敷金属化学分析,或按焊材标准要求的或焊材质量证明书上实测的化学成分;
- 对于131、135——如保护气体与工艺评定相同,可按焊材标准进行熔敷金属化学分析,或按焊材质量证明书上实测的化学成分;
- 对于12——如焊剂与工艺评定相同,可按焊材标准进行熔敷金属化学分析,或按焊材质量证明书上实测的化学成分。

可在焊接工艺规程和工艺评定报告中规定熔敷金属的名义化学成分,以代替A-No.。名义化学成分可以引用焊材型号、焊材制造商的商品牌号或焊材采购技术规格书等。

B.4.6 改变焊条或焊丝的名义尺寸。

B.4.7 改变焊条公称直径为大于6 mm。

当焊后经受高于上转变温度的焊后热处理(对于铁基材料),或经受固溶热处理(对于奥氏体不锈钢材料),本要素无效。

B.4.8 在填充金属之外增加或取消脱氧剂，或者改变脱氧剂的规定数量或成分(对于某些金属的焊接，为达到脱氧目的，可能需要脱氧剂)。

B.4.9 焊丝-焊剂组合的改变有下列情形之一：

- a) 焊材标准中表示最小抗拉强度的型号标识的改变；
- b) 若无上述型号标识，焊丝或焊剂商品牌号的改变；
- c) 若焊丝符合 NB/T 20009，而焊剂不符合时，焊剂商品牌号的改变。焊丝的改变如满足附录 B.4.5 的要求，不要求重新评定；
- d) 对于 A-No.8 的焊缝熔敷金属，焊剂商品牌号的改变。

B.4.10 如果焊缝金属的合金元素含量在很大程度上取决于所用焊剂的成分，则焊接工艺中任何导致焊缝金属重要合金元素含量超出规定范围的改变，均需重新评定。

B.4.11 NB/T 20009 中焊材型号的改变，或者当焊材不遵守 NB/T 20009 时，焊材商品牌号的改变。

如果焊材符合 NB/T 20009，以下情形的改变不要求重新评定：

- a) 防吸潮型改为不防吸潮型，反之亦然；
- b) 从一个扩散氢等级改为另一等级；
- c) 对于有相同规定最小抗拉强度和化学成分要求的碳钢、低合金钢或不锈钢焊条，从一种低氢型药皮改为另一种；
- d) 对于药芯焊丝，型号中焊接位置符号从一种改为另一种；
- e) 从一种型号改变为同一型号附加表示冲击性能的后缀，该后缀表明冲击试验温度更低，或要求的冲击性能更高，或者要求上述两者；
- f) 当不要求冲击试验时，从一种型号改变为同一焊材标准中的另一型号。

上述免除规定对于耐磨堆焊和耐蚀堆焊不适用。

B.4.12 增加或取消填充金属。

B.4.13 改变填充金属加入方式，例如预置薄片、上部填片、焊丝、送丝，或焊前在接头一侧或两侧堆焊隔离层。

B.4.14 改变加入的填充金属的名义化学成分。

B.4.15 增加或取消可熔化嵌条。

B.4.16 填充金属制品形式从下列一种改为另一种：

- a) 实芯或金属粉芯焊丝；
- b) 药芯焊丝；
- c) 药皮包覆的实芯或金属粉芯焊丝；
- d) 合金粉末。

B.4.17 增加或取消附加填充金属，或其体积改变超过10%

B.4.18 如果焊缝金属的合金元素含量在很大程度上取决于所用焊剂的成分，则焊接工艺中任何导致焊缝金属重要合金元素含量超出规定范围的改变，均需重新评定。

B.4.19 改变焊剂商品牌号。

B.4.20 焊缝金属厚度的变化超过5.6.2的覆盖范围。

B.4.21 对于短路过渡的131、135、136、137焊接方法，焊缝金属厚度 t 小于13 mm时，评定的焊缝金属最大厚度为1.1 t 。焊缝金属厚度大于或等于13 mm时，按表4或表5的规定。

B.4.22 改变NB/T 20009中的焊材型号，或者当焊材不符合NB/T 20009时，改变焊材的商品牌号。若工艺评定使用的焊材具有防吸潮、扩散氢或专门的冲击性能要求时，产品焊接工艺规程应使用具有同样要求的焊材。

B.4.23 对于P-No.1母材的多层多道焊，改变焊剂类型(即中性焊剂改为活性焊剂，或相反)。

B.4.24 NB/T 20009中焊剂-焊丝型号的改变,或者当焊丝-焊剂不遵守NB/T 20009时,焊丝或焊剂商品牌号的改变。如果焊材符合NB/T 20009,从一个扩散氢等级改为另一等级不要求重新评定。

当不要求冲击试验时,本变素无效。

上述免除规定对于耐磨堆焊和耐蚀堆焊不适用。

B.4.25 如使用重碎焊渣作为焊剂,应由焊材厂商或用户单位按NB/T 20450.2—2017对于每批焊材进行试验,或按B.4.9作为无型号标识的焊剂进行评定。

B.4.26 熔敷金属从B.11表中某一A-No改变为另一A-No,或改变为表中未列出的化学成分。对于B.11表中的A-No.8或A-No.9,或B.12中的非铁基合金,UNS No.发生改变。A-No.可按B.4.5确定。

B.4.27 改变第一层熔敷金属所用焊条的名义直径。

B.4.28 改变埋弧焊和电渣焊所用焊剂类型或名义成分。改变焊剂粒度不需要重新评定。

B.4.29 送粉速率相对工艺评定报告值变化10%以上。

B.4.30 粉末粒度范围变化超过5%。

B.4.31 粉末粒度范围与工艺评定报告值不同。

B.4.32 从均质粉末改为机械混合粉末,或相反。

B.4.33 填充金属制品形式从实芯焊丝改为药芯焊丝或金属粉芯焊丝,或相反。

B.4.34 送粉速率相对工艺评定报告值发生变化。

B.4.35 填充金属尺寸和(或)金属粉末粒度的变化大于10%。

B.4.36 金属粉末的密度变化大于10%。

B.4.37 填充金属或金属粉末的送给速度变化大于10%。

B.4.38 在接头表面增加或取消影响焊接熔深的焊剂。

B.4.39 焊条电弧焊(111)用的焊条、惰性或非惰性气体保护的药芯焊丝电弧焊(137, 136)用的药芯焊丝、埋弧焊(12)用的焊剂在储存和销售期间控制吸潮的方法(如采购时在密封的容器内、储存在烘干箱内、受控制的销售时间、使用前的高温烘烤)。

B.4.40 焊条扩散氢等级的改变(如从 E7018 -回到 E7018- H16 或改变到不控制扩散氢的焊条)。

B.5 焊接位置

B.5.1 在评定的焊接位置以外增加其他焊接位置。

B.5.2 从任一焊接位置改为立向上焊接位置。立向上焊接位置(如3G、5G或6G)评定覆盖所有焊接位置。在立向上位置,从线性焊道改为摆动焊道。

当焊后经受高于上转变温度的焊后热处理(对于铁基材料),或经受固溶热处理(对于奥氏体不锈钢材料),本变素无效。

B.5.3 对于立焊位置的焊缝,任一焊道从向上焊改为向下焊,或反之;盖面焊道不受此限制,可向上焊或向下焊;若根部焊道在背面焊接前完全清除,则根部焊道也不受此限制,可向上或向下焊。

B.5.4 除下文规定者外,对已经评定的焊接位置增加;其它焊接位置要重评:

- a) 如已在横、立或仰焊位置评定合格,则平焊位置无需重评;如已在管水平固定的 5G 位置评定合格,则平、立和仰焊位置无需重评;如已在横、立和仰焊位置评定合格,则所有焊接位置均无需重评;如已在管倾斜固定的 6G 位置评定合格,则也评定了所有焊接位置。
- b) 制造者的产品焊接如仅在某一特定的方位,则工艺评定试验可以只在这个方位进行。这种评定仅对于实际试验的位置是有效的,不过图 C.1 定义的焊接面的旋转和焊缝轴线的倾斜,其角度偏差可允许 $\pm 15^\circ$ 。试样应从每个特定方位的试件上制取。
- c) 对于耐磨层和耐蚀层焊缝金属堆焊,在 3G、5G 或 6G 位置评定,其中 5G 或 6G 的管子试件至少应包含一个立焊位置扇形段用立向上方向完成,或 3G 位置的板试件用立向上方向完成,

评定了全部位置。7.2.1 要求的化学成分、硬度、金相试验和至少二个弯曲试验(样), 应从图 8 所示的立向上堆焊层的扇形段制取。

d) 从立向下变为立向上要求重新评定。

B.6 预热

B.6.1 预热温度比评定的低55℃以上。在焊接工艺规程中应规定最低预热温度。

B.6.2 从焊接完成到要求的焊后热处理开始期间, 改变预热保持或降低预热温度。

B.6.3 道间温度比工艺评定报告的最高值大55℃以上。

当焊后经受高于上转变温度的焊后热处理(对于铁基材料), 或经受固溶热处理(对于奥氏体不锈钢材料, 或P-NO.10H双相钢材料), 本变素无效。

B.6.4 PQR 上记载的预热温度降低超过55℃或超过最高层间温度。最低始焊温度应规定于WPS 上。

B.6.5 从喷涂完成后到熔化操作开始前, 改变预热保持或降低预热温度。

B.6.6 在试件中获得并记录于 PQR 上的最高层间温度提高超过55℃。对于每个回火焊道层及表面焊道层的层间温度均应予以分别测结和记录。WPS 应分别规定每个回火焊道层及表面焊道层的最高层间温度范围。

