

AWS

美国国家标准

AWS D15.1/D15.1M:2012
18.04.12

车辆和机车铁路焊接工艺规范

Railroad Welding Specification for Cars and Locomotives

美国国家标准

美国国家标准

车辆和机车铁路焊接工艺规范

Railroad Welding Specification for Cars and Locomotives

翻译单位 上海晨辉公司

翻译 潘志刚

校对 王允金

编辑 陈君

2015 年 3 月

摘要

本规范确立了铁路设备制造和维护的最低标准。第 4 条至第 17 条涵盖铁路行业焊接的一般要求。第 18 条至第 24 条涵盖了母材（厚度小于 1/8 英寸 [3 mm]）焊接的特殊要求。

国际标准书号：978-0-87171-813-6

美国焊接协会

8669 Doral Blvd., Doral, FL 33166

美国焊接协会登记版权 © 2012

侵权必究

印刷于美国

影印权。事先没有版权所有者的书面许可，本标准的任何部分不得复制、存储于可检索系统中，也不得以任何形式，包括机械的、影印的、记录的或以其他方式传播。

倘若给版权清算中心支付适当的费用，美国焊接协会可以授予影印标准条款仅作为内部、个人或教学之用，或特别的用户仅作内部、个人或教学之用。版权清算中心地址：222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923，电话：(978) 750-8400；互联网网址：www.copyright.com。

关于美国焊接协会标准的使用的声明

美国焊接协会 (AWS) 的所有标准（典范、规范、建议操作规程、方法、分类和指南），是按照美国国家标准协会 (ANSI) 的规则编制的、自愿采用的、代表多数人意见的标准。如果联邦或州法律和法规或其他政府机构法规涉及的文件中采纳或包含 AWS 美国国家标准，则其条款具有完全的法律法令效力。在此类情况下，在 AWS 标准成为所述法律和法规的一部分之前，对其进行的任何变更必须由具有法定权限的政府机构批准。在所有情况下，这些标准在采用 AWS 标准的合同或其他文件中具有完全的法律效力。如果存在该契约关系，则对 AWS 标准要求的更改或偏离必须由合同各方达成协议。

AWS 美国国家标准是通过多数人同意的标准制定程序制定的，结合了代表不同观点和不同利益的志愿者们，以达成共识。AWS 管理这个过程并建立规则来推进代表多数人意见的标准制定程序的公平，它不独立地试验、评价和验证包含在其标准中的任何资料的准确性或任何判断的公正性。

美国焊接协会拒绝任何因本标准的发行、使用或信赖而产生的人身或财产伤害或其他自然损害的责任，无论是特殊、间接的、因果关系的或直接间接代偿性的。美国焊接协会也不对这里公布的任何资料的正确性或完整性作任何保证或担保。

在发行和使用本标准期间，AWS 没有承诺为了任何个人或实体的利益提供专业的或其他的服務，也没有承诺为任何个人或实体执行任何义务。任何使用这些文件的人应当依赖于他或她的独立判断，或者适当地寻求有能力的专业人员对确定任何特定情况下的实施和合理的注意事项以忠告。应该说，本标准及其条款的使用要依赖于那些有适当资格和能力的人员。

本标准可能为新版的发行所取代。本标准也可能通过发行修正案或勘误表进行修正。也可能通过发行附录进行补充。最新版本的美 国焊接协会标准上的信息包含修正案、勘误表以及附录，都会在美国焊接协会的网页 (www.aws.org) 上进行公布。使用者应确保其使用的是最新版本、补遗、勘误表和附录。

本标准的发行不意味着可以违犯任何专利或商标权。本标准的使用者要承担违反任何专利和商标权事务的任何或全部责任。美国焊接协会拒绝因使用本标准而违反任何专利或产品商标权的责任。

美国焊接协会不能监视、管辖和强迫对于本标准的符合性，它也没有权力这样做。

标准的正文、表格或图形印刷偶尔会有错误，构成勘误表。一经发现，我们会在美国焊接协会的网页 (www.aws.org) 上发布这一勘误表。

仅通过向适当的技术委员会递交书面请求，才可获得本标准任何技术要求的正式解释。这一的请求应当寄给美国焊接协会技术服务部主任收，抬头应写：**Managing Director, Technical Services Division, 8669 Doral Blvd., Doral, FL 33166**（见附录 G）。有关对于美国焊接协会标准的技术质询和口头意见也可呈递。此类意见仅用于向本标准使用者提供方便，而不构成专业的建议。此类意见仅代表特定个体对标准的个人意见。此类个人并不代表美国焊接协会，此类口头意见也不构成美国焊接协会的正式或非正式意见或解释。此外，口头意见是非正式的，不应视为代替正式解释。

本标准在任何时候都可能被 AWS D15 铁路焊接委员会修订。它每 5 年必须被评审一次，如果没有修改，则必须或者是再确认，或者是撤销。需要可用于完善本标准的注释（建议、增补或删除）和任何相关数据，并应将其寄送至 AWS 总部。这些注释将会受到 ASW D15 铁路焊接委员会的仔细考虑，注释的作者也会得到委员会对于注释反馈的通知。AWS D15 结构焊接委员会的所有会议也会要求客人出席以便口头上表述他们的注释。关于对所有这些注释作相反决议的诉求程序提供在技术活动委员会运行规则中 (**Rules of Operation of the**

Technical Activities Committee)。本规则的副本可以从美国焊接协会得到，地址为 8669 Doral Blvd., Doral, FL 33166。

欧洲标准

AWS D15.1/D15.1M:2012
AWS D15.1/D15.1M:2012
18.04.12

取代 AWS D15.1/D15.1M:2007

中文版
车辆和机车铁路焊接工艺规范

美国焊接协会 (AWS) D15 铁路焊接委员会 编制

AWS 技术活动委员会 指导

AWS 理事会 批准出版

工作人员

AWS D15 铁路焊接委员会

M. R. Untermeyer, 主席	Union Tank Car Company
R. A. Wolbert, 第一副主席	Progress Rail Services Corporation
J. B. Pearson Jr., 第二副主席	LTK Engineering Services
S. N. Borrero, 秘书	American Welding Society
D. M. Allbritten	General Electric—Rail
R. C. Bly	TTX Company—SRD
C. Boulden	Trinity Industries, Incorporated
L. B. Broadway	American Railcar Industries
N. S. Brown	Canadian Pacific Railway
R. A. Conrad	Hobart Brothers
S. A. Coughlin	Consultant
M. R. Desjardins	National Steel Car Limited
J. Haacke	Trinity Rail Group
D. S. Lassen	Greenbrier Rail Services
T. M. Nelson	LTK Engineering Services
B. W. Siebold	BNSF Railway Company
T. D. Spry	Electro Motive Diesel, Incorporated
L. H. Strouse	U.S. Department of Transportation
A. Willaredt	American Railcar Industries

AWS D15 铁路焊接委员会顾问

B. C. Blackwell	Standard Car Truck Company
W. Blamire	Norfolk Southern Corporation
J. L. Cooley	J. C. & Associates, Incorporated
W. Jaxa-Rozen	Bombardier Transportation
M. MacGillivray	Hobart Brothers of Canada Limited
J. R. Murray	TTX Company
R. D. Stiffler	United Industrial EMS
D. A. Wright	Wright Welding Technologies

AWS D15A 车辆和机车下属委员会

D. M. Allbritten, 主席	General Electric—Rail
----------------------	-----------------------

B. W. Siebold, 副主席	BNSF Railway Company
S. N. Borrero, 秘书	American Welding Society
B. C. Blackwell	Standard Car Truck Company
R. C. Bly	TTX Company—SRD
C. Boulden	Trinity Industries, Incorporated
L. B. Broadway	American Railcar Industries
N. S. Brown	Canadian Pacific Railway
R. A. Conrad	Hobart Brothers
S. A. Coughlin	Consultant
M. R. Desjardins	National Steel Car Limited
M. A. Forsstrom	Greenbrier Rail Services
J. Haacke	Trinity Rail Group

AWS D15A 车辆和机车下属委员会（续）

D. Knife	Select-Arc
D S. Lassen	Greenbrier Rail Services
A. M. Lowe	Trinity Rail Group
T. M. Nelson	LTK Engineering Services
M. E. Oddie	Electro Motive Diesel, Incorporated
J. B. Pearson, Jr.	LTK Engineering Services
G. J. Stahle	National Alabama Corporation
T. D. Spry	Electro Motive Diesel, Incorporated
G. J. Stahle	National Alabama Corporation
L. H. Strouse	U.S. Department of Transportation
M. R. Untermeyer	Union Tank Car Company
J. W. Weaver	American Railcar Industries
A. Willaredt	American Railcar Industries
R. A. Wolbert	Progress Rail Services Corporation

AWS D15A 车辆和机车下属委员会顾问

W. Jaxa-Rozen	Bombardier Transportation
K. R. Knarr	FreightCar America, Incorporated
M. A. Miller	Norfolk Southern Corporation
J. R. Murray	TTX Company

J. F. Sokolewicz

Trinity Rail Group

R. D. Stiffler

United Industrial EMS

D. A. Wright

Wright Welding Technologies

前言

本前言不是标准 **AWS D15.1/D15.1M:2012** 车辆和机车铁路焊接规范的一部分，
仅用于参考。

本规范确立了铁路设备制造和维护的最低标准。其由美国焊接协会的 **D15** 铁路焊接委员会发展和维护。

铁路部件的焊接对铁路行业至关重要。调查委员会建立于 **1982**，并建议均设立铁路焊接委员会以建立行业最低焊接标准。之所以提出该建议，是由于应用于铁路行业的享有焊接规范和指南存在混淆和不完整的问题。委员会由来自铁路行业所有部分的个体组成：用户、供应商、公众和美国铁路协会代表。

本规范旨在提供一个用于整个铁路行业的焊接数据综合文件。同时，规范应促进焊接质量和焊接性能的提高。本文件包括来自 **AWS D1.1/D1.1M** 钢结构焊接规范；**AWS D1.2/D1.2M** 铝结构焊接规范；**AWS D1.3/D1.3M** 薄钢板结构焊接规范；和 **AWS D1.6/D1.6M** 不锈钢结构焊接规范中的数据。

AWS D15.1-86 标题为铁路焊接规范。由于引入机车路段，所以在 **1993** 修订版中增加了后缀车辆和机车。随后的修订版 **AWS D15.1:2001** 于 **2001** 年发布。**AWS D15.2** 轨道车辆用轨道和相关轨道部件焊接的建议操作规程中对轨道焊接进行说明。

已对 **AWS D15.1/D15.1M:2012** 做了几处重要修订。应在页边空白垂线处对 **2007** 版本的修订版进行说明。焊接工艺评定和焊工技术鉴定的基本变量限制已以表格的形式进行了说明（分别为表 **10.1** 和 **11.1**）。搅拌摩擦焊接应包含在批准的焊接工艺表。**FCAW** 和 **GMAW** 额外预评定接头详图已添加（参见图 **7.1G** 和 **7.2A**）。表 **17.1**（焊口限制）已添加。第 **18** 条（金属薄片焊接）已修订。

接受促进本标准的注释和建议。应将其提交至美国焊接协会 **AWS D15** 铁路焊接委员会秘书，地址为 **8669 Doral Blvd., Doral, FL 33166**。

目录

页码

工作人员	2
前言	5
表格目录	6
图目录	8
1. 一般要求	10
1.1 范围	10
1.2 测量单位	10
1.3 安全	10
2. 规范性引用文件	10
3. 术语和定义	12
4. 总说明	13
5. 对所有焊接的要求	14
5.1 方法	14
5.2 焊接工艺评定	15
5.3 焊工和焊接操作工资格评定	15
5.4 焊接接头的设计	16
5.5 消耗材料	19
6. 技术和工艺	28
6.1 概述	28
6.2 母材的制备	28
6.3 钢和铝组件标准	30
6.4 焊缝剖面形状	31
6.5 焊接后修理	32
6.6 引弧	33
6.7 清洁和保护药皮	33
6.8 焊接停止	33
6.9 坡口焊缝衬垫	33
6.10 调质钢的热输入控制	34
6.11 消除应力热处理	34
6.12 锤击	34
6.13 螺柱电弧焊 (SW) 工艺	34
6.14 工件引线	35
6.15 焊接空气制动管	35
7. 免除评定的焊接工艺规程 — 接头设计细节	39
7.1 坡口焊缝尺寸 (有效焊缝尺寸)	39
7.2 接头设计	39

7.3	角焊缝	39
7.4	塞焊缝和槽焊缝细节	39
7.5	接头完全熔透坡口焊缝	40
7.6	部分接头熔透坡口焊缝	40
8.	免除评定的焊接工艺规程技术.....	71
8.1	母材、填充金属及相关金属要求	71
8.2	预热、道间、及焊后热处理 (PWHT) 的要求	71
8.3	焊条电弧焊 (SMAW)。	71
8.4	埋弧焊 (SAW).....	72
8.5	气体保护电弧焊和药芯焊丝电弧焊 (GMAW 和 FCAW)	74
8.6	塞焊缝和槽焊缝	75
8.7	焊接磨耗板和耐磨衬里。	75
9.	评定的一般要求	86
9.1	免除评定的工艺	86
9.2	评定工艺。	86
9.3	焊工、焊接操作工和定位焊工.....	86
9.4	评定责任	86
10.	工艺评定.....	87
10.1	基本变量范围。	87
10.2	试验类型和目的	87
10.3	母材及准备。	88
10.4	试验焊缝位置。	88
10.5	接头焊接工艺规程	89
10.6	试样：数量、类型以及准备	89
10.7	特殊试验条件.....	91
10.8	试样的试验方法	92
10.9	要求的试验结果。对试验结果的要求如下：	92
10.10	记录。	93
10.11	重新试验。	93
11.	焊工资格评定.....	121
11.1	概述	121
11.2	变量范围.....	121
11.3	要求的评定试验	121
11.4	板材的坡口焊缝资格评定试验.....	121
11.5	圆管或方管的坡口焊缝评定试验	121
11.6	角焊缝评定试验（仅对角焊缝而言）	121
11.7	试验焊缝位置（见表 11.4）	122
11.8	母材	122
11.9	接头焊接工艺规程	122
11.10	试样	122
11.11	试样的试验方法	122
11.12	要求的试验结果	123
11.13	重新试验	124

11.14	有效期	124
11.15	记录	124
12.	焊接操作工资格评定	139
12.1	概述	139
12.2	变量范围	139
12.3	焊接操作工的资格评定要求	139
12.4	母材	139
12.5	接头焊接工艺规程	139
12.6	试样：数量、类型以及准备	140
12.7	试样的试验方法	140
12.8	要求的试验结果	140
12.9	重新试验	140
12.10	有效期	140
12.11	记录	140
13.	定位焊工资格评定	142
13.1	概述	142
13.2	变量范围	142
13.3	要求的评定试验	142
13.4	母材	142
13.5	试样：数量、类型以及准备	142
13.6	试样的试验方法	142
13.7	要求的试验结果	142
13.8	重新试验	142
13.9	有效期	142
13.10	记录	142
14.	检验 — 一般要求	144
14.1	制造商的责任	144
14.2	指定检验员（生产检验员）	144
14.3	焊接检查	144
14.4	焊缝尺寸和位置	144
14.5	完工焊缝的目检	144
14.6	文件	144
14.7	监造检验	144
14.8	人员资格评定	145
15.	无损试验 (NDE) 一般要求	145
15.1	无损试验	145
16.	无损试验方法	146
16.1	坡口焊缝的射线照相试验	146
16.2	坡口焊缝的超声波试验	146
16.3	焊缝的液体渗透试验	148
16.4	焊缝的磁粉试验	148
17.	验收标准	158

17.1	临时焊缝.....	158
17.2	目检验收标准.....	158
17.3	射线照相试验验收标准	158
17.4	超声波试验验收标准.....	158
17.5	液体渗透试验验收标准	158
17.6	磁粉试验验收标准	158
18.	金属板焊接要求	160
18.1	焊接接头设计.....	160
18.2	板材焊接的接缝和工艺评定。.....	161
19.	焊工、焊接操作员和点焊工资格评定—碳钢、低合金钢和不锈钢板	170
19.1	概述。.....	170
19.2	变量范围。.....	170
19.3	重复试验.....	170
19.4	有效期。.....	171
20.	金属板的焊接技术和工艺.....	172
21.	金属板焊接用焊接程序评定和设备检查	173
22.	焊缝详情 — 金属板	173
22.1	坡口焊缝（对焊接头）	173
22.2	填角焊缝.....	173
23.	金属板焊接质量 — 目视检查合格标准	173
附录 A（规范性附录）	替代母材规格（钢）	174
附录 B（资料性附录）	填充金属分类.....	176
附录 C（资料性附录）	有效焊接尺寸 — 特殊案例	179
附录 D（资料性附录）	报告样本格式.....	181
附录 E（资料性附录）	金属板和铝填料合金板选择指南的量规厚度.....	206
附录 F（资料性附录）	宏观腐蚀程序	210
附录 G（资料性附录）	技术问询准备指南	213
AWS	铁路焊接文件列表.....	214

表格目录

表格	页码
表 5.1 部分接头熔透坡口焊缝的最小焊缝尺寸	20
表 5.2 容许焊缝应力（钢材）	20
表 5.3 容许焊缝应力（铝材）	21
表 5.4 焊接后铝合金 ³ 的最小机械性能（无焊后热处理的钨极惰性气体保护焊或气体保护电弧焊）	22
表 5.5 未焊接的铝合金的最小机械性能	23
表 5.6 低氢焊条允许暴露于大气的时间	25
表 6.1 切割边缘不连续性（缺陷）的允许限度及修理	36
表 6.2 接头尺寸公差	36
表 6.3 铝合金成形或焊接准备的温度及最大暴露时间	37
表 7.1 最小和最大塞焊缝直径和角焊缝宽度	41
表 7.2 熔敷填平的喇叭形坡口焊缝的有效尺寸（见 7.1.2）	41
表 7.3 最小角焊缝尺寸	41
表 7.4 图 7.1A 至 7.1L 和图 7.2A 至 7.2K 的图例	42
表 8.1 免除评定的母材 — 强度匹配的填充金属组合	77
表 8.2 免除评定的最低预热和道间温度（钢材） a, b	83
表 10.1 PQR 基本变量变更，针对 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 的要求 焊接工艺规程重新评定（参见 10.1）	95
表 10.2 工艺评定 — 试验数量和类型及评定的厚度范围 — 接头完全熔透 坡口焊缝 ^{a b e f g}	100
表 10.3 工艺评定 — 试验数量和类型及评定的厚度范围 — 部分接头熔透坡口焊缝 ^a	101
表 10.4 工艺评定 — 试验数量和类型及评定的厚度范围 — 角焊缝 ^a	101
表 10.5 工艺评定类型和位置限制	102
表 10.6 铝合金的焊态强度（GTAW 或 GMAW）	103
表 11.1 性能评定 — 基本变量限制	125
表 11.2 焊工和定位焊工资格评定的焊条分类组别	125
表 11.3 焊工和焊接操作工资格评定 — 试样数量与类型以及评定的厚度范围	126
表 11.4 焊工和焊接操作工资格评定 — 类型和位置限制 ^a	127
表 11.5 管材焊缝最大余高	127
表 17.1 焊缝弧坑限制	159
表 17.2 咬边和孔隙限制	159
表 17.3 超声波试验合格 — 拒收标准	160
表 18.1 焊接工艺规范包含的重要和次要变量 ^a FCAW、GMAW、GTAW 和 SMAW（参见 18.2.1）	163
表 18.2 工艺评定试验	165
表 19.1 焊工资格评定的变量范围 FCAW、GMAW、GTAW 和 SMAW（参见 19.2） ..	171
表 19.2 焊工资格评定试验（见条款 18，了解试验和验收）	172
表 A.1 母材规格指数（钢）	175
表 B.1 评定用焊接电极和焊条分组	177
表 C.1 斜 T 形接头角焊缝等效焊脚尺寸系数	180
表 E.1 热轧和冷轧金属板	207

表 E.2	镀锌金属板	207
表 E.3 ^{a, b}	通用铝焊接用填充金属的选择指南	208

图目录

图	页码
图 5.1 — 厚度小于 1/4 英寸 [6 mm] 的填充金属.....	25
图 5.2 — 搭接和部件轴向负载.....	26
图 5.3 — 厚度为 1/4 英寸 [6 mm] 或更厚的填充材料.....	26
图 5.4 — 角焊缝细节	27
图 5.5 铝焊缝周围的机械性能分布图	28
图 6.1 — 切割边缘的不连续性（缺陷）	37
图 6.2 — 合格和不合格焊缝的剖面形状.....	38
图 7.1A — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节	43
图 7.1B — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节	44
图 7.1C — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节	45
图 7.1C （续） — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节.....	46
图 7.1D — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节	47
图 7.1E — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节	50
图 7.1F — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节.....	51
图 7.1G — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节	53
图 7.1H — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节	54
图 7.1I — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节.....	55
图 7.1J — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节	56
图 7.1K — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节	56
图 7.1L — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节.....	57
图 7.2A — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节.....	59
图 7.2B — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节.....	60
图 7.2C — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节	61
图 7.2D — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节	62
图 7.2E — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节.....	63
图 7.2F — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节.....	64
图 7.2G — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节	65
图 7.2H — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节	66
图 7.2I — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节	67
图 7.2J — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节	68
图 7.2K — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节.....	69
图 10.1 — 坡口焊缝的位置	105
图 10.2 — 角焊缝位置	106
图 10.3 — 坡口焊缝试验板材位置	107
图 10.4 — 管材坡口焊缝试验位置	108
图 10.5 — 角焊缝试验位置（板材）	109
图 10.6 — 角焊缝试验位置（管材）	110
图 10.7 — 焊接试管上的试样位置	111
图 10.8 — 焊接方管上的试样位置	111
图 10.9 — 工艺评定 — 厚度为 1/8 in 至 3/8 in [3 mm to 10 mm]（含）的焊接试板上试样位置	112

图 10.10 — 工艺评定 — 厚度超过 3/8 in [10 mm] 及以上的焊接试板上的试样位置	113
图 10.11 — 缩减断面拉伸试样	114
图 10.12 — 全焊缝金属拉伸试样	115
图 10.13 — 侧弯试样	116
图 10.14 — 面弯和根弯试样	117
图 10.15 — 工艺评定用角焊缝完好性试验	118
图 10.16 — 厚度 1 in [25 mm] 焊接试板上的试样位置 — 角焊缝工艺评定时验证焊接耗 材用	119
图 10.17 — 工艺评定用管材角焊缝完好性试验	120
图 11.1 — 不限制厚度的试验板材 — 焊工资格评定用	128
图 11.2 — 不限制厚度的横焊位置试验板材 — 焊工资格评定用	129
图 11.3 — 限制厚度的试验板材 — 焊工资格评定用	130
图 11.4 — 限制厚度的横焊位置试验板材 — 焊工资格评定用	131
图 11.5 — 管材（无衬垫）对焊接头 — 焊工资格评定用	131
图 11.6 — 管材（有衬垫）对焊接头 — 焊工资格评定用	131
图 11.7 角焊缝破断和宏观腐蚀试验板材—焊工和焊接操作工资格评定 — 选项 1	132
图 11.8 — 角焊缝根部弯曲试验板材—焊工和焊接操作工资格评定用（选项 2）	133
图 11.9 — 管材角焊缝—焊工和焊接操作工资格评定用（选项 3）	134
图 11.10 — 焊接试验圆管和方管上试样的位置—焊工资格评定	135
图 11.11 — 导向弯曲装置	136
图 11.12 — 卷绕式导向弯曲装置	137
图 11.13 — 导向弯曲滚筒试验装置	138
图 12.1 — 不限制厚度的试验板材 — 焊接操作工资格评定用	141
图 13.1 — 角焊缝破断试样 — 定位焊工资格评定用	143
图 13.2 — 试样破断的方法 — 定位焊工资格评定用	143
图 16.1 — 周期性加载非管件拉伸焊缝处不连续性的焊缝质量要求（孔隙和熔焊型不连续 性限制）	149
图 16.2 — 周期性加载非管件压焊焊缝处不连续性的焊缝质量要求（孔隙和熔焊型不连续 性限制）	150
图 16.3 — 管状接头 RT 所测条状不连续性焊缝质量要求	151
图 16.3（续）— 管状接头 RT 所测条状不连续性焊缝质量要求	152
图 16.3（续）— 管状接头 RT 所测条状不连续性焊缝质量要求	153
图 16.3（续）— 管状接头 RT 所测条状不连续性焊缝质量要求	154
图 16.3（续）— 管状接头 RT 所测条状不连续性焊缝质量要求	155
图 16.4 最大可验收 RT 图像	157
图 16.5 — 尺寸大于或等于1-1/8 英寸 [30 mm] 的焊缝 RT 过程中随机可接受不连续性的 典型示例	157