B.6.7 降低在试件中获得并记录于 PQR 上的预热温度。对于每个回火焊道层及表面焊道层的预热温度均应予以分别测量和记录。WPS 应分别规定每个回火焊道层及表面焊道层的最低预热温度范围。

B.6.8 在焊接开始前预热渗透的最短时间。

B.6.9 焊后消氢处理的增加或取消。当有消氢要求时, 应规定最低消氢温度和渗透时间。

B.7 焊后热处理

B.7.1 下列每种情况均需进行工艺评定:

a) 对于 P-No.1 到 P-No.6, P-No.9 到 PNo.15F 材料:

1) 无焊后热处理;

2) 在低于下转变温度下进行焊后热处理;

3) 在高于上转变温度下进行焊后热处理(如正火);

4) 先在高于上转变温度进行, 然后在低于下转变温度进行的焊后热处理(如正火或淬火后进行回火);

5) 在上转变温度和下转变温度之间进行焊后热处理。

b) 对于其他材料:

1) 无焊后热处理;

2) 在规定的温度范围进行焊后热处理。

B.7.2 工艺评定试件的焊后热处理应与产品焊缝经受的基本上相当, 在热处理温度下的保温时间应不小于产品焊缝累积保温时间的80%, 可在一次热循环中完成。

B.7.3 当焊后经受高于上转变温度的焊后热处理(对于除P-No.7、8和45以外的铁基材料), 或经受固溶热处理(对于P-No.10H材料), 评定的母材最大厚度为1.1 T , T 为评定试件厚度。

B.7.4 改变B.7.1规定的焊后热处理形式, 或者焊后热处理的累积保温时间增加超过25%。

B.7.5 如在熔化操作后进行热处理, 改变评定的热处理温度范围。

B.7.6 下列每种情况都应进行新的工艺评定:

a) 对于使用 A-No.8 焊接材料的耐蚀堆焊层, 改变 B.7.1 规定的焊后热处理形式, 或者在制造中累积保温时间超过 20 hr 时, 累计保温时间相对评定试件增加超过 25%;

b) 对于使用 A-No.9 焊接材料的耐蚀堆焊层, 改变 B.7.1 规定的焊后热处理形式, 或者焊后热处理的累积保温时间增加超过 25%;

- c) 对于使用其他焊接材料的耐蚀堆焊层, 改变 B.7.1 规定的焊后热处理形式。

B.8 气体

B.8.1 增加或取消尾部保护气体, 或改变尾部保护气体成分。

B.8.2 下列每种情况均需进行工艺评定:

- a) 从一种单一保护气体改为另一种;
- b) 从一种单一保护气体改为一种混合保护气体, 或相反;
- c) 改变混合保护气体的规定百分比组成;
- d) 增加或取消保护气体。

单一保护气体或混合保护气体可以采用它的名义成分和其中一个或多个纯度指标来命名, 混合气体的组分偏差不应超过其名义值的 $\pm 10\%$ 。

B.8.3 改变单一保护气体或混合保护气体的规定流量范围。

B.8.4 改变喷嘴气体(离子气)成分或保护气体成分。

B.8.5 增加或取消背面保护气体, 或改变背面保护气体的成分或规定流量范围。

B.8.6 改变保护环境, 如从真空改为惰性气体, 或相反。

B.8.7 对于P-No.41到P-No.49的对接焊缝, P-No.10I、10J、10K、P-No.51到P-No.53和P-No.61到P-No.62的所有焊缝, 取消背面保护气体, 或将其成分由惰性气体改为包含非惰性气体的混合气体。

B.8.8 对于 P-No.10I、P-No.10J、P-No.10K、P-No.51到P-No.53和P-No.61到P-No.62材料, 取消尾部保护气体, 或将其成分由惰性气体改为包含非惰性气体的混合气体, 或尾部保护气体的流量减小10%或更多。

B.8.9 下列一种或几种气体的增加或取消: 主保护气、尾部保护气、背面保护气或吹除等离子体的气体。

B.8.10 下列一种或几种气体流量的改变超过5%: 主保护气、尾部保护气、背面保护气或吹除等离子体的气体。

B.8.11 吹除等离子体的气体喷嘴相对于工件位置或方向的改变。(例如: 从同轴改变为横向)

B.8.12 等离子弧气体或送粉气体的流量比PQR上记载值变化超过5%。

B.8.13 等离子弧气体、保护气体或送粉气体从某种单一气体改变为另一种或改变为混合气体, 或相反。

B.8.14 等离子弧气体、保护气体或送粉气体的混合组成相对工艺评定报告值变化超过10%。

B.8.15 改变送粉气体或(等离子弧喷涂的)等离子气体的名义组分。

B.8.16 等离子气体流量范围相对评定值变化超过5%。

B.8.17 改变喷嘴气体(离子气)或保护气体的流量。

B.8.18 对于气体保护焊的焊接方法, 保护气体的最大水分含量, 水分含量可按保护气分类的技术条件规定。

B.9 电特性

B.9.1 与评定值相比, 增加热输入或增加单位焊缝长度上的熔敷金属体积。

对于非波形控制的焊接可按下述a)、b) 或c)执行, 对于波形控制的焊接按下述c)执行:

a) 热输入(J/mm) = 电压(V) × 电流(A) × 60 / 焊接速度(mm/min)

b) 熔敷金属体积的增加:

- 1) 焊道横截面积(宽度×厚度)增加; 或
- 2) 单位长度焊条施焊的焊道长度减少。

c) 使用瞬时能量或功率功率确定热输入:

3) 使用瞬间能量(J)确定的热输入(J/mm) = 能量(J)/焊道长度(mm);

4) 使用瞬间功率(W)确定的热输入(J/mm) = 功率(W)×电弧时间(s)/焊道长度(mm)

当焊后经受高于上转变温度的焊后热处理(对于铁基材料),或经受固溶热处理(对于奥氏体不锈钢或P-No.10H材料),不要求确定热输入或熔敷金属体积。

B.9.2 从喷射、熔滴或脉冲电弧过渡改为改为短路电弧过渡,或相反。

B.9.3 对于直流电源,增加或取消脉冲电流。

B.9.4 从交流改为直流,或相反;采用直流时,从直流反接改为直流正接,或相反。

B.9.5 与评定值比,电子束流改变大于±5%,或加速电压改变大于±2%,或焊接速度改变大于±2%,或聚焦电流改变大于±5%,或电子枪至工件距离(工作距离)改变大于±5%,或摆动长度或摆动宽度改变大于±20%。

B.9.6 与评定值比,电子束脉冲频率、周期的任何改变。

B.9.7 改变电流范围,或改变电压范围(111、141或波形控制的焊接除外)。适用时,改变送丝速度范围可代替改变电流。

B.9.8 改变钨极类型或尺寸。

B.9.9 已评定的射束脉冲频率和脉冲时间的任何改变。

B.9.10 改变下列任一参数:工作方式(从脉冲到连续,或相反)、射束能量分布(如:多模或高斯分布)。

B.9.11 改变下列任一参数:由热量计或其他仪器测得的传入工件表面的功率变化超过5%,焊接速度变化超过2%,电子束直径与焦距之比的变化超过2%,透镜到工件的距离变化超过2%。

B.9.12 第一层焊道的电流(安培数)增加超过10%

B.9.13 已评定的电流或电压值增加超过10%。

B.9.14 填充丝的瓦数相对工艺评定改变超过10%。瓦数是电流、电压和焊丝外伸长的函数。

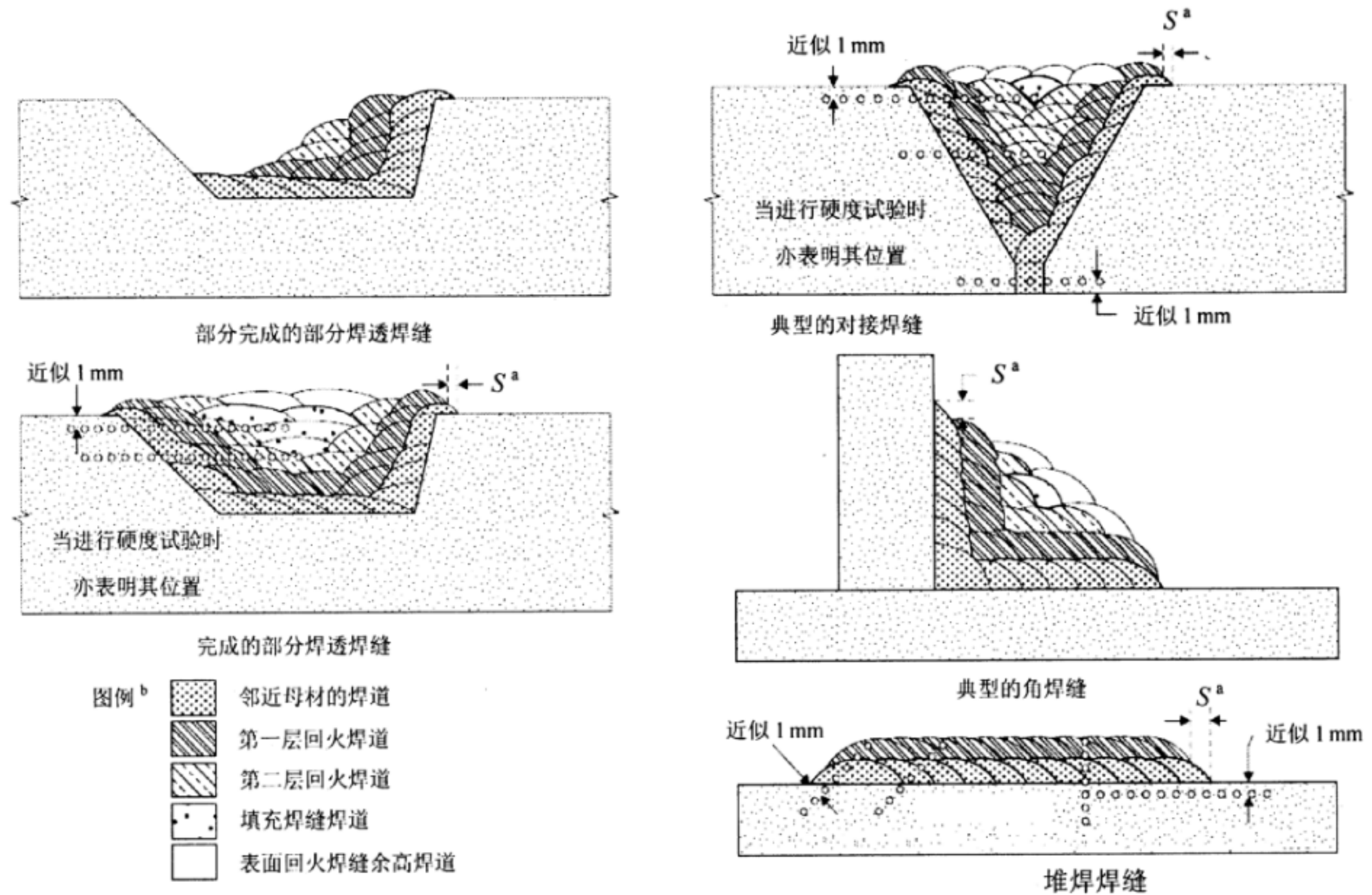
B.9.15 等离子弧电流或电压值相对工艺评定报告值改变超过10%。

B.9.16 对于第一层焊道,热输入或单位长度焊缝内熔敷金属体积的增加超过评定值的10%。热输入或单位长度焊缝内熔敷金属体积的计算按B.9.1。

B.9.17 热输入和单位长度焊缝体积的改变及测定方法如下:

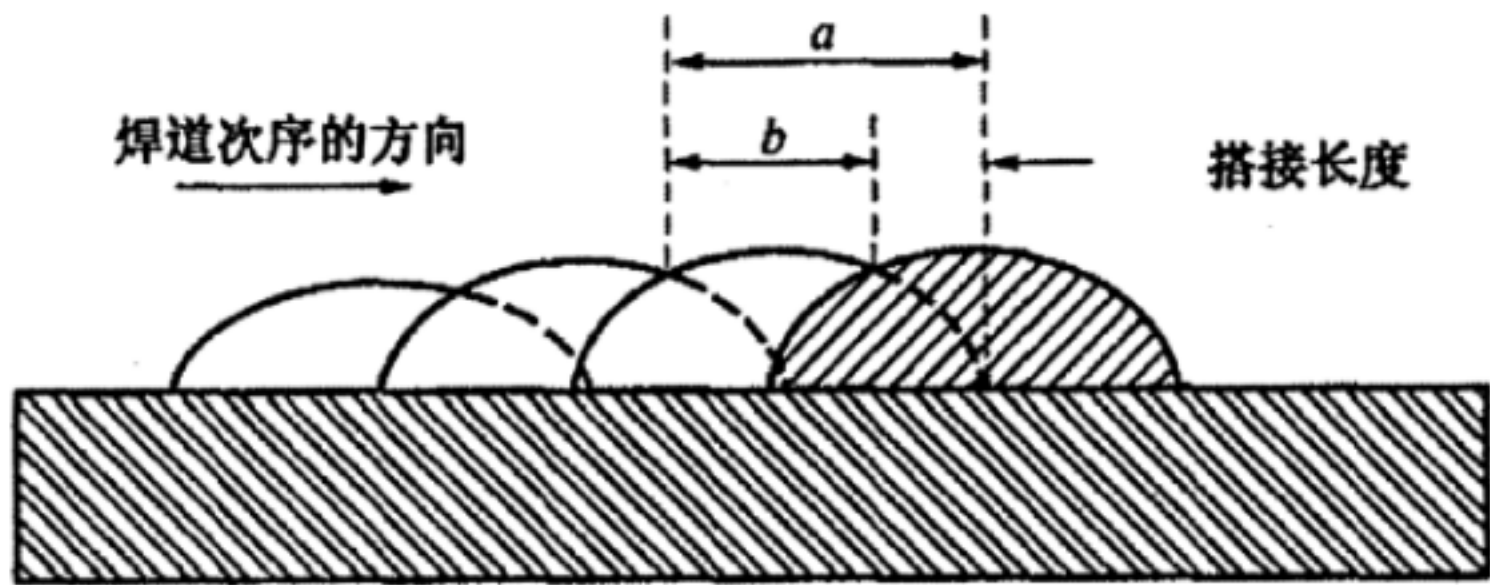
a) 与评定值比,热输入或单位长度焊缝上焊缝金属体积的改变如下(参见图B.1):

- 1) 增加或减少第一层回火焊道与紧邻母材焊道的热输入的比值,对于P-No.1和P-No.3材料超过20%,对于其他P-No材料超过10%。
- 2) 增加或减少第二层回火焊道与第一层回火焊道的热输入的比值,对于P-No.1和P-No.3材料超过20%,对于其他P-No材料超过10%。
- 3) 后续各层焊道的热输入的比值应保持不变,直到熔敷金属厚度至少达到5mm。
- 4) 对于基于冲击试验验收的评定,且填充金属免除回火焊道评定的情况,余下的填充焊道的热输入不得比评定值大50%。
- 5) 对于基于硬度试验验收的评定,余下的填充焊道的热输入不得比评定值小20%。



- 注1：只要满足最终焊道分布图，可以任何次序熔敷焊道。
- 注2：表面回火余高焊道可以覆盖整个焊缝表面，或也可以仅位于焊趾处，可以机械去除或保留。
- ^a 距离 S 的测量，是从焊趾到回火焊道边缘，测量应平行于母材表面进行。
- ^b 靠近完工表面的焊道，可以是回火焊道或表面回火余高焊道。

图 B. 1 回火焊道焊接技术术语



注：焊道搭接长度的测量： $\% \text{搭接长度} = (a - b) / a \times 100\%$ 。图中，阴影部分焊道覆盖前一焊道达到30%~40%，距离 a 的测量在下一焊道熔敷前进行。

图 B. 2 回火焊道的测量

- b) 使用以下方法确定热输入和单位长度焊缝上焊缝金属体积：
- 1) 对于机械焊或自动焊的钨极惰性气体保护电弧焊(141)和等离子弧焊（15）方法，按下式测量的功率系数增加或减少 10%：

$$\text{功率系数}(\text{W}/\text{mm}^2) = \text{电流}(\text{A}) \times \text{电压}(\text{V}) / ((\text{WFS}/\text{TS}) \times \text{Af})$$

式中:

A_f ——填充金属丝的横截面积(mm^2);

TS ——焊接速度;

WFS ——送丝速度。

2) 上述之外的其他方法, 按B.9.1 确定热输入和单位长度焊缝上焊缝金属体积。

B.10 焊接技巧

B.10.1 对于手工焊和半自动焊, 从线性焊道改为摆动焊道, 或相反。

B.10.2 改变喷嘴、气罩或导电嘴的尺寸。

B.10.3 改变焊前清理和层间清理方法(刷扫、打磨等)。

B.10.4 改变背面清根方法。

B.10.5 对于机械焊或自动焊方法, 改变摆动的宽度、频率或两端停留时间。

B.10.6 改变导电嘴到工件表面距离。

B.10.7 每一面的多道焊改为单道焊。当焊后经受高于上转变温度的焊后热处理(对于铁基材料), 或经受固溶热处理(对于奥氏体不锈钢材料, 或P-NO.10H双相钢材料), 本变素无效。

B.10.8 对于机械焊或自动焊, 从单丝焊变为多丝焊, 或相反。当焊后经受高于上转变温度的焊后热处理(对于铁基材料), 或经受固溶热处理(对于奥氏体不锈钢材料, 或P-NO.10H双相钢材料), 本变素无效。

B.10.9 对P-No.51到P-No.53母材(钛及钛合金), 从箱内焊接改为敞开式焊接需要重新评定, 反之不需要。

B.10.10 从熔透焊改为小孔焊, 或相反, 或两者兼有(即使每一种方式都单独评定过)。

B.10.11 改变电子束或激光束轴线与工件的角度。

B.10.12 对于机械焊或自动焊, 改变多个电极之间的距离。

B.10.13 改变焊接设备的类型或型号。

B.10.14 与评定值比, 增加真空室的绝对压力。

B.10.15 改变阴极的类型、尺寸或形状。

B.10.16 增加修饰焊道。

B.10.17 从单面焊改为双面焊, 或相反。

B.10.18 从手工焊或半自动焊改为机械焊或自动焊, 或相反。

B.10.19 增加或取消锤击。

B.10.20 从单道焊改变为多道焊, 或反之。

B.10.21 从多层堆焊改变为单层堆焊, 或反之。

B.10.22 对于埋弧焊和电渣焊, 取消焊接熔池磁场控制辅助装置。

B.10.23 焊接速度范围相对工艺评定报告值改变超过15%。

B.10.24 与工艺评定比, 焊炬相对工件的移动速度范围改变超过10%。

B.10.25 喷炬到工件的距离相对工艺评定值改变超过15%。

B.10.26 用于堆焊的母材表面制备方法的改变(如从喷砂改为化学清理)。

B.10.27 喷炬型号或喷嘴孔大小的改变。

B.10.28 已评定的熔化温度范围改变超过10%; 熔化温度下的冷却速率变化超过 $28\text{ }^{\circ}\text{C/hr}$; 改变熔化方法(如用焊炬、炉子或感应加热)。