1. 一般要求

1.1 范围

本规范涵盖适用于铁路行业焊接结构和铸造部件的最低焊接要求。本规范不适用于罐车罐体和轨道焊接。铁路轨道和相关部件焊接建议操作规程包含在 D15.2 轨道车辆用轨道和相关轨道部件焊接的建议操作规程中。罐车罐体及其部件焊接规范在 AAR 焊接标准和规范手册，第 C 节 — 第 III 部分，规范 Specification M-1002 (AAR M-1002 C-III) 中做出叙述。

焊接符号如 AWS A2.4 焊接、铜焊和无损检测用标准符号最新版本中所示。

1.2 测量单位

本标准采用美国常用单位和国际单位制 (SI)。国际单位制显示在方括号 ([]) 中或表格和图的适当行里。测量值可能并非精确的同等值；因此，必须独立采用各个系统。

1.3 安全

本标准范围不包括和涉及安全和健康问题；可能提供部分安全和健康信息，但本标准无法对其完全处理。

安全和健康信息可从以下来源获取：

美国焊接协会

- (1) ANSI Z49.1, 焊接、切割和相关工艺中的安全
- (2) AWS 安全和健康情况说明书
- (3) AWS 网站材料或设备制造商材料中的其他安全和健康信息：
 - (1) 材料制造商提供的材料安全数据单
 - (2) 设备制造商和合适管理机构提供的操作手册

2. 规范性引用文件

通过本文的引用，以下标准文件所包含的条文构成了 AWS 标准的强制性规定。若引用的文件不标日期，则本标准应采用该引用标准文件的最新版本。若引用的文件标明日期，以后任何修改或再版的版本均不予采用。

美国焊接协会 (AWS) 标准：¹

AWS A2.4, 焊接、铜焊和无损检测用标准符号；

AWS A3.0M/A3.0, 标准焊接术语和定义，包括粘接法、铜焊、软钎焊、热切割和热喷涂等术语

AWS A5.01M/A5.01, 消耗材料采购指南 — 焊接和相关工艺 — 焊剂和保护气体电气焊接工艺；

AWS A5.1/A5.1M, 焊条电弧焊用碳钢焊条规范；

¹ AWS 标准由美国焊接协会发布，地址：8669 Doral Blvd., Doral, FL 33166。

AWS A5.5/A5.5M, 焊条电弧焊用低合金钢焊条规范;

AWS A5.9/A5.9M, 裸露不锈钢焊条和焊棒规范;

AWS A5.10/A5.10M, 裸露铝、铝合金焊条和焊棒规范;

AWS A5.17/A5.17M, 碳钢焊条和埋弧焊用焊剂规范;

AWS A5.18/A5.18M, 气体保护金属电弧焊用碳钢填充金属规范;

AWS A5.20/A5.20M, 药芯焊丝弧焊用碳钢焊条规范;

AWS A5.22/A5.22M, 药芯焊丝弧焊用不锈钢焊条和钨极惰性气体保护焊用不锈钢药芯焊丝焊棒规范;

AWS A5.23/A5.23M, 埋弧焊用低合金钢焊条和焊剂规范;

AWS A5.28/A5.28M, 气体保护电弧焊用低合金钢焊条和焊棒规范;

AWS A5.29/A5.29M, 药芯焊丝弧焊用低合金钢焊条;

AWS A5.32M/A5.32 (ISO 14175:2008 MOD), 焊接消耗材料 — 熔焊及相关工艺用气体和气体混合物;

AWS B1.10M/B1.10, 焊缝无损检测指南

AWS B2.1/B2.1M, 焊接工艺和性能评定规范

AWS B4.0, 焊缝的机械测试方法标准;

AWS C4.6M (ISO 9013), 热切割 — 热切割分类 — 几何产品规范和质量公差;

AWS C5.3, 气体碳弧气刨和切割建议操作规程;

AWS C5.4, 螺柱焊建议操作规程;

AWS C5.10/C5.10M, 焊接和切割保护气体建议操作规程;

AWS D1.1/D1.1M, 钢结构焊接规范;

AWS D1.2/D1.2M, 铝结构焊接规范;

AWS D1.3/D1.3M, 薄钢板结构焊接规范;

AWS D1.5M/D1.5, 桥焊规范

AWS D1.6/D1.6M, 不锈钢结构焊接规范; 及

AWS D17.3/D17.3M, 航空设备用铝合金搅拌摩擦焊规范。

美国国家标准协会 (ANSI) 标准:²

ANSI Z49.1, 焊接、切割和相关工艺中的安全

美国铁路协会 (AAR) 标准:³

AAR M-1002, 罐车规范, 附录 W;

AAR RP-301, 带 6" × 11" 轴颈的转向架摇枕垂直磨损衬套应用规范;

AAR S-137, 车钩柄部磨损板应用规范;

² 本 AWS 标准由美国焊接协会发布, 地址 8669 Doral Blvd., Doral, FL 33166。

³ AAR 标准由美国铁路协会 TTCI 技术标准出版社 (邮政信箱 11130, Pueblo, CO 81001) 出版。

AAR S-269, 车钩托梁磨损板;

AAR S-305, 转向架心盘表面和带 6-1/2" x 12" 或更大规格轴颈车辆磨损衬套应用规范;

AAR S-308, 带 6-1/2" x 12" 或更大规格轴颈车辆的两段式水平和垂直磨损衬套应用规范;

AAR S-320, 侧架立柱磨耗板应用规范;

AAR S-327, 侧架顶部维修;

AAR S-402, 铁路车辆空气制动管和配件焊接规范;

AAR 互换规则现场手册; 及

AAR 标准手册和建议操作规程, 第 C-II 章。

ASME 国际标准:⁴

ASME 锅炉和压力容器规范, 第 V 章;

ASME 锅炉和压力容器规范, 第 VIII 章; 及

ASME 锅炉和压力容器规范, 第 IX 章。

ASTM 国际标准:⁵

ASTM A435, 压力容器钢板直射束超声波检测规范;

ASTM A488, 铸钢件、焊接、工艺评定和人员资格认证的操作规程;

ASTM B548, 压力容器铝合金超声波检测方法和规范;

ASTM E94, 射线照相检查指南;

ASTM E165, 液体渗透检测方法操作规程;

ASTM E709, 磁粉检验操作规程;

ASTM E747, 射线检测用线型像质计 (IQI) 的设计、制造和材料分类标准操作规程; 及

ASTM E1032, 焊接件射线照相检测标准试验方法。

加拿大标准协会:⁶

CSA W47.1, 钢结构熔焊的公司资格认证; 及

CSA W47.2, 铝结构熔焊的公司资格认证, 铁路机车安全标准和机车检查 (49 CFR 229 部分)

3. 术语和定义

AWS A3.0M/A3.0, 标准焊接术语和定义, 包括粘接法、铜焊、软钎焊、热切割和热喷涂等术语为本标准中使用的术语和定义提供依据。然而, 应采用以下术语和定义以满足本文件特定使用。

⁴ ASME 标准由美国机械工程师协会发布, 地址: 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5990。

⁵ ASTM 标准由美国材料试验国际协会发布, 地址: 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959。

⁶ CSA 标准由加拿大标准协会发布, 地址: 178 Rexdale Boulevard, Toronto, Ontario, Canada, M9W 1R3。

铸造部件。机车和车辆设备用制造碳钢或合金钢铸件。

公司。进行焊接的机构，包括属于同一所有权下使用同样的焊接标准程序和文件的所有分支机构（参见 5.2.3、9.4.1 和 9.4.2）。

制定检验员（制造或生产检验员）。由制造商授权，对焊接操作和完成的焊缝进行检查的个人。检查可以是也可以不是该检验员的唯一责任。

基本变量。焊接操作起关键作用的焊接参数。超过规定范围的变化要重新进行焊接工艺规程评定。

制造检验。装配前，焊接过程中和焊接后必须进行检验，以确保材料和工艺满足合同、规范或标准文件的相关要求。

制造检验员。见指定检验员。

制造商工程师。由制造商或在规范范围内负责在建工程的外部维修机构指定的个人。

填充金属。搭接接头或 T 型接头中使用的，用来减少缝隙的非耗材金属带货金属条（参见图 5.1 和 5.3）。

熔合型不连续性（缺陷）。夹渣、未焊透，以及导致焊接金属和母材间或焊缝间未焊透的类似不连续性缺陷。

像质计 (IQI)。用其在射线照片上的成像以确定射线照片质量的装置。其既不用来评判不连续性尺寸，也不用以确定其验收限制。

制造商。设备的原制造商或安装者，以及对设备进行维修或更换的任何公司和机构。

多焊条。制造焊缝用两个或多个单焊条或并联焊条系统的组合。每个组成系统都可以有独立的电源和焊条进给器。

业主。拥有本规范下生产的产品或结构组件法律所有权的个人或公司。

业主工程师。代表业主、运营铁路机构或采购商或其聘用的，具有工程权威的指定个人或公司，如适用。

并联焊条。两根焊条在电路上并联而各自连接于同一电源。这两根焊条通常用一个焊条进给器送给。规定的焊接电流为两根焊条的电流总和。

管道。圆形横截面的管形产品。

管状气孔。长形气孔，其主要尺寸大致垂直于焊缝的表面方向。当其延伸至焊缝表面时，常被称为“针孔”。

生产检验员。见指定检验员。

罐车罐体。由外壳、头部和贮槽构成并通过焊接连接。

验证检验员。代表业主或采购商利益，就指定的所有检验和质量方面事务，在合同文件范围内履行职责的正式指定人员。

4. 总说明

4.1 母材。AWS B2.1/B2.1M，焊接工艺和性能评定规范提供了一份范围较广的材料分类表以最大程度降低验证试验数量。这绝不意味着某一分组材料具有可互换性或适用于所有给定应用。本规范特定额外材料，详见附件 A。

4.2 由于铁路设备可能覆盖铅底漆，因此焊接前应采用安全方式去除所有可能的涂层。

4.3 第 1 条至第 17 条给出厚度为 1/8 英寸 [3 mm] 或更厚的金属部件焊接结构的一般要求。除非另作说明，否则此类要求应用于所有货运车辆、机车和客运列车车辆。第 18 条至第 23 条涵盖了厚度小于 1/8 英寸 [3 mm] 的母材焊接特殊要求。应考虑 11 规格 (0.1196 英寸 [3.04 mm]) 材料，1/8 英寸 [3 mm] 厚钢板或薄钢板。

4.4 公司应对其机构和子承包商进行和焊接质量负责并应执行本规范要求范围内或以外的所有试验以确保焊缝达到设计要求。

4.5 本标准包含的要求由合格的工业规程组成。其并不排除需要对某一焊接结构所列接头的适用性做出工程判断。

4.6 此外，其不计划用于作废和取消美国运输部机车检查法案 (45 USC-22) 或联邦铁路管理局铁路机车安全性标准和机车检查 (49 CFR 229 部分) 中的任何规则或要求。本标准包含的要求不计划作废或取消任何法律、政府机构条例或美国铁路协会规范的要求。

4.7 批准所需参考应理解为制造商工程师或业主工程师批准，如第 3 条，术语与定义所规定。当然，在某些情况和特定合同中，需经制造商工程师和业主工程师同时批准。在此类情况下，仅分配给一个实体的参考应适用于两个实体。

4.8 机车和客运列车车辆的特定应用区域应包括但不仅限于以下内容：

- (1) 结构部件，包括机车底架的一系和二系承载构件、心盘轴承、转向架摇枕、牵引齿轮槽、设备基底和支撑装置、防撞柱、主发电机（交流发电机）、牵引电机架和车体结构。
- (2) 风缸不包含在 ASME 锅炉和压力容器规范条款中。
- (3) 燃料箱制造和维修。
- (4) 空气压缩机和空气系统管道。
- (5) 电气部件，包括涡流离合器、反向器接头和电机换向器终端。

4.9 发动机和发动机部件可能需要原始设备制造商的专业方法和工艺。发动机及其部件的维修或重新运行应符合原始设备制造商规范或等效要求。

4.10 特定车辆部件的维修和重新调节应在 AAR 互换规则现场手册及其参考文件中进行说明，此类文件中可能包含该文件条款的免责条款或附件，或两者均包含（参见 8.7）。

4.11 具有疲劳负载的接头设计不再本规范范围内。对于需要疲劳分析的货车及其部件，请参考 AAR 标准手册第 VII 章“客车的疲劳设计”和建议的操作规程第 C-II 章第 I 卷。