B.10.29 压缩电弧从转移型变为非转移型, 或相反。

B.10.30 改变等离子枪压缩电弧喷嘴直径。

B.10.31 改变作用于同一焊接熔池的电极数量。

- B. 10. 32 改变填充丝送入熔池的方式, 如从焊炬前沿、尾部、侧边或通过焊炬中心。
- B. 10. 33 焊道中心距变化超过20%。
- B. 10. 34 表面回火焊道的取消(见图B.2), 或表面回火焊道从覆盖焊缝表面改变到仅沿焊趾熔敷。
- B. 10. 35 从机械焊或自动焊接变到手工或半自动焊接。
- B. 10. 36 除非WPS要求焊前使用打磨去除金属, 待焊表面的制备增加热加工的方法。
- B. 10. 37 从表面回火焊道的边缘到焊趾(见图B.2) 的近似距离的改变。
- B. 10. 38 当表面回火焊道的余高层要去除时, 去除的方法包括预防焊缝表面过热的规定。
- B. 10. 39 邻近母材金属的每个回火焊道层的焊缝焊道, 其焊道宽度 b , 与原先焊道搭接相关的宽度 a , 如图B.2所示, 应规定于WPS上。
- a) 搭接率在25%至75%之间的不要求评定。
 - b) 搭接率大于75%时, 应使用期望的搭接率焊接一个试件进行评定。其评定的搭接率最小为50%;
 - c) 搭接率小于25%时, 应使用期望的搭接率焊接一个试件进行评定。其评定的搭接率最小为评定试件搭接率, 最大为50%。
- B. 10. 40 对于采用P-No.11A和PNo.11B母材制作的容器, 厚度小于16 mm时, 如产品焊缝的坡口制备使用热加工方法, 工艺评定试件坡口制备也要采用同样的热加工方法。坡口制备包括背面清根、背面开槽或清除有缺陷的焊缝金属。
- B. 10. 41 清理表面或除去较小表面缺陷时, 增加或取消打磨(即采用或不采用半焊道技术)。

B. 11 材料分组

材料按表B.2进行分组。

表B. 2 材料分组

P-No.	Group No.	能源行业标准号	牌号	制品型式	UNS.	最低抗拉强度	ASME 标准号及牌号
1	1	NB/T 20005.33	15Mn	钢管	K03006	415	SA-333 Gr.6
1	1	NB/T 20005.41	15Mn	钢管	K03006	415	SA-106 Gr.B
1	2	NB/T 20005.31	15Mn	锻件	K03011	485	SA-350 LF2
1	2	NB/T 20005.32	15MnHR	钢板	K02700	485	SA-516 Gr.70
1	2	NB/T 20005.39	15Mn	锻件	K03011	485	SA-350 Gr.LF2 Cl.1
1	2	NB/T 20005.37	17Mn	锻件	K13502	485	SA-508 1A
1	2	NB/T 20005.38	15MnHR	钢管	K02700	485	SA-671 Gr.CC70 Cl.21
1	2	NB/T 20005.40	15Mn	钢板	K02700	485	SA-516 Gr.70
1	3	NB/T 20006.31	10MnNiMoHR	钢板	K12007	585	SA-738Gr.B
1	4	暂无					
3	1	暂无					
3	2	暂无					
3	3	NB/T 20006.36	19MnNiMo	锻件	K12042	550	SA-508 Gr.3 Cl.1
3	3	NB/T 20006.37	19MnNiMo	锻件	K12042	550	SA-508 Gr.3 Cl.1
3	3	NB/T 20006.38	19MnNiMo	锻件	K12042	550	SA-508 Gr.3 Cl.1
3	3	NB/T 20006.42	20MnNiMo	锻件	K12042	620	SA-508 Gr.3 Cl.2
3	3	NB/T 20006.43	13MnNiMo	钢板	K12539	550	SA-533 B Cl.1

表 B.2 材料分组 (续)

P-No.	Group No.	能源行业标准号	牌号	制品型式	UNS.	最低抗拉强度	ASME 标准号及牌号
4	1	NB/T 20006.32	15Cr1Mo	锻件	K11572	485	SA-182 Gr.F11 Cl.2
4	1	NB/T 20006.33	10Cr1Mo	无缝钢管	K11597	415	SA-335 Gr.P11
4	1	NB/T 20006.34	10Cr1Mo	无缝管配件	K11597	415	SA-234 Gr.WP11 Cl.1
4	2	暂无					
5A		暂无					
5B		暂无					
5C		暂无					
6	1	NB/T 20007.39	12Cr13	钢棒	S41000	760	ASTM A479—2006 410
6	3	NB/T 20007.45	04Cr13Ni5Mo	锻件	S41500	790	SA-182F6NM
6	4	NB/T 20007.42	05Cr17Ni4Cu4Nb	钢棒	S17400	965	SA-564630
7	1	NB/T 20007.46	06Cr13Al	钢板	S40500	415	SA-240 405 及 SA-480 405
7	1	NB/T 20007.47	06Cr13Al	扁钢	S40500	415	SA-479 405
7	2	暂无					
8	1	NB/T 20007.31	022Cr19Ni10	锻件	S30403	485	SA-182 F304L
8	1	NB/T 20007.32	022Cr19Ni10	无缝钢管	S30403	485	SA-312 TP304L
8	1	NB/T 20007.33	015Cr17Ni12Mo2 N	锻管	S31653	515	SA-376 TP316LN
8	1	NB/T 20007.35	06Cr18Ni11Ti	钢板	S32100	515	SA-240 321
8	1	NB/T 20007.36	022Cr19Ni10N	锻棒	S30453	515	SA-182F304LN
8	1	NB/T 20007.37	022Cr19Ni10N	锻、轧棒	S30453	515	ASTM A479 304LN
8	1	NB/T 20007.38	06Cr17Ni12Mo2	钢棒	S31600	515	ASTM A193 B8M
8	1	NB/T 20007.40	05Cr19Ni10	锻件	S30400	485	SA-965 F304
8	1	NB/T 20007.40	06Cr19Ni10	锻件	S30409	485	SA-965 F304H
8	1	NB/T 20007.41	05Cr19Ni10	无缝钢管	S30400	515	SA-376 TP304
8	1	NB/T 20007.43	022Cr17Ni12Mo2 N	锻件	S31603	515	SA-182 316LN
8	1	NB/T 20007.44	015Cr17Ni12Mo2 N	钢管	S31651	550	SA-312 316LN
8	2	暂无					
8	3	暂无					
8	4	暂无					
9A		暂无					

表 B.2 材料分组 (续)

P-No.	Group No.	能源行业标准号	牌号	制品型式	UNS.	最低抗拉强度	ASME 标准号及牌号
9B		暂无					
9C		暂无					
10A		暂无					
10B		暂无					
10H	1	NB/T 20007.34	03Cr22Mn5Ni2MoCuN	钢板	S32101	650	ASTM A240
10H	1	NB/T 20007.28	ZG03Cr22Ni6Mo3N	铸件	J92205	620	SA-995Gr.4A
10H	1	NB/T 20007.28	ZG04Cr26Ni5Cu3Mo2N	铸件	J93372	690	SA-995Gr.1B
10H	1	NB/T 20007.28	ZG03Cr25Ni7Mo5N	铸件	J93404	690	SA-995Gr.5A
10H	1	NB/T 20007.28	ZG03Cr25Ni8Mo4CuWN	铸件	J93380	690	SA-995Gr.6A
10H	1	NB/T 20007.29	ZG06Cr26Ni5Mo2N	铸件	J93371	655	ASTM A 890 Gr.3A
10H	1	NB/T 20007.29	ZG03Cr22Ni6Mo3N	铸件	J92205	620	ASTM A 890 Gr.4A
10H	1	NB/T 20007.29	ZG03Cr25Ni7Mo5N	铸件	J93404	690	ASTM A 890 Gr.5A
10H	1	NB/T 20007.29	ZG03Cr25Ni8Mo4CuWN	铸件	J93380	690	ASTM A 890 Gr.6A
10H	1	NB/T 20007.29	ZG04Cr26Ni5Cu3Mo2N	铸件	J93372	690	ASTM A 890 Gr.1B
10I		暂无					
10J		暂无					
10K		暂无					

表 B.2 材料分组（续）

P-No.	Group No.	能源行业标准号	牌号	制品型式	UNS.	最低抗拉强度	ASME 标准号及牌号
11A		暂无					
11B		暂无					
11C		暂无					
15E		暂无					
41		暂无					
42		暂无					
43		NB/T 20008.28	NS3105	锻件	N06690	586	SB-564N06690
43		NB/T 20008.29	NS3105	板材带材	N06690	586	SB-168 N06690
43		NB/T 20008.30	NS3105	管材	N06690	586	SB-167 N06690
43		NB/T 20008.31	NS3105	棒材	N06690	586	SB-166N06690
43		NB/T 20008.34	NS3105	U 形管	N06690	586	SB-163 N06690
43		NB/T 20008.35	NS3105	无缝管	N06690	586	SB-163N06690
44		暂无					
45		暂无					
46		暂无					
47		暂无					
48		暂无					
49		暂无					
61		暂无					
62		暂无					

B.12 焊材分组

焊接材料的分组主要根据使用特性,后者基本上能决定焊工采用给定的填充金属能否焊出满意的焊缝的能力。分组的目的在于减少焊接工艺评定和技能评定的数量。这种分组并不意味着对于评定试验所采用的某一金属可以不加区别地用同一组内的母材或或填充金属来代替。而不从冶金性能、焊后热处理、设计和使用要求,以及力学性能等观点来考虑母材和填充金属的适配性。

钢及钢合金焊接材料按表B.3进行分组,镍及镍合金焊接材料按表B.4进行分组,耐磨堆焊层焊接材料按表B.5进行分组。

表B.3 钢及钢合金焊接材料分组号

F-No.	NB 行业标准号及型号	UNSN.	SFA 标准及型号
1	暂无		
2	暂无		
3	暂无		
4	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第21部分 安全级设备用碳钢手工电弧焊焊条 E5015	...	SFA-5.1M E4915

表B.4 表 B.3 钢及钢合金焊接材料分组号 (续)

F-No.	NB 行业标准号及型号	UNSN.	SFA 标准及型号
4	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 21 部分 安全级设备用碳钢手工电弧焊焊条 E5016	...	SFA-5.1M E4916
4	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 21 部分 安全级设备用碳钢手工电弧焊焊条 E5018	...	SFA-5.1M E4918
4	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 22 部分 安全级设备用低合金钢手工电弧焊焊条 E5515-G、E6215-G、	...	SFA-5.5M E(X)XX15-X
4	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 22 部分 安全级设备用低合金钢手工电弧焊焊条 E5516-G、E6216-G	...	SFA-5.5M E(X)XX16-X
4	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 22 部分 安全级设备用低合金钢手工电弧焊焊条 E5518-G、E6218-G、E6218M	...	SFA-5.5M E(X)XX18-X
4	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 35 部分 钢制安全壳用低合金钢焊条 E6218-G-H4	...	SFA-5.5M E(X)XX18-X
5	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 23 部分 安全级设备用不锈钢手工电弧焊焊条 E308 E309 E316		SFA-5.4M EXXX(X)-15
5	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 23 部分 安全级设备用不锈钢手工电弧焊焊条 E308 E309 E316		SFA-5.4M EXXX(X)-16
5	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 23 部分 安全级设备用不锈钢手工电弧焊焊条 E308 E309 E316		SFA-5.4M EXXX(X)-17
6	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 27 部分 安全级设备用不锈钢焊丝 ER308L、ER309L 及 ER316L	...	SFA-5.9M ER308L, ER309L, ER316L
6	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 29 部分 安全级设备埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂 EM12K	...	SFA-5.17M EM12K
6	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 26 部分 安全级设备用碳钢气体保护电弧焊焊丝 ER50-6	...	SFA-5.18M ER48S-6
6	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 25 部分 安全级设备用碳钢气体保护电弧焊药芯焊丝 E501T-1	...	SFA-5.20M E49T-1
6	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 30 部分 安全 1 级设备埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂 EA3 (N)、EF2N、EF3、EM2 和 EG	...	SFA-5.23M EA3 (N)、EF2N、 EF3、EM2 和 EG
6	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料第33部分 安全级设备埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂 ER308L		ER308L

表B. 5 镍及镍合金焊接材料分组号

F-No.	NB 行业标准号及型号	UNSN.	SFA 标准及型号
43	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 24 部分 安全级设备用镍基合金手工电弧焊焊条 ENiCrFe-7	W86152	SFA 5.11M ENiCrFe7
43	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 28 部分 安全级设备用镍基合金 ERNiCrFe-7、ERNiCrFe-7A	N06052	SFA 5.14 M ERNiCrFe7、 ERNiCrFe-7A
43	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 34 部分 安全级设备镍基合金堆焊用焊带和焊剂 EQNiCrFe-7 和 EQNiCrFe-7A	—	SFA 5.14M EQNiCrFe-7 和 EQNiCrFe-7A

表B. 6 耐磨堆焊层焊接材料分组号

F-No.	NB 行业标准号及型号	UNSN.	SFA 标准及型号
71	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 14 部分 1、2、3 级设备用硬质合金堆焊焊接材料 ECoCr-A, ECoCr-B, ECoCr-E	W73006 W73012 W73021	SFA-5.13 ECoCr-A ECoCr-B ECoCr-E
72	NB/T20009 压水堆核电厂用焊接材料 第 14 部分 1、2、3 级设备用硬质合金堆焊焊接材料 ERCoCr-A, ERCoCr-B, ERCoCr-E	R30006 R30012 R30021	SFA-5.21 ERCoCr-A ERCoCr-B ERCoCr-E

B. 13 焊缝金属化学成分分组

B. 13. 1 总则

PQR和WPS上焊缝金属化学成分确定方法应按附录B.4.5的规定。

B. 13. 2 A-No.

工艺评定用铁基焊缝金属化学成分分类见表B.6。

表B. 7 工艺评定用铁基焊缝金属化学成分分类

A-No.	熔敷金属类型	化学成分					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	碳钢	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% to 4%) 钼	0.15	2.00~4.00	0.40~1.50	...	1.60	2.00
5	铬(4% to 10.5%)钼	0.15	4.00~10.50	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	1.0

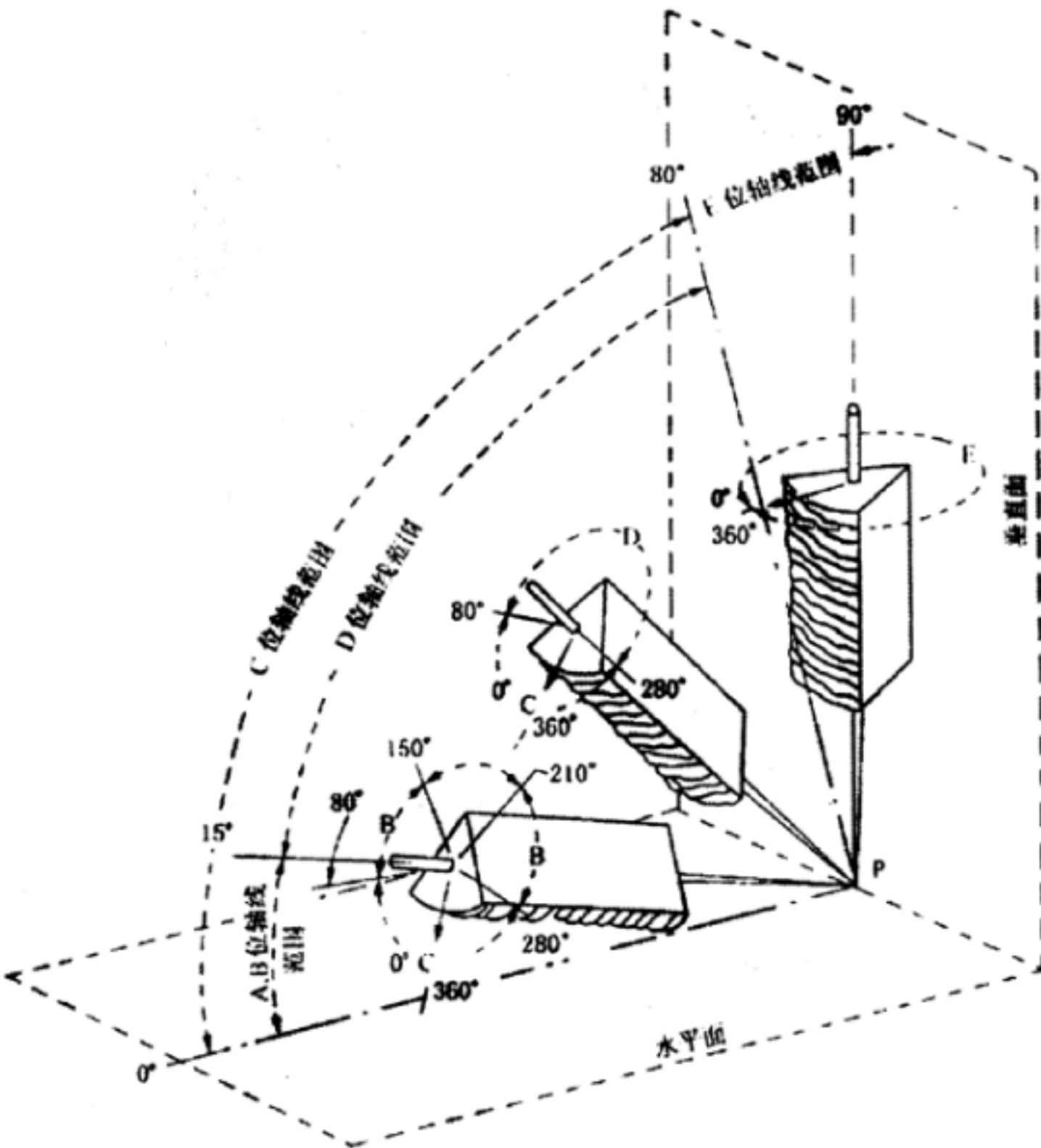
表 B. 6 工艺评定用铁基焊缝金属化学成分分类（续）

A-No.	熔敷金属类型	化学成分					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
9	铬-镍	0.30	19.00~30.00	6.00	15.00~37.00	2.50	1.00
10	镍(0.80-4.00%)	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	锰-铬-钼	0.15	1.50	0.25~0.80	1.25~2.80	0.75~2.25	1.00