5. 对所有焊接的要求

5.1 方法

第 1 条至第 17 条包括的焊接方法有：焊条电弧焊 (SMAW)、埋弧焊 (SAW)、气体保护电弧焊 (GMAW)，药芯焊丝弧焊 (FCAW) 和钨极惰性气体保护焊 (GTAW)。这并不排除在铁路部件的制造、更换和修理中使用其他焊接方法。但是制造商工程师应对此类焊接方法相关的设计、评定、检测和试验负责。采用这此类焊接方法的公司应提供书面材料证明其使用的必要性并说明基本变量。

5.1.1 搅拌摩擦焊 (FSW)。在轨道车工业中使用 FSW 进行制造时，应使用 AWS D17.3/D17.3M:2010，航空设备用铝合金搅拌摩擦焊规范作为工艺研发、焊接操作工、制造

和检验要求的指南。客户和制造商工程师应就本文件和 AWS D17.3/D17.3M 要求间的差异解决达成一致。此类差异包括但不限于：焊缝级别、工艺评定中的基本变量、目视检查、焊接操作工资格有效期、焊接设备校准、NDT 人员资格认证、各级别焊缝的 NDT 检测要求和各级别焊缝的验收标准。

5.2 焊接工艺评定

5.2.1 第 7 条和第 8 条中所列钢材的焊接中,表 8.1 和 8.2,使用 SMAW、SAW、GMAW (短路过渡除外) 和 FCAW 工艺,这些工艺符合第 5 条至第 8 条的要求,被视为免除评定,可直接使用而无须进行工艺评定试验。AWS 焊接评定委员会依据最新版的 AWS B2.1/B2.1M,焊接工艺和性能评定标准出版的焊接工艺标准也被视为通过了评定。但对通过评定焊接工艺规程 (PWPS) 和标准焊接工艺规程 (SWPS) 的使用并不排除需要对某一焊接组件或焊缝维护采用此类工艺的适用性做出工程判断。

5.2.2 如果通过了第 10 条规定的适用评定试验,也可以在生产中使用本规范中所列焊接方法之一的其他材料或焊接工艺。制造商工程师有责任根据具体结构或服务条件或两者一起决定是否接收其他的标准评定。

5.2.3 一家公司完成的工艺评定不能代替其他公司的工艺评定(参见 9.4.1),除非制定该评定工艺的公司与另一家公司签署合同,根据该工艺进行焊接。

5.2.4 根据制造商要求对新发动机组进行评定的专用工艺由制造商负责。

5.2.5 本规范没有规定厚度小于 1/8 英寸 [3 mm] 的母材接头和焊接工艺的评定办法。此类材料应根据 18.2 进行焊接工艺评定。

5.3 焊工和焊接操作工资格评定

5.3.1 除 5.3.2 或 5.3.3 中规定的情况之外,根据本规范进行焊接工作的所有焊工(包括定位焊工)和焊接操作工均应根据 9.3 要求进行资格评定。

5.3.2 本规范认为,满足下列规范之一所采用的材料、方法和工艺评定的焊工和焊接操作工均有资格根据本规范在本规范基本变量和测试样品方法范围内进行焊接工作:

- (1) ASME, 锅炉和压力容器规范, 第 IX 章。
- (2) AAR M-1002, 罐车规范, 附录 W
- (3) AWS D1.1/D1.1M, 钢结构焊接规范
- (4) AWS D1.2/D1.2M, 铝结构焊接规范
- (5) AWS D1.3/D1.3M, 薄钢板结构焊接规范
- (6) AWS D1.5M/D1.5, 桥焊规范
- (7) AWS D1.6/D1.6M, 不锈钢结构焊接规范
- (8) ASTM A488, 铸钢件、焊接、工艺评定和人员资格认证的操作规程
- (9) AWS B2.1/B2.1M, 焊接工艺和性能评定规范(严禁仅通过目视检查评定)
- (10) CSA W47.1, 钢结构熔焊的公司资格认证
- (11) CSA W47.2, 铝熔焊的公司资格认证

5.3.3 如果操作全自动焊接机器的焊工不需要进行焊接变量控制以及填充金属定位和热源控制,则此焊工不必进行资格认证。

5.4 焊接接头的设计

5.4.1 图纸和焊接工艺规范

5.4.1.1 如果指定了图纸，则图中应清楚标出焊缝位置、类型和程度的完整信息。详细图纸上或焊接工艺规程中应使用焊接符号或示意图做出清楚注释，包括焊接接头的相同和母材的详图的制备。熔焊金属焊接衬垫的厚度和宽度都要详细注明。如果焊接符号不能完全满足要求，则应使用示意图或注释。

5.4.1.2 图纸上应对接头或接头组合详细说明，特别是要求对焊接顺序和工艺要求严格控制，使收缩应力与变形减少到最小。

5.4.1.3 免除评定的或已根据第 10 条（也可参见 5.2.1）评定的钢接头所有焊接工作应根据满足第 7 条和第 8 条要求的书面焊接工艺规程进行。焊接工艺规程应包括已评定的接头尺寸范围和焊接条件。

5.4.1.4 如有特殊检测要求，应在图纸、焊接工艺规程或合同规范中注明。

- (1) 所有 1 级焊缝应在图纸中标明。

5.4.2 有效焊接面积、长度和尺寸

5.4.2.1 坡口焊缝。有效面积为有效焊缝长度乘以坡口焊缝尺寸。

- (1) 坡口焊缝的有效焊缝长度是规定焊缝的长度。
- (2) 接头完全熔透坡口焊缝的有效尺寸是接头中较薄部件的厚度。焊缝余高不允许增加。
- (3) 部分接头熔透坡口焊缝的有效尺寸由 7.1 的免除评定程序规定或按 10.6.2 计算。
- (4) 部分接头熔透坡口焊缝的最小焊缝尺寸应符合表 5.1。
- (5) 单侧形成的部分熔透坡口焊缝的设计应避免对焊根产生拉力。

5.4.2.2 角焊缝。有效面积为通过有效焊缝厚度中心线测得的有效焊缝长度与有效焊缝厚度的乘积。任意方向的外加负载作用于角焊缝上的应力应被视为作用于此有效面积。焊缝计算厚度是最小距离减去焊根与角焊缝正面之间的任何焊缝凸度。

- (1) 任意角焊缝的最小长度应为标称焊缝尺寸的四倍，除非受到部件尺寸的限制，其尺寸不得小于 1-1/2 英寸 [38 mm]。对于只采用角焊缝连接的接头，最小角焊缝尺寸见表 7.2。
- (2) 角焊缝的有效长度是整个角焊缝的尺寸（规定尺寸）。如果焊缝在整个长度上均是全尺寸，则无论在焊缝的起弧或熄弧处有效长度均不能缩减。
- (3) 曲线角焊缝的有效长度应沿着有效焊缝厚度的中心线测量。如果角焊缝的焊缝面积是在一个孔或槽中，而以此长度计算出的面积大于 5.4.2.3，则整个孔或槽的面积应被用作角焊缝的有效面积。
- (4) 在搭接接头的孔或槽中的角焊缝应根据 5.4.4.2 的规定计算，且不能认为是塞焊缝或槽焊缝。
- (5) 斜 T 形接头中采用的角焊缝必须根据 5.4.4.3 的规定计算。

注：附录 C2 给出了一个计算 T 接头中角焊缝尺寸的计算公式。该附录提供了一个用于二面角在 60° — 135°之间的测量脚 (W) 和允许根部间隙 (R) 与有效焊缝尺寸 (E) 之间关系的对照表格。

5.4.2.3 坡口焊缝和角焊缝结合。部分接头熔透坡口焊缝与角焊缝结合的有效焊缝厚度是从

焊根到焊缝正面的最短距离减去任何焊缝凸度（需要扣除的任何免除评定的坡口焊减去 1/8 英寸 [3 mm]）（参见附件 C1）。

- (1) 角焊缝的凸度和凹度范围见 6.4.1。

5.4.2.4 塞焊缝和槽焊缝

- (1) 有效面积应当是接合面的平面上孔或槽的标称面积。
- (2) 塞焊缝或槽焊缝可用于下列情况：
- (a) 搭接接头中传递剪切力
 - (b) 防止搭接接头部件翘曲
 - (c) 连接各部件
 - (d) 修理磨损部件
- (3) 塞焊缝的中心到中心最小间隙应为洞孔直径的四倍。
- (4) 除延伸至接头部件边缘的端部外，槽的端部应为半圆形或其角部须做成半径不小于开孔板厚度的圆形。
- (5) 槽焊缝长度的横向中心到中心最小间距应是槽宽度的四倍。槽焊缝长度的纵向中心到中心最小间距应是槽长度的两倍。
- (6) 对于厚度小于 1/4 英寸 [6 mm] 的材料，填充深度应等于材料厚度。对于厚度为 1/4 英寸至 5/8 英寸 [6 mm 至 16 mm] 的材料，塞焊缝和槽焊缝的填充深度应在母材厚度与 1/16 英寸 [2 mm] 之间。对于厚度超过 5/8 英寸 [16 mm] 的材料，填充深度至少为母材厚度的一半，且不得小于 5/8 英寸 [16 mm]。总之，最小填充深度不得超过底层材料厚度。
- (7) 母材厚度小于 1/4 英寸 [6 mm] 的塞焊缝的容许负载如下：

$$P \leq 0.88TDF_B \text{ 且 } P \leq 0.24D^2F_W$$

其中

P = 容许负载，磅力 [牛顿]

D = 孔径，英寸 [mm]

T = 母材厚度，英寸 [mm]

F_B = 材料规格中标出的母材最小抗拉强度，psi [MPa]

F_W = AWS 分类中规定的焊缝金属最小抗拉强度，psi [MPa]

5.4.3 填充板

5.4.3.1 填充板的使用须满足图 5.1 和 5.3 及 5.4.3.2 和 5.4.3.3 的要求。

5.4.3.2 厚度小于 1/4 英寸 [6 mm] 的填充板不能用于应力传递，但应与应力承载接头部件的焊接边缘平齐。沿此边缘的焊缝尺寸为所要求尺寸加上填充板的厚度（见图 5.1）。

5.4.3.3 厚度为 1/4 英寸 [6 mm] 或更大的填充板应延伸接头部件边缘并符合图 5.3 要求。

5.4.4 角焊缝细节

5.4.4.1 对于搭接接头中的角焊缝，如果角焊缝尺寸等于焊接端部的厚度，由于端部的熔化，

焊缝的实际尺寸可能小于它看上去的尺寸。对于厚度为 1/4 英寸 [6 mm] 及以上的材料，通常的做法是从厚度中减去 1/16 英寸 [2 mm]。如果没有采用此方法，则需注意确保所需的焊缝尺寸（参见图 5.4(B)）。

5.4.4.2 搭接接头中孔或槽中的角焊缝可以用于传递剪切力或避免搭接接头部件翘曲或分离。孔或槽中的角焊缝不能被视为塞焊缝或槽焊缝。

5.4.4.3 二面角 (Ψ) 在 $60^\circ - 135^\circ$ 范围内的斜 T 形接头可采用角焊缝 [见图 5.4(A) 和附录 C2]。

5.4.5 断续角焊缝

5.4.5.1 在主要承载部件上不能采用断续角焊缝。

5.4.5.2 当所需强度比最小允许尺寸的连续角焊缝所承受的强度还要小时，可采用断续角焊缝通过接头或贴合面传导计算应力，并连接组合部件。

5.4.5.3 任何断续角焊缝截面的有效长度不得小于焊缝尺寸的四倍，最小为 1-1/2 英寸 [38 mm]。

5.4.6 搭接接头

5.4.6.1 搭接接头的最小搭接宽度应为较薄接头部件厚度的五倍且不得小于 1 英寸 [25 mm]（参见图 5.2）。

5.4.6.2 承受轴向应力的搭接接头板材或棒材要沿着两个搭接部件的边缘进行角焊缝，除非搭接部件的偏转收到充足的限制，防止在最大荷载的情况下接头出现断裂（参见图 5.2）。

5.4.7 机械紧固件。在轴承型式连接中使用的机械紧固件不应与焊缝一起分担应力；焊缝应承担全部荷载。应优先考虑使用螺栓来保证水平调准和限制变形。

5.4.8 设计注意事项

5.4.8.1 母材。本标准所列母材是指导焊接工作对母材进行选择。其不排斥其他规范规定的适用母材。母材的使用说明并非强制性的，因为特殊的设计、制造及使用条件都有可能要求使用本标准中包括的母材