附录 C
(资料性附录)
焊接位置

C.1.1 焊缝方位

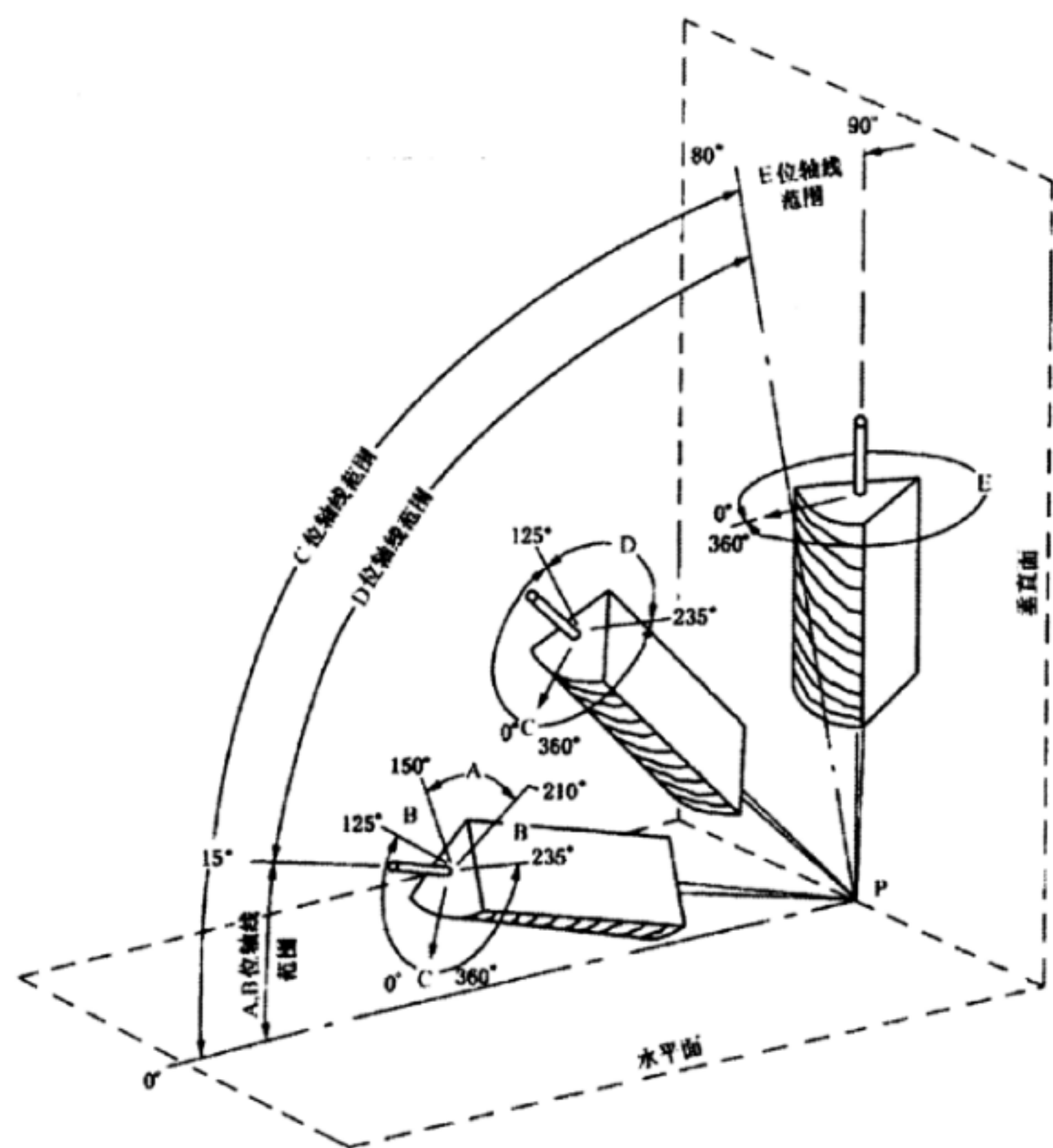
焊缝方位图示于图C.1或图C.2。



位置	参考图	焊缝轴线倾角 °	焊缝面转角 °
平焊F	A	0~15	150~210
横焊H	B	0~15	80~150 210~280
仰焊O	C	0~80	0~80 280~360
立焊V	D	15~80	80~280
	E	80~90	0~360

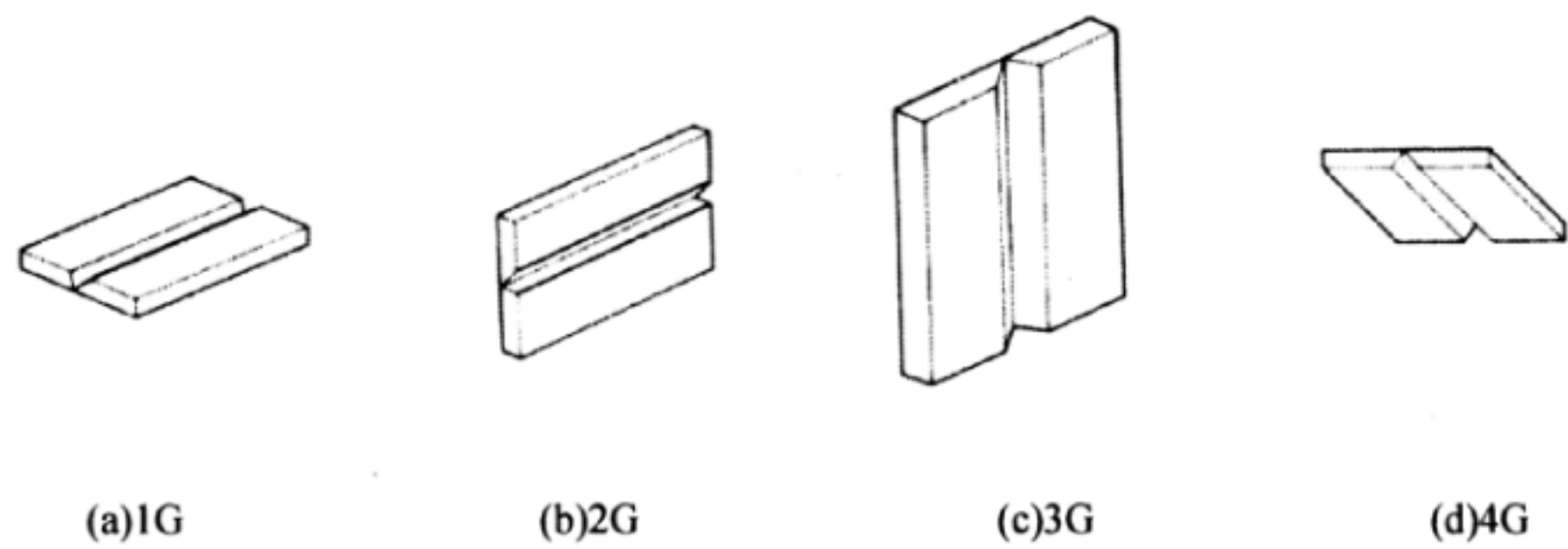
- 注1：水平参考面水平参考平面永远取在所考虑的焊缝下方。
- 注2：轴线倾角是从水平参考平面量起，指向垂直平面。
- 注3：焊缝面转角是从包括焊缝轴线的垂直平面并与该轴线相垂直的线量起。
- 注4：焊缝面转角的这一参考位置，其指向永远与轴线倾角增大的方向相反。
- 注5：当从P点观察时，焊缝面转角是从参考位置（0°）按顺时针方向测量的。

图C.1 焊接位置——对接焊缝

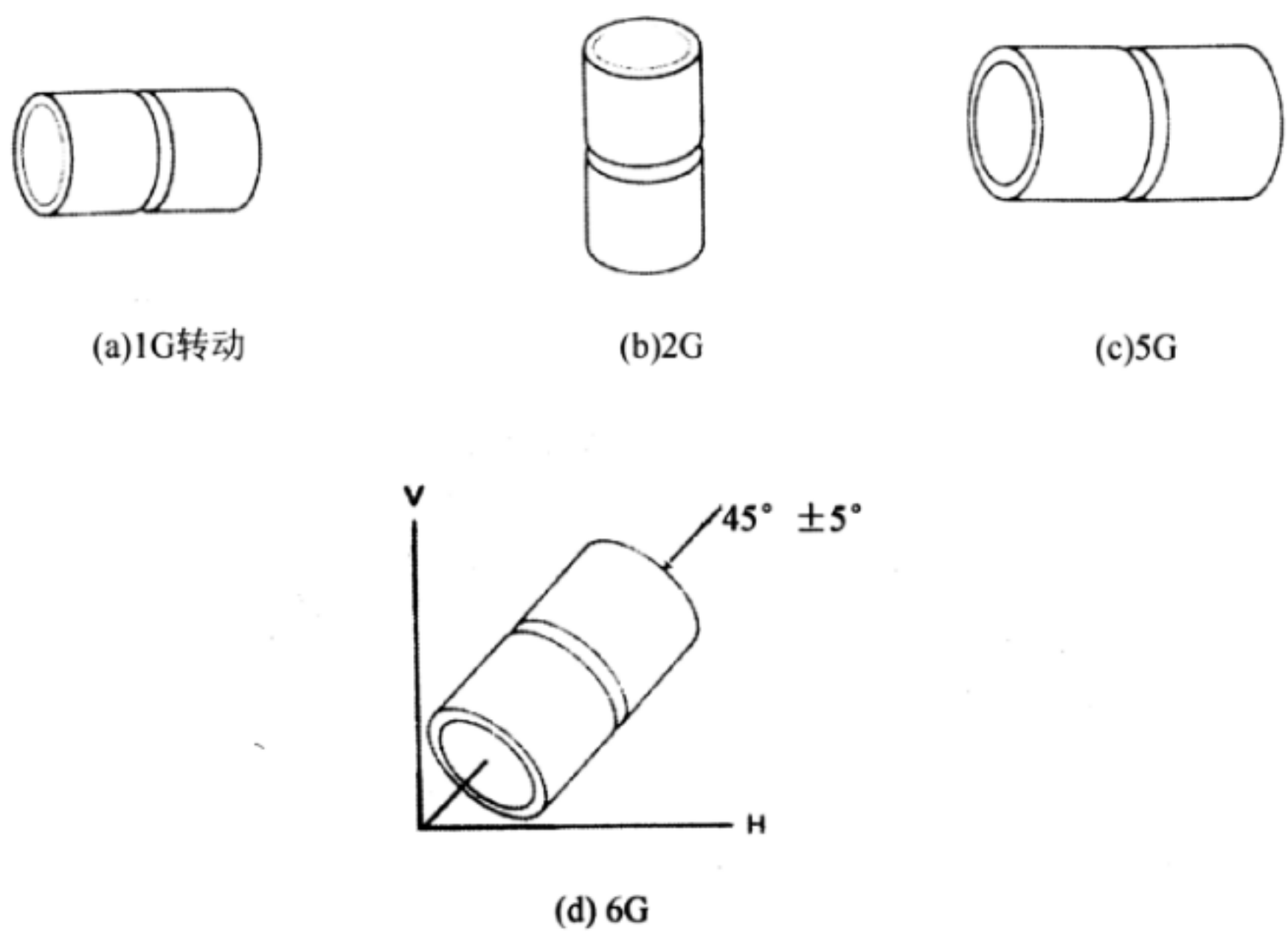


位置	参考图	焊缝轴线倾角 °	焊缝面转角 °
平焊F	A	0~15	150~210
横焊H	B	0~15	215~150 210~235
仰焊O	C	0~80	0~125 235~360
立焊V	D	15~80	125~235
	E	80~90	0~360

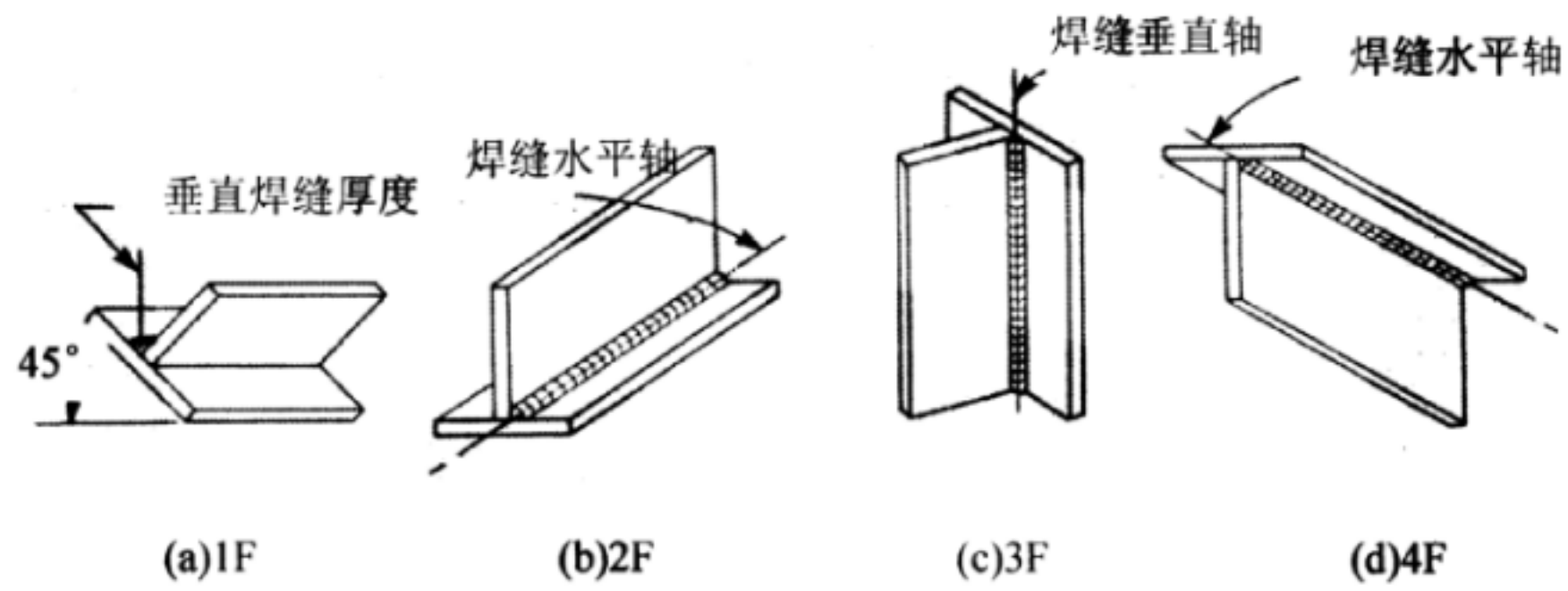
图C.2 焊接位置——角焊缝



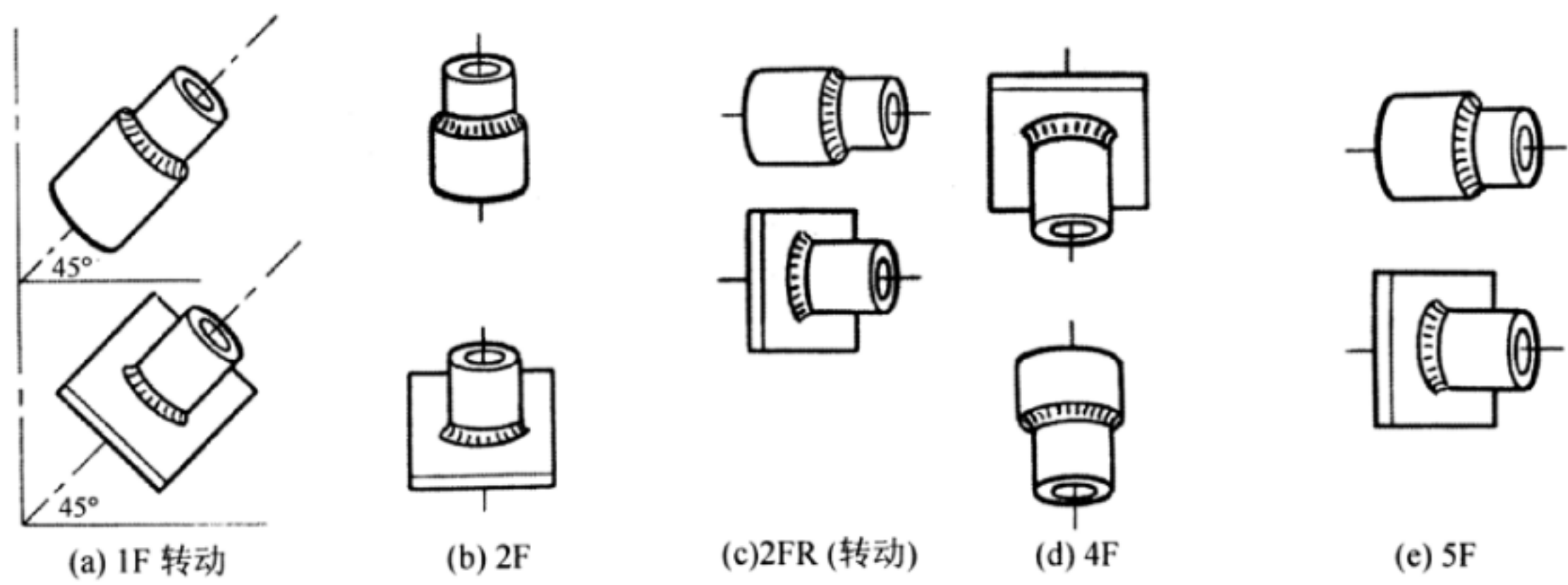
图C.3 板材对焊焊缝——试验位置



图C.4 管子对焊焊缝——试验位置



图C.5 板材角焊缝——试验位置



图C.6 管子角焊缝——试验位置

C.1.2 坡口焊缝的试验位置

C.1.2.1 坡口焊缝可由试件以图C.3中任何位置焊成，其位置详见下述。焊接时，除容许焊缝方位与规定水平面和垂直面有 $\pm 15^\circ$ 的角偏差外，还容许焊缝方位与规定斜面有 $\pm 5^\circ$ 的角偏差。