5.4.8.2 容许应力（钢）。容许设计应力，请参考表 5.2。

5.4.8.3 容许应力（铝）。铝结构焊接件的容许设计应力由以下方面决定：

- (1) 铝合金结构焊接时会导致部分或局部退火，而这会使沿热影响区 (HAZ) 的强度较低。所导致的焊缝周围机械性能的变化见典型分布图 5.5。在设计焊接承重部件时，除了正常的设计规则外，还应考虑这种强度的减弱。焊接件的容许应力（表 5.3）也可以使用非焊接件容许应力的公式求得。焊接结构使用这个公式时，抗拉强度 δ_{tu} 应为焊缝评定强度试验值的 90%，但 δ_{tuw} 不得超过表 5.3 中给出的强度值的 90%。屈服强度 δ_{ty} 和 δ_{cy} ，应该是表 5.4 中所给抗拉强度与压缩屈服强度 δ_{tyw} 和 δ_{cyw} 。
- (2) 如果给定横截面的 15% 以内的面积在 1 英寸 [25 mm] 焊缝内，无论材料厚度如何，可以不计焊接的影响，按非焊接结构进行容许应力计算。如果 A_w 等于或大于 A 的 15%，则容许应力可由下面公式求得：

$$\delta_{pw} = \delta_n - \frac{A_w(\delta_n - \delta_w)}{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

其中

δ_{pw} = 横截面容许应力，其中部分面积位于 1.0 英寸 [25 mm] 焊缝内

δ_n = 横截面容许应力，焊缝为 1.0 英寸 [25 mm] 或更大（表 5.5）

δ_w = 横截面容许应力，如果其全部处于 1.0 英寸 [25 mm] 焊缝内（表 5.4）

A_w = 横截面面积位于 1.0 英寸 [25 mm] 焊缝内

A = 梁的抗拉法兰横截面的净面积、梁受压件或受压法兰横截面的整个面积（梁的法兰由梁中轴 $2c/3$ 外的部分组成， c 是中轴到最外围纤维的距离）

5.4.8.4 含铜钢。在使用含铜钢，且可焊性也是一个考虑因素时，母材中的铜含量最好不超过 0.30%。

5.5 消耗材料

5.5.1 状态。从原包装中取出的消耗材料必须受到妥善保护和保存以保证焊接性能不受影响。焊条应保持干燥并处于适合使用的状态。

5.5.2 证书。如果工程师有要求，制造商应提供证书，确保填充金属或焊剂或两者一起符合 AWS 填充金属规范的有关要求。

5.5.3 埋弧焊用焊剂。埋弧焊用焊剂应保持干燥且未受灰尘、轧制氧化皮或其他外来物的污染。所有采购的焊剂必须有外包装，以便在正常条件下至少贮存 6 个月，而不至因贮存影响其焊接特性或焊缝性能。破损包装内的焊剂须弃用或在使用前在最低 500°F [260°C] 温度下干燥一小时。已受潮的焊剂不得使用。

5.5.3.1 破碎焊渣。如果破碎焊渣标有破碎者名称和贸易名称，则可对其进行使用。此外，如 AWS A5.01/A5.01M 填充金属采购指南的规定，每一批干燥的焊剂或混合物，必须根据 AWS A5.01/A5.01M 的程序 I 进行试验，并由承包商或破碎者按照 A5.17/A5.17M 或 A5.23/A5.23M 进行分类（如适用）。

5.5.4 一致性。焊条、焊棒以及焊剂-焊条混合物都必须符合适用的 AWS 填充金属规范。

5.5.5 保护气体。保护气体必须符合 AWS A5.32M/A5.32 (ISO 14175:2008 MOD)，焊接消耗材料 — 熔焊及相关工艺用气体和气体混合物。

5.5.5.1 对于黑色金属，保护气体或气体混合物的露点必须在 -40°F [-40°C] 或以下。

5.5.6 低氢焊条电弧焊焊条

5.5.6.1 购买的所有低氢焊条都必须装在密封的容器内或者按照下列要求进行烘焙处理。打开密封容器后，或者将焊条从烘焙炉取出后，焊条必须投入使用或者在温度不低于 250°F [121°C] 的烤箱内保存。

5.5.6.2 焊条烘焙。购买时没有装在密封容器内，或密封容器破损，或者在空气中暴露时间超过表 5.6 的规定，这样的焊条必须按照下列要求进行烘焙处理：

- (1) 所有符合 AWS A5.1/A5.1M 的低氢药皮焊条都必须在 500°F 至 800°F [260°C 至 427°C] 的条件下烘焙至少两小时。或
- (2) 所有符合 AWS A5.5/A5.5M 的低氢药皮焊条都必须在 700°C 至 800°F [371°C 至 427°C] 的条件下烘焙至少一小时。

低氢焊条重新烘焙不得超过一次。已受潮的焊条不得使用。

5.5.6.3 认可的暴露大气时间。密封容器被打开后或者焊条从干燥箱或保存烘箱内取出后，焊条在大气中的暴露时间不得超过表 5.6 中 A 栏规定的具体焊条（包括带有选用补充标号

的焊条)的暴露时间。暴露在大气中时间少于表 5.6 中 A 栏允许时间的焊条应重新放入保存烘箱,在至少 250°F [121°C] 的温度下烘焙;至少烘焙四小时后将其取出。

5.5.6.4 由试验确定的暴露于大气中的时间变通值。如果试验确定了暴露于大气的最大时间允许值,也可以使用表 5.6 中 B 栏所示大气暴露时间值。必须按照最新版 AWS A5.5/5.5M 的规定对每一种焊条和每一个制造商进行试验。试验应确保在大气中暴露后的含水量最大数值不得超过 AWS A5.1/A5.1M 或 AWS A5.5/A5.5M 中规定的数值。在相对湿度-温度综合考虑的情况下,不论是超过试验过程中空气的相对湿度,还是超过其空气含水量,这些焊条都严禁使用。

为确保 5.5.6.4 正确应用,所有标准湿度图须用于相对温度-湿度的限制确定。

5.5.6.5 M11 钢的焊条限制。焊接 M11 号钢(见 AWS B2.1/B2.1M,焊接工艺和性能评定标准)时,任何低于 E100XX 的焊条都必须在 700°F 至 800°F [371°C 至 427°C] 的温度下烘焙至少一小时,将湿度控制在可接受的水平。或者,也可以购买特殊的低湿度焊条。

表 5.1
部分接头熔透坡口焊缝的最小焊缝尺寸

较厚接头部件的母材厚度, 英寸 [mm]	最小焊缝尺寸, 英寸 [mm]
1/8 至 3/16 [3 至 5] (含)	1/16 [2]
3/16 以上至 1/4 [5 以上至 6] (含)	1/8 [3]
1/4 以上至 1/2 [6 以上至 13] (含)	3/16 [5]
1/2 以上至 3/4 [13 以上至 20] (含)	1/4 [6]
3/4 以上至 1-1/2 [20 以上至 38] (含)	5/16 [8]
1-1/2 以上至 2-1/4 [38 以上至 57] (含)	3/8 [10]
2-1/4 以上至 6 [57 以上至 150] (含)	1/2 [13]
6 以上[150 以上] (含)	5/8 [16]

^a 焊缝尺寸不需要超过较薄件厚度的情况除外。

表 5.2
容许焊缝应力(钢材)

应力类型	母材	所需填充金属和焊剂 ^{b, c}	容许设计应力 ^a
平行于完全熔透坡口焊缝轴的拉力与压力。	表 8.1 中所列	表 8.1 中规定	与母材相同
完全熔透坡口焊缝有效面积 ^e 的正常拉力	表 8.1 中所列	表 8.1 中规定	与母材容许抗拉应力相同
完全或部分熔透槽坡口焊缝有效面积 ^e 的正常压力。	表 8.1 中所列	表 8.1 中规定	与母材容许压缩应力相同
完全和部分熔透坡口焊缝有效面积 ^e 的剪切力。	表 8.1 中所列	表 8.1 中规定	与母材容许剪切应力相同
	表 8.1 的 I 级	表 8.1 的 I 级中规定	29.0 ksi [200 MPa]
• 不管负载方向如何,作用于角焊缝有效面积 ^e 上的剪切应力。 ^f	表 8.1 的 II 级	表 8.1 的 II 级中规定	33.06 ksi [228 MPa]
	表 8.1 的 III 级	表 8.1 的 III 级中规定	38.86 ksi [268 MPa]
• 部分熔透坡口焊缝有效焊缝厚度轴上的正常拉力。 ^{d, f}	表 8.1 的 IV 级	表 8.1 的 IV 级中规定	50.46 ksi [348 MPa]
• 塞焊缝或槽焊缝有效面积上的剪切应力。 ^f			

^a 容许设计应力以焊缝金属性能为基础,没有包括安全因素。但任何使用这些容许应力值的设计中都必须考虑到安全因素。

^b 结构件中不推荐使用铬-钼填充金属。

^c 对 ASTM A242 中 A441、A514、A517、A572、A588、A633、A656 和 A709 的钢焊接只能使用低氢焊条或等效焊条。

^d 用角焊缝和部分熔透坡口焊缝连接的组合部件,如轮缘—辐板连接,设计中可以不考虑与焊缝轴平行的拉力和压缩应力。

^e 坡口焊缝和角焊缝的有效焊缝尺寸见 5.4.2 的说明。

^f 不管使用何种焊条，焊接的较薄母材的容许应力应不超过表中给定值。

表 5.3
容许焊缝应力（铝材）

应力类型	母材	所需填充金属	设计应力 ^a
平行于完全熔透坡口焊缝轴的拉力与压力	表 5.3 和 5.4 所列	如附件 E 规定	参见 5.4.8
完全熔透坡口焊焊缝轴上的正常拉力	表 5.3 中所列	如附件 E 规定	参见 5.4.8
完全或部分熔透坡口焊焊缝尺寸的正常压力	表 5.3 和 5.4 所列	如附件 E 规定	参见 5.4.8
完全熔透坡口焊焊缝和部分熔透坡口焊焊缝尺寸的剪切力	表 5.3 和 5.4 所列	如附件 E 规定	参见 5.4.8
不管负载方向如何，作用于角焊缝有效焊缝厚度上的剪切应力；部分熔透坡口焊焊缝有效焊缝厚度轴上的非正常拉力和塞焊缝或槽焊缝有效面积上的剪切应力	表 5.3 和 5.4 所列	如附件 E 规定	ER5183 为 18.5 ksi [127 MPa] ER5356 为 17.0 ksi [117 MPa] ER5556 和 ER5554 为 20.0 ksi [138 MPa] ER5654 为 12.0 ksi [83 MPa]

^a 该设计应力以焊缝金属性能为基础，没有包括安全因素。但任何使用这些应力值的设计中都必须考虑到安全因素。

注：坡口焊缝的有效焊缝尺寸和角焊缝有效焊缝厚度见 5.4.2 的说明。

表 5.4
焊接后铝合金³的最小机械性能
(无焊后热处理的钨极惰性气体保护焊或气体保护电弧焊)

合金和回火	产品及厚度范围, 英寸 [mm]	拉力	压力	剪切力	承载力			
		δ_{tuw} ksi [MPa]	δ_{tyw}^b ksi [MPa]	δ_{cyw}^b ksi [MPa]	T_{uw} ksi [MPa]	T_{yw} ksi [MPa]	δ_{bruw} ksi [MPa]	δ_{bryw} ksi [MPa]
5052-H32, H34	全部	25 [172]	13 [90]	13 [90]	16 [110]	7.5 [51]	50 [345]	19 [131]
5083-H111	挤压件	39 [269]	21 [145]	20 [138]	23 [159]	12 [83]	78 [538]	32 [221]
-H116, H321	薄板和板材 0.188-1.500 [5-38]	40 [276]	24 [166]	24 [166]	24 [166]	14 [97]	80 [552]	36 [248]
-H116, H321	板材 1.501-3.000 [38-76]	39 [269]	23 [159]	23 [159]	24 [166]	13 [90]	78 [538]	34 [234]
-H323, H343	薄板	40 [276]	24 [166]	24 [166]	24 [166]	14 [97]	80 [552]	36 [248]
5086-H111	挤压件	35 [241]	18 [124]	17 [117]	21 [145]	10 [69]	70 [483]	28 [193]
-H112	板材 0.250-0.499 [6-13]	35 [241]	17 [117]	17 [117]	21 [145]	9.5 [66]	70 [483]	28 [193]
-H112	板材 0.500-1.000 [13-25]	35 [241]	16 [110]	16 [110]	21 [145]	9 [62]	70 [483]	28 [193]
-H112	板材 1.001-2.000 [25-51]	35 [241]	14 [97]	14 [97]	21 [145]	8 [55]	70 [483]	28 [193]
-H32, H34, H1 16	薄板和板材	35 [241]	19 [131]	19 [131]	21 [145]	11 [76]	70 [483]	28 [193]
5454-H111	挤压件	31 [214]	16 [110]	15 [103]	19 [131]	9.5 [66]	62 [427]	24 [166]
-H112	挤压件	31 [214]	12 [83]	12 [83]	19 [131]	7 [48]	62 [427]	24 [166]
-H32, H34	薄板和板材	31 [214]	16 [110]	16 [110]	19 [131]	9.5 [66]	62 [427]	24 [166]
6061-T6, T651, T6510, T6511 ^c	全部	24 [166]	20 [138]	20 [138]	15 [103]	12 [83]	50 [345]	30 [207]
-T6, T651,T6510, T6511 ^d	0.375 [10] 以上	24 [166]	15 [103]	15 [103]	15 [103]	9 [62]	50 [345]	30 [207]
6063-T5, T6	全部	17 [117]	11 [76]	11 [76]	11 [76]	6.5 [45]	34 [234]	22 [152]
6351-T5 ^c	挤压件 0.375 [10] 以上	24 [166]	20 [138]	20 [138]	15 [103]	12 [83]	50 [345]	30 [207]
-T5II ^d		24 [166]	15 [103]	15 [103]	15 [103]	9 [62]	50 [345]	30 [207]
7005-T53 ^e	挤压件 0.750 [19] 及以内	38 [262]	30 [207]	30 [207]	21 [145]	17 [117]	72 [496]	50 [344]