C.1.2.2 板的焊接位置：

a) 平焊位置1G：

板处于水平面内，焊缝金属在板的上方熔敷，见图C.3(a)；

b) 横焊位置2G：

板处于垂直平面内，焊缝轴线是水平的，见图C.3(b)；

c) 立焊位置3G：

板处于垂直平面内，焊缝轴线是垂直的，见图C.3(c)；

d) 仰焊位置4G：

板处于水平面内，焊缝金属从板的下方向上熔敷图C.3(d)。

C.1.2.3 管子焊接位置：

a) 平焊位置1G：

管子轴线水平，焊接时管子转动，焊缝金属从上面熔敷，见图C.4(a)；

b) 横焊位置2G：

管子轴线垂直，焊缝轴线处于水平面内，焊接时管子不转动，见图C.4(b)；

c) 多位置5G：

管子轴线水平放置，焊缝彼口在垂直面内，焊接时管子不转动，且图C.4(c)；

d) 多位置6G：

管子轴线与水平面成 45° 倾斜角，焊接时管子不转动，见图C.4(d)。

C.1.3 角焊缝的试验位置

C.1.3.1 角焊缝试件的方位可以取图C.5和图C.6中任一位置，如以下几节所述。施焊时，对指定水平面和垂直面容许有 $\pm 15^\circ$ 的角偏差。

板的焊接位置：

a) 平焊位置1F：

平板所处位置应使熔敷焊缝的轴线是水平的，而焊缝厚度是垂直的，见图C.5(a)；

b) 横焊位置2F：

平板所处位置应使熔敷焊缝的轴线是水平的，并且位于水平板的上面，靠着垂直板面，见图C.5(b)；

c) 立焊位置3F：

平板所处的位置应使熔敷焊缝的轴线是垂直的，见图C.5(c)；

d) 仰焊位置4F：

平板所处位置应使熔敷焊缝的轴线是水平的，并且位于水平板的下面，靠着垂直板面，见图C.5(d)。

C.1.3.2 平焊位置1F管子轴线与水平面成 45° 倾斜角，焊接时管子旋转，焊缝金属从上面熔敷。在熔敷处焊缝轴线是水平的，焊缝厚度是垂直的，见图C.6(a)。

管子焊接位置：

a) 横焊位置2F和2FR

1) 位置2F：

管子轴线是垂直的,熔敷焊缝位于水平面上,并与垂直表面相连。焊接时焊缝轴线是水平的,管子不转动,见图C.6(b)。

2) 位置2FR:

管子轴线是水平的,熔敷焊缝的轴线在垂直面上。焊接时管子转动,见图C.6(c)。

b) 仰焊位置4F

管子轴线是垂直的,焊缝被熔敷于一个管子的下端面,并与另管子的垂直圆柱面相连。焊接时焊缝轴线是水平的。管子不转动,见图C.6(d)。

c) 多位置5F

管子轴线是水平的。熔敷焊缝的轴线在垂直面上。焊接时管子不转动。见图C.6(e)。

附录 D
(资料性附录)
焊接用表

焊接工艺规程 (WPS) 的推荐格式		1/2页
WPS No. _____ 修改号: _____		
公司名称 _____		签字人 _____
WPS No. _____	日期 _____	依据的PQR编号 _____
修改号No. _____	日期 _____	
焊接方法 _____ 自动化程度 (自动、手工、机械或半自动) _____		
接头 (B. 2)		详图: 应当用简图、产品详图、焊接符号或文字描述给出被焊零件布置, 当需要时, 可给出坡口尺寸详图 (制造商可选择附简图, 用于说明接头型式、焊层数和焊道顺序。例如对有缺口韧性要求的焊接工艺、组合焊接工艺等需要简图)
接头型式: _____		
根部间隙: _____		
衬垫 (型式): _____ (含衬垫金属或成型块)		
<input type="checkbox"/> 金属 <input type="checkbox"/> 不熔金属 <input type="checkbox"/> 非金属 <input type="checkbox"/> 其他材料		
母材 (B. 3)		
P-No. _____ Group No. _____ 与 P-No. _____ Group No. _____ 相焊 或:		
钢号和等级或UNS No为: _____ 与钢号和等级或UNS No为: _____ 相焊或		
化学成分和力学性能为: _____ 与化学成分和力学性能: _____ 相焊		
厚度范围:		
母材: 坡口焊缝 _____ 角焊缝: _____		
最大焊道厚度 ≤ 13mm 是: _____ 否: _____		
其他: _____		
填充金属 (B. 4)		
SFA No:	1	2
AWS No:		
F-No.		
A-No.		
填充金属尺寸		
填充金属产品形式:		
附加填充金属:		
评定的焊缝金属厚度:		
坡口焊:		
角焊缝:		
焊丝—焊剂 (分类号):		
焊接类型:		
焊接商品名称:		
可熔化嵌条:		
其他:		
每种母材和填充金属的组合宜分别记录。		

图D.1 焊接工艺规程 (WPS) 的推荐格式

焊接工艺规程 (WPS) 的推荐格式		2/2页																				
WPS No. _____ 修改号: _____																						
<p style="text-align: center;">焊接位置 (B. 5)</p> <p>坡口焊缝位置: _____</p> <p>焊接方向: 向上 _____ 向下 _____</p> <p>角焊缝位置: _____</p> <p>其他: _____</p>	<p style="text-align: center;">焊后热处理 (B. 7)</p> <p>温度范围: _____</p> <p>时间范围: _____</p> <p>其他: _____</p>																					
<p style="text-align: center;">预热 (B. 6)</p> <p>最低预热温度: _____</p> <p>最高道间温度: _____</p> <p>预热保持方式: _____</p> <p>其他: _____</p> <p>(当应用连续或特殊的加热时, 宜记录)</p>	<p style="text-align: center;">气体 (B. 8) (百分比)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">气体</th> <th style="text-align: center;">混合比</th> <th style="text-align: center;">流量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>保护气: _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>尾部保护气: _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>背面保护气: _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>其他: _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>			气体	混合比	流量	保护气: _____	_____	_____	_____	尾部保护气: _____	_____	_____	_____	背面保护气: _____	_____	_____	_____	其他: _____	_____	_____	_____
	气体	混合比	流量																			
保护气: _____	_____	_____	_____																			
尾部保护气: _____	_____	_____	_____																			
背面保护气: _____	_____	_____	_____																			
其他: _____	_____	_____	_____																			

电特性 (B. 9)										
焊道	焊接方法	填充金属		电流类型和极性	安培 (范围)	送丝速度 (范围)	能量或功率 (范围)	电压 (范围)	焊接速度 (范围)	其他 (热丝、技巧、焊炬角度等说明)
		牌号	直径							
应对每种焊接材料规格、焊接位置和厚度等分别进行记录电流、电压、功率或线能量范围										
脉冲电流: _____ 热输入 (最大): _____										
钨极尺寸和类型: _____ (纯钨极、2%钍钨极等)										
金属过渡方式: _____ (喷射过渡、短路过渡)										
送丝速度范围: _____										
其他: _____										
焊接技巧 (B. 10)										
直进焊或横摆焊: _____										
嘴孔或喷嘴尺寸: _____										
打底焊道和中间焊道的清理方法: _____										
背面清根方法: _____										
横摆方法: _____										
导电嘴至工件距离: _____										
每侧多道焊或单道焊: _____										
多丝焊或单丝焊: _____										
电极间距: _____										
锤击有无: _____										
其他: _____										

图D.1 (续)

工艺评定报告 (PQR) 的推荐格式				
记录焊接试件的真实变素				1/2页
公司名称 _____				
PQR No		日期:		WPS No.
焊接方法			自动化程度 (自动、手工、机械或半自动)	
接头 (B. 2)				
<p style="text-align: center;">试件坡口设计</p> <p style="text-align: center;">((如果所用的焊接方法或焊接工艺多于一种, 则评定时应按每种填充金属或焊接方法分别记录其厚度))</p>				
母材 (B. 3)			焊后热处理 (B. 7)	
材料标准号: _____			温度: _____	
钢号/等级或UNS No 为: _____			时间: _____	
P-No. _____	Group No. _____	与	其他: _____	
P-No. _____	Group No. _____	相焊	气体 (B. 8) (百分比)	
试件厚度: _____			气体	混合比
试件直径: _____			保护气:	_____
最大焊道厚度: _____			尾部保护气:	_____
其他: _____			背面保护气:	_____
填充金属 (B. 4)	1	2	其他: _____	
SFA No. :	_____	_____		
AWS No. : _	_____	_____	电特性 (B.9)	
填充金属 F-No. :	_____	_____	电流种类: _____	
焊缝金属 A-No. :	_____	_____	极性: _____	
填充金属尺寸:	_____	_____	安培数: _____	
填充金属产品形式:	_____	_____	伏特数: _____	
附加填充金属:	_____	_____	钨极尺寸: _____	
焊丝-焊剂分类号:	_____	_____	131/135/136/137 焊接方法 的金属过渡模式: _____	
焊剂类型:	_____	_____	热输入: _____	
焊剂商品名称:	_____	_____	其他: _____	
熔敷焊缝金属厚度:	_____	_____	_____	
其他:	_____	_____	_____	
焊接位置 (B. 5)			焊接技巧 (B. 10)	
坡口焊缝位置: _____			焊接速度: _____	
焊接方向 (向上/向下) : _____			直进焊或横摆焊: _____	
其他: _____			摆参数: _____	
预热 (B. 6)			每侧多道焊或单道焊: _____	
预热温度: _____			多丝焊或单丝焊: _____	
道间温度: _____			其他: _____	
其他: _____			_____	

图D.1 (续)

工艺评定报告（PQR）的推荐格式							2/2页
PQR No _____							
拉伸试验 (5.2.2.3)							
试样No.	宽	厚	面积	抗拉强度	屈服强度	破坏性质和位置	
弯曲试验							
类型和图号			结果				
韧性试验 (5.2.2.5)							
试样No.	缺口位置	试样尺寸	试验温度	冲击试验			落锤试验
				冲击吸收功, J	剪切面%	侧膨胀值, mm	
说明: _____							
角焊缝试验 (6.5)							
结果是否合格: 是 _____ 否 _____ 是否熔透母材: 是 _____ 否 _____							
宏观金相检验结果: _____							
其他试验							
试验类型: _____							
熔敷金属成分: _____							
其他: _____							
焊工姓名: _____ 编号 _____							
试验执行人员: _____ 试验编号 _____							
兹证明本报告所述均属正确, 并且试验是根据NB/T 20450要求进行试件的准备、焊接和试验的。							
日期: _____ 负责人: _____							

图D.1 （续）