^a 使用附件 E 的表 E.3 推荐的填充金属。 δ_{tuw} 值为焊缝评定试验值。

^b 对接焊缝的 10 英寸 [254 mm] 标距长度容许有 +0.2% 的偏差。

^c 使用 5183、5356 或 5556 号合金的填充金属焊接时所采用的值, 不考虑厚度。在使用 4043、5154、5254 或 5554 号合金填充金属时, 此值可用于厚度小于 0.375 英寸 [10 mm] 的材料。

^d 用 4043、5154、5254 或 5554 号合金填充金属焊接时的值。

^e 用 5356 号合金填充金属焊接时的值。

表 5.5
未焊接的铝合金的最小机械性能

合金和回火	产品 ^a	厚度范围, 英寸 [mm]	拉力		压力	剪切力		承载力		压缩弹性模量 ^b E, ksi [MPa]
			δ _{tu}	δ _{tt}	δ _{cy}	T _u	T _y	δ _{bru}	δ _{bry}	
5052-H32	薄板和板材	全部	31 [214]	23 [159]	21 [145]	19 [131]	13 [90]	60 [414]	39 [269]	10 200 [70327]
-H34	轧制棒和	全部	34 [234]	26 [179]	24 [166]	20 [138]	15 [103]	65 [448]	44 [303]	10 200 [70327]
-H36	条钢、冷拔管、薄板	0.006-0.162 [0.2^1]	37 [155]	29 [200]	26 [179]	22 [152]	17 [117]	70 [483]	46 [317]	10 200 [70327]
5083-H111	挤压件	0.500 [13] 及以内	40 [276]	24 [166]	21 [145]	24 [166]	14 [97]	78 [538]	41 [283]	10 400 [71705]
-Hill	挤压件	0.501 [13] 及以上	40 [276]	24 [166]	21 [145]	23 [159]	14 [97]	78 [538]	38 [262]	10 400 [71705]
-H321,H116	薄板和板材	0.1888-1.500 [5-38]	44 [303]	31 [214]	26 [179]	26 [179]	18 [124]	84 [579]	53 [365]	10 400 [71705]
-H321,H116	板材	1.501-3.000 [13-76]	41 [283]	29 [200]	24 [166]	24 [166]	17 [117]	78 [538]	49 [338]	10 400 [71705]
-H323	薄板	0.051-0.249 [1-6]	45 [310]	34 [234]	32 [221]	26 [179]	20 [138]	88 [607]	58 [400]	10 400 [71705]
-H343	薄板	0.051-0.249 [1-6]	50 [345]	39 [269]	37 [155]	29 [200]	23 [159]	95 [655]	66 [455]	10 400 [71705]
5086-H111	挤压件	0.500 [13] 及以内	36 [248]	21 [145]	18 [124]	21 [145]	12 [83]	70 [483]	36 [248]	10 400 [71705]
-Hill	挤压件	0.501 [13] 及以上	36 [248]	21 [145]	18 [124]	21 [145]	12 [83]	70 [483]	34 [234]	10 400 [71705]
-H112	板材	0.250-0.499 [6-13]	36 [248]	18 [124]	17 [117]	22 [152]	10 [69]	72 [496]	31 [214]	10 400 [71705]
-H112	板材	0.500-1.000 [13-25]	35 [241]	16 [110]	16 [110]	21 [145]	9 [62]	70 [483]	28 [193]	10 400 [71705]
-H112	板材	1.001-2.000 [26-51]	35 [241]	14 [97]	15 [103]	21 [145]	8 [55]	70 [483]	28 [193]	10 400 [71705]
-H112	板材	2.001-3.000 [51-76]	34 [234]	14 [97]	15 [103]	21 [145]	8 [55]	68 [469]	28 [193]	10 400 [71705]
-H116, H32	薄板和板材	全部	40 [276]	28 [193]	26 [179]	24 [166]	16 [110]	78 [538]	48 [331]	10 400 [71705]
-H34	冷拔管	全部	44 [303]	34 [234]	32 [221]	26 [179]	20 [138]	84 [579]	58 [400]	10 400 [71705]
5454-H111	挤压件	0.500 [13] 及以内	33 [228]	19 [131]	16 [110]	20 [138]	11 [76]	64 [441]	32 [221]	10 400 [71705]
-Hill	挤压件	0.501 [13] 及以上	33 [228]	19 [131]	16 [110]	19 [131]	11 [76]	64 [441]	30 [207]	10 400 [71705]
-H112	挤压件	5.000 [13] 及以内	31 [214]	12 [83]	13 [90]	19 [131]	7 [48]	62 [428]	24 [166]	10 400 [71705]
-H32	薄板和板材	0.0200-2.000 [0.5-51]	36 [248]	26 [179]	24 [166]	21 [145]	15 [103]	70 [483]	44 [303]	10 400 [71705]
-H34	薄板和板材	0.020-1.000 [0.5-25]	39 [269]	29 [200]	27 [186]	23 [159]	17 [117]	74 [510]	49 [338]	10 400 [71705]

(续)

表 5.5
未焊接的铝合金的最小机械性能（续）

合金和回火	产品 ^a	厚度范围, 英寸 [mm]	拉力		压力	剪切力		承载力		压缩弹性模量 ^b E, ksi [MPa]
			$\bar{\sigma}_{tu}$	$\bar{\sigma}_{tt}$	$\bar{\sigma}_{cy}$	T_u	T_y	$\bar{\sigma}_{bru}$	$\bar{\sigma}_{bry}$	
6061-T6, T651	薄板和板材	0.010-4.000 [0.3-102]	42 [290]	35 [241]	35 [241]	27 [186]	20 [138]	88 [607]	58 [400]	10 100 [69637]
-T6, T651 ^c	挤压件	1.000 [25] 及以上	38 [262]	35 [241]	35 [241]	24 [166]	20 [138]	80 [552]	56 [386]	10 100 [69637]
-T6, T651	轧制棒和条钢	8.000 [203] 及以上	42 [290]	35 [241]	35 [241]	27 [186]	20 [138]	88 [607]	56 [386]	10 100 [69637]
-T6	冷拔管	0.025-0.500 [0.6-13]	42 [290]	35 [241]	35 [241]	27 [186]	20 [138]	88 [607]	56 [386]	10 100 [69637]
-T6	管材	0.999 [25] 及以上	42 [290]	35 [241]	35 [241]	27 [186]	20 [138]	88 [607]	56 [386]	10 100 [69637]
-T6	管材	0.999 [25] 以上	38 [262]	35 [241]	35 [241]	24 [166]	20 [138]	80 [552]	56 [386]	10 100 [69637]
6063-T5	挤压件	0.500 [13] 及以上	22 [152]	16 [110]	16 [110]	13 [90]	9 [62]	46 [317]	26 [179]	10 100 [69637]
-T5	挤压件	0.500 [13] 以上	21 [145]	15 [103]	15 [103]	12 [83]	8.5 [58]	44 [303]	24 [166]	10 100 [69637]
-T5	挤压件和管材	全部	30 [207]	25 [173]	25 [173]	19 [131]	14 [97]	63 [434]	40 [276]	10 100 [69637]
6351-T5	挤压件	1.00 [25] 及以上	38 [262]	35 [241]	35 [241]	24 [166]	20 [138]	80 [552]	56 [386]	10 100 [69637]
7005-T53	挤压件	0.7 [18] 及以上	50 [345]	44 [303]	43 [297]	28 [193]	25 [173]	95 [655]	73 [503]	10 500 [72395]

^a 绝大部分产品和厚度范围出自铝协会 1979 年版的“铝标准和数据”。

^b 典型数值。计算偏差时用平均弹性模量，数值上比此栏内数据低 100 ksi [690 MPa]。

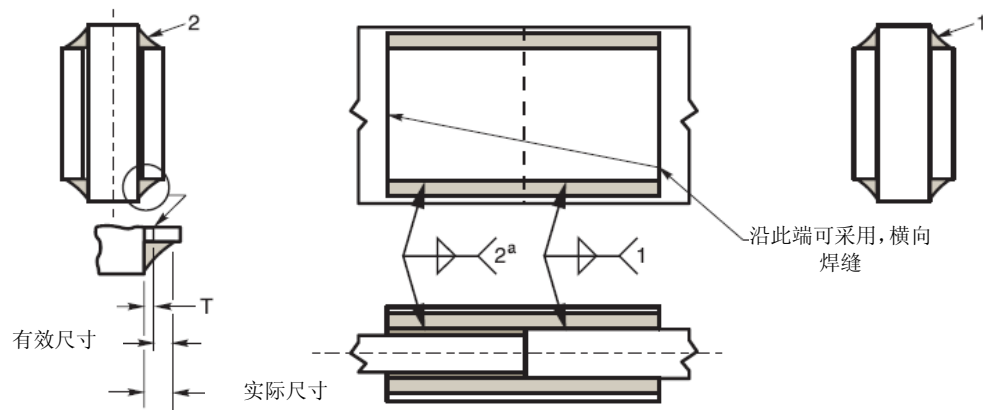
^c 数据同样适用于 -T6511 回火。

表 5.6
低氢焊条允许暴露于大气的时间

焊条	A (小时)	B (小时)
A5.1/A5.1M		
E70XX	≤ 4	
E70XXR	≤ 9	$4 < t \leq 10$
E70XXHZR	≤ 9	
E7018M	≤ 9	
A5.5/A5.5M		
E70XX-X	≤ 4	$4 < t \leq 10$
E80XX-X	≤ 2	$2 < t \leq 10$
E90XX-X	≤ 1	$1 < t \leq 5$
E100XX-X	$\leq 1/2$	$1/2 < t \leq 4$
E110XX-X	$\leq 1/2$	$1/2 < t \leq 4$
E120XX-X	$\leq 1/2$	$1/2 < t \leq 4$
E70XX-X R	≤ 9	
E80XX-X R	≤ 9	
E90XX-X R	≤ 9	
E100XX-X R	≤ 9	
E110XX-X R	≤ 9	
E120XX-X R	≤ 9	

注：

1. A 栏：焊条在大气中暴露的时间超过表中规定的时间时，必须在使用前在干燥。
2. B 栏：：焊条在大气中暴露的时间超过试验确定的时间时，必须在使用前再干燥。
3. 整个表格：焊条必须配给并保存于小筒中或其他小敞口容器内。不强制使用加热容器。
4. 选用的补充标号 R，表明系下列低氢焊条：它已经过焊条药皮暴露于潮湿环境 9 小时的含水量试验，符合 AWS A5.1/A5.1M，焊条电弧焊用碳钢焊条规范和 AWS A5.5/A5.5M，焊条电弧焊用低合金钢焊条规范允许的最大值。



^a 焊缝 2 的有效面积应与焊缝 1 的相同，但它的尺寸为有效尺寸加填充金属 T 的厚度。

图 5.1 — 厚度小于 1/4 英寸 [6 mm] 的填充金属

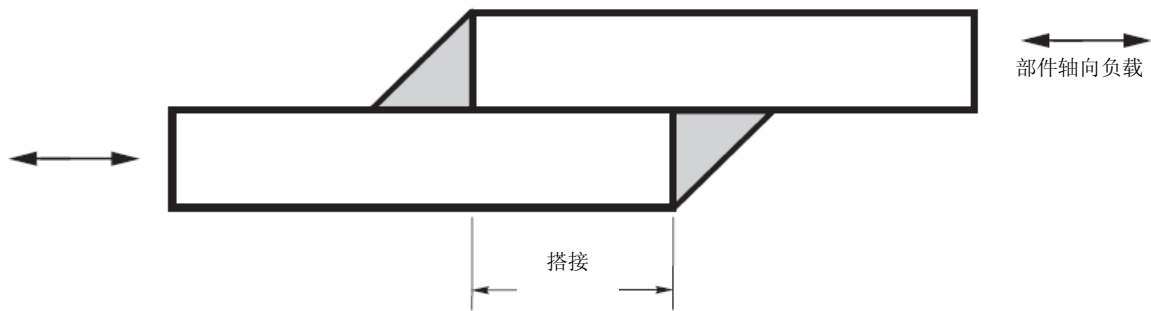
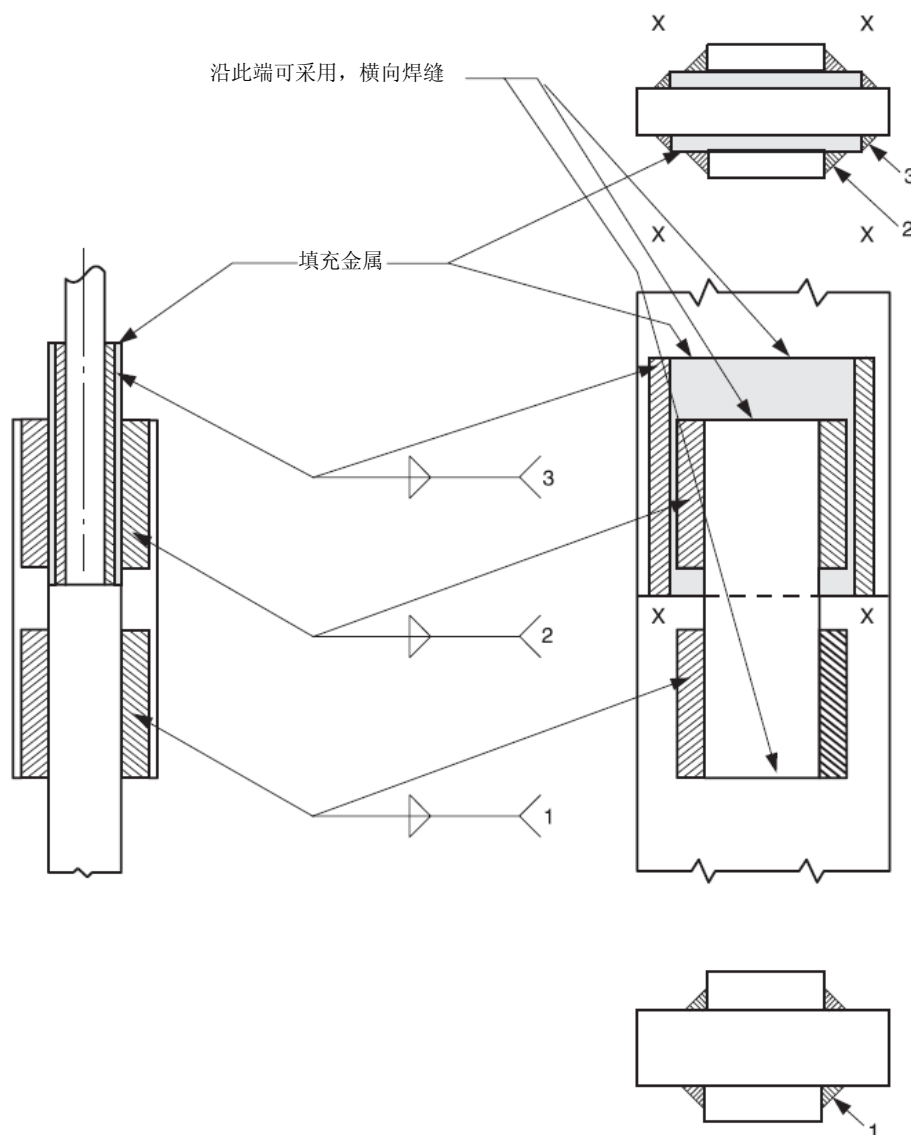


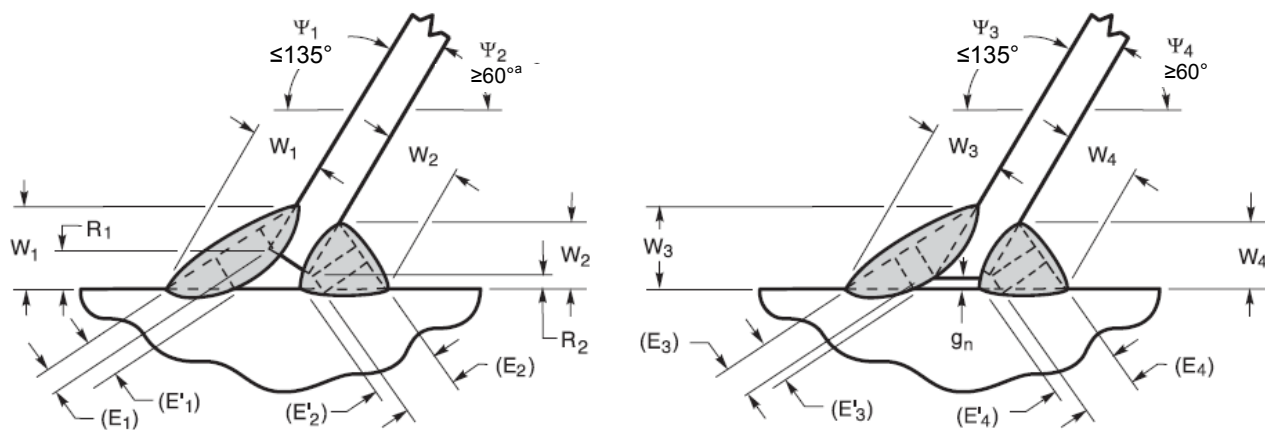
图 5.2 — 搭接和部件轴向负载



注：

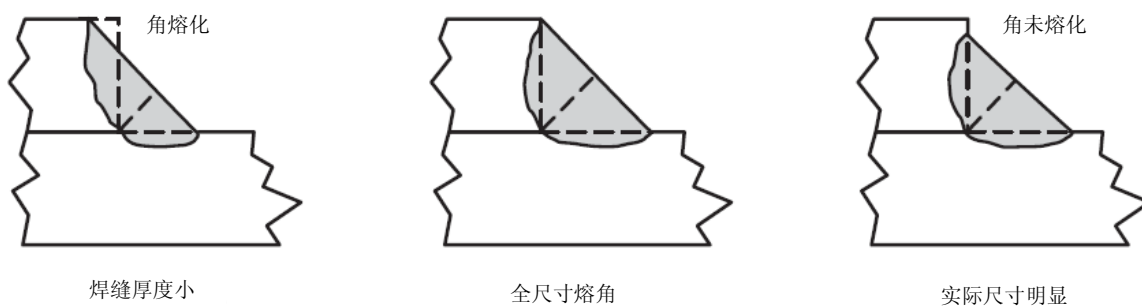
1. 焊缝 2 的有效面积应等于焊缝 1。焊缝 2 应具有足够的长度以避免填充金属沿 x-x 面剪切力过大。
2. 焊缝 3 的有效面积应至少等于焊缝 1 的有效面积。并不会因为填充材料拉力偏离导致焊缝 3 端部过度拉紧。

图 5.3 — 厚度为 1/4 英寸 [6 mm] 或更厚的填充材料



(A) 斜 T 形接头

^a 允许角度小于 60° ，但在该种情况下，认为焊缝为部分接头熔透坡口焊缝。注：(E)(n)' (E')(n) = 有效焊缝厚度，取决于焊缝根部间隙度 (R) (见 7.3.1)。脚注表示 1、2、3 或 4。



(B) 角焊缝尺寸

左侧焊缝的角已熔化，是的焊缝实际尺寸比看上去的尺寸要小。右侧焊缝的角未熔化，所以焊缝尺寸很容易确定（参见 5.4.4.1）。

图 5.4 — 角焊缝细节

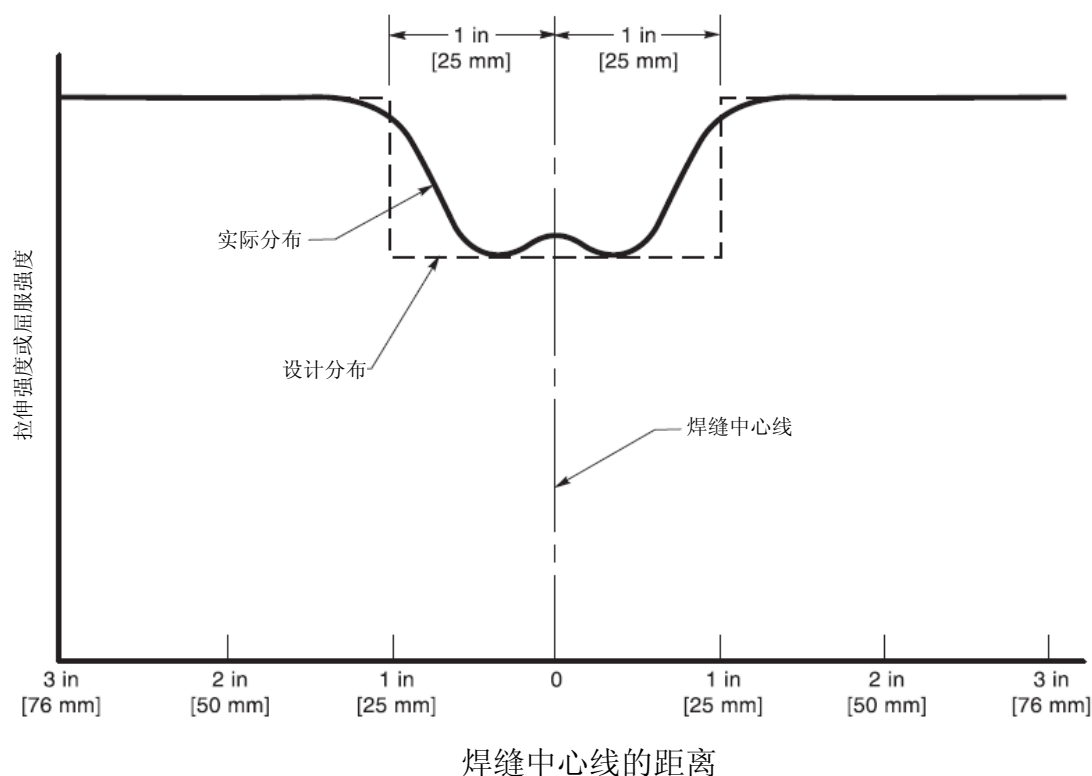


图 5.5 铝焊缝周围的机械性能分布图

6. 技术和工艺

6.1 概述

6.1.1 范围。本节内容是对使用 5.1 所述的焊接方法制造出的焊接组件与结构的生产与检测。

6.1.2 设备。所有的焊接和切割设备的设计和制造都应能保证合格焊工，焊接操作工和定位焊工能够按照本规范所列各项工艺生产出合格的产品。

6.1.3 焊接条件。将要焊接的表面不允许被弄湿或者暴露在雨、雪、大风下，焊接区域的温度低 0°F [-18°C] 时不能进行焊接。此类条件不更改或排除焊接工艺规程要求的最小预热或层间温度。

6.1.4 铝合金的最大预热温度。对于可热处理的铝合金和镁含量大于或等于 3 % 的铝合金进行预热处理时，其温度不能超过 250°F [121°C]。

6.2 母材的制备

6.2.1 钢和铝母材

6.2.1.1 热切割标准。铝合金的热切割仅限于等离子弧切割 (PAC) 和激光切割 (LBC) 两种方法。热切割时，必须注意调节和操作设备，以免离开规定的路线而切割超过（或未达到）切割线的范围。所有热切割表面粗糙度应不超过美国国家标准协会 (ANSI) 规定的表面粗糙度数值：厚度为 4 英寸 [102 mm] 以内的材料，粗糙度为 $1000\text{ }\mu\text{in}$ [$25\text{ }\mu\text{m}$]，厚度为 4 英寸至 8 英寸 [102 mm 至 203 mm] 的材料，粗糙度为 $2000\text{ }\mu\text{in}$ [$50\text{ }\mu\text{m}$]。但下述情况例外：不承受计算应力的构件尾端的表面粗糙度值不超过 $2000\text{ }\mu\text{in}$ [$50\text{ }\mu\text{m}$]。ASME B46.1，表面构造（表面粗糙度，波纹度和表层）为参考标准。AWS C4.6M (ISO 9013) 热切割 — 热切

割分类 — 几何产品规范和质量公差可用作评定这些切割边缘表面粗糙度的指南。对于厚度在 4 英寸 [102 mm] 以内的材料,用 3 号样品,对于厚度在 4 英寸至 8 英寸 [102 mm 至 203 mm] 之间的材料,必须用 2 号样品。

粗糙度超过以上数值,以及其他良好表面上深度不大于 3/16 英寸 [5 mm] 的缺口或凹槽,均必须用机械加工或打磨方法消除。切割表面与端部应无焊渣。切除表面不连续性(缺陷)造成的凹陷应以不超过 1:10 的坡度与切割表面圆滑过渡。在切割边缘,厚度不超过 4 英寸 [102 mm] 的母材上的缺口或凹槽不超过 7/16 英寸 [11 mm] 时,经制造商工程师同意,可用焊接方法修理。任何焊接修理必须做到 (1) 对不连续性(缺陷)进行适当制备, (2) 采用评定合格的焊接工艺, (3) 遵守本标准的相关要求, (4) 将竣工焊缝打磨光滑并与邻近表面圆滑过渡。

6.2.1.2 修理不连续性(缺陷)。修理内部不连续性(缺陷)时,切除的金属数量必须保持在最低限度内或不超过允许值。对不连续性(缺陷)的任何焊接修理必须符合本规范相关条款的要求。

在对不连续性(缺陷)进行修理时:

- (1) 肉眼观察到的切割表面不连续性(缺陷)的允许限度和修理必须遵守表 6.1, 其中不连续性(缺陷)长度是材料切割表面上的目检缺陷长度,而深度是则不连续性(缺陷)从切割表面向材料内部延伸的距离。
- (2) 焊接前对板材切割边缘的目检或对焊接接头的射线照相检测或超声波检测过程中,如果发现有长度和深度超过 1 英寸 [25 mm] 的不连续性(缺陷)时,应按照下列程序处理:
 - (a) 在接头完成前,如果观察到如图 6.1 中的 (W)、(X) 或 (Y) 一类的不连续性(缺陷)时,必须用超声波测定其尺寸和形状。当按照 ASTM A435 压力容器钢板直射束超声波检测规范或者 ASTM B548 压力容器用铝合金板超声波检测方法和规范的程序进行试验时,不连续性(缺陷)的面积由底面回波的总损失面积来决定。
 - (b) 验收时,不连续性(缺陷)的面积(或多个不连续性(缺陷)面积的总和)不得超过被切割材料面积(长×宽)的 4%, 否则不合格。但下述情况例外:当在垂直于被切割材料长度方向测量时,如果任一横截面上不连续性(缺陷)的长度或多个不连续性(缺陷)的总宽度超过切割材料宽度的 20%, 则必须按超出 20% 的那个百分数,从以上所允许合格的、那个占被切割材料面积的 4% 中扣除。(例如,不连续性(缺陷)为被切割材料宽度的 30%, 则不连续性(缺陷)面积不得超过被切割材料面积的 3.6%。)材料切割表面上的不连续性(缺陷)必须用铲凿、刨槽、气碳、等离子弧刨、机械加工或打磨方法除去,清除的深度在它与表面的相交处应达 1 英寸 [25 mm] 以上,然后进行焊层厚度不超过 1/8 英寸 [3 mm] 的分段多层补焊。
 - (c) 如果在接头完工后发现 Z 类不连续性(缺陷)(图 6.1)而并不超过上面 (b) 中的容许面积,并且在切割的母材表面上测量时,确定其离开焊缝面为 1 英寸 [25 mm] 或更大时,则不要求对此不连续性(缺陷)进行修理。。如果 Z 类不连续性(缺陷)距离焊缝面小于 1 英寸 [25 mm], 则必须用铲凿、刨槽、气碳或等离子弧刨、切割或打磨等方法进行清除,使其距离焊缝熔合区域 1 英寸 [25 mm]。它必须以至少 4 层(每层不超过 1/8 英寸 [3 mm])的分段多层焊接进行修理。
 - (d) 如果 W、X、Y 或 Z 类(图 6.1)不连续性(缺陷)的面积超过 (b) 中的容

许范围，那么被切割材料或构件必须拒收并替换，或在制造商工程师的允许下返修。

- (e) 没有制造商工程师的允许，焊接修理的总长度不得超过切割边缘长度的 20%。
- (f) 所有修理工作必须遵照本规范进行。不连续性（缺陷）的刨槽可从材料正面或切割边缘进行。

6.2.2 钢母材专用

6.2.2.1 边缘和表面要求。待焊接表面应平滑、均匀且不含任何翘片、热裂、裂纹或其他将对焊缝质量或强度产生不利影响的不连续性（缺陷）。待焊表面与邻近焊缝的表面必须没有疏松或厚的氧化皮、焊渣、表面氧化物、潮湿、油脂和其他妨碍正常焊接或产生有害烟雾的外来物质。钢丝刷用力清除不掉的轧制氧化皮或薄防锈药皮可以保留。

6.2.2.2 允许的焊接接头制备方法。机械加工、气碳或等离子弧刨、氧气切割、刨槽、切削、打磨或其他等效的方法可用于焊接接头的制备、清根或清除不合格的焊缝或多余金属。

6.2.3 铝母材专用

6.2.3.1 母材制备

- (1) 边缘制备可采用剪切、锯、等离子弧切、切削或机械加工等方法。除了最终焊缝外形修复或精修外，不推荐采用打磨的方法。有必要进行打磨时，应注意选择非负载型铝料专用研磨剂，研磨剂上不能有润滑剂或其他外来物质。
- (2) 热处理合金热切割后，应使用机械从切割边缘切除 1/8 英寸 [3 mm] 的材料，除非热处理铝合金切割边缘不经机械加工即可使用，且切割区域与焊缝区域分离也不是焊接接头的一部分。

6.2.3.2 焊接接头制备和清根方法。可使用机加工、锯、气碳弧刨槽、切削或打磨等方法制备焊接接头、清根、清除临时焊缝，或清除不合格焊缝或多余金属。

6.2.3.3 表面要求。所有待焊接表面不能有厚铝氧化物、灰尘、药皮、油脂、切割液以及潮湿。化学物质必须小心使用。根据 ANSI Z49.1，焊接、切割和相关工艺中的安全注意健康和因素（见附录F）。清理铝母材时，应注意：

- (1) 严重油污染的母材必须采用化学方法或推荐的溶剂去除油污。
- (2) 表面厚铝氧化物必须采用不锈钢刷或其他推荐材料或采用化学方法清理。

6.2.3.4 铝清洁刷。清理铝用的刷子必须是不锈钢材料并保持干净。清理与焊接之间的时间间隔应尽可能短。

6.3 钢和铝组件标准

6.3.1 根部间隙。通过角焊缝连接的部件应尽可能贴得紧密。根部间隙 R 不能超过 3/16 英寸 [5 mm]。如果间隙为 1/16 英寸 [2 mm] 或更大，角焊缝的焊脚应根据间隙大小而增加，或者由制造商证明已获得所需有效焊缝尺寸。

6.3.1.1 贴合面。搭接接头、塞焊缝和槽焊缝的贴合面的间隙，以及衬垫上的对接接头贴合面的间隙不能超过 1/16 英寸 [2 mm]。

6.3.1.2 填充金属。除非设计图纸规定或者制造商工程师和业主工程师许可并且遵照 5.4.3 的要求，否则不能使用填充金属。

6.3.2 最大根部间隙。通过接头部分熔透坡口焊连接的与其长度方向平行的部件应尽可能贴近。部件间根部间隙 R 不能超过 3/16 英寸 [5 mm]。

6.3.3 对焊接头对准。以对焊接头的方式连接的部件必须仔细对准。部件由于离心率的作用而受到限制防止弯曲时，对准允许存在不超过较薄焊接部件厚度 30% 的偏移，但是在任何情况下，偏移都不能超过 1/8 英寸 [3 mm]。除非图纸上另有说明，偏移的测量必须以部件的中心线为准。

6.3.4 超出公差的接头。坡口焊接接头的横截面尺寸与详细图纸上给出的值不同，且超过表 6.2 中的允许公差，应该报请制造商工程师同意或修正。

6.3.4.1 超出范围的根部间隙。根部间隙超过表 6.2 中的允许值但没有超过较薄部件厚度的两倍或 3/4 英寸 [19 mm]（取两者之中较小者），可以在连接部件前通过焊接将其修正到可接受尺寸范围内。大于上述范围的根部间隙只有得到制造商工程师的许可才能焊接。

6.3.4.2 刨槽。刨槽生成的坡口必须符合焊接工艺规程中关于坡口截面尺寸的规定。

6.3.4.3 固定。待焊部件必须对准并且通过紧固件、定位板、螺栓、夹子、楔子、牵索、压杆或其他适当装置固定，或者采用定位焊缝直到焊接结束。推荐使用紧固件。但这些装置应有足够的硬度和强度承受焊接时因温度改变而产生的力。同样，定位焊缝也必须有足够的有效焊缝尺寸和长度以提供必要的强度。

6.3.4.4 衬垫。如果有规定，衬垫最好与焊接部件表面都直接紧密接触，且其间隙不得大于 1/16 英寸 [2 mm]。

6.3.4.5 接头完全熔透坡口焊。在厚度为 1/4 英寸 [6 mm] 或更厚的母材上从两边进行完全接头熔透手工或半自动坡口焊缝时，如果待焊接位置并非水平位置，则在从第二面熔透根部焊道焊缝金属前将焊缝根部良好清洁以保证接头完全熔透。使用熔结金属衬垫的坡口焊必须使焊缝金属完全熔合于衬垫上。

6.3.4.6 横向坡口焊缝要求（承重）。承重件上的横向坡口焊应在整个接头长度上采用整个焊缝尺寸进行。如果使用熄弧板，每个焊道都必须在至少距离被连接部件边缘以外较厚部件的厚度两倍的位置起弧与熄弧。

6.3.5 定位焊缝。定位焊缝必须由合格的定位焊工采用书面、合格或预评定焊接工艺规程进行，并且满足最终焊缝的质量要求。

将合成为最终焊缝的定位焊缝应该使用与最终焊缝相同的填充金属并且在合成前进行彻底清理。不合成最终焊缝或图纸中没有显示的定位焊缝应予以清除。

6.4 焊缝剖面形状

6.4.1 角焊缝。角焊缝的表面可以有轻微的凸度，平坦或轻微的凹度，如图 6.2(A) 和 (B) 所示，但不能有图 6.2(C) 所示的不合格剖面形状。除了外侧角接接头外，单个焊缝或者单个表面焊道的凸度 C 不得超过图 6.2 中所给定的值[见图 6.2(A)、6.2(B) 和 6.2(C)]。

6.4.2 坡口焊缝。除非另有规定，坡口焊缝最好有轻微的余高。凸度（余高）不能超过下述规定：

- (1) 厚度小于等于 1/2 英寸 [13 mm]，余高为 3/32 英寸 [2 mm]
- (2) 厚度大于 1/2 英寸至 1 英寸 [13 mm 至 25 mm]，余高为 1/8 英寸 [3 mm]
- (3) 厚度大于 1 英寸 [25 mm]，余高为 5/32 英寸 [4 mm]

余高应逐步过渡到母材表面的平面上（见图 6.2(D)）。对焊接头的不合格坡口焊缝剖面形状见图 6.2(E)。

6.4.3 接头表面余高。如果接头的表面要求平齐，处理时应以保证较薄母材的厚度或焊缝金属的厚度减少不超过 1/32 英寸 [1 mm] 或者材料厚度的 5%，取二者中较小者，并且余高

不应超过 1/32 英寸 [1 mm]。但是，当焊缝成为贴合面或接触面的一部分时，必须将余高去除。所有余高都必须与板材平面平滑过渡，且过渡区域没有咬边。如果采用切削，则切削后需进行打磨。如果表面精心修整，其粗糙度不得超过 250 μin [6 μm]。如果表面精度在 125 μin 至 250 μin [3 μm 至 6 μm] 之间，应沿主要应力方向进行修整。如果表面精度为 125 μin [3 μm] 及以下，可以从任意方向进行修整。

6.4.4 接头端部剖面形状。如果接头的端部要求平齐，应精心修整以保证详细宽度以外的宽度或者实际宽度减少不超过 1/8 英寸 [3 mm]，取二者中值较大者，或者每端的余高不超过 1/8 英寸 [3 mm]。接头焊缝端部必须做修整，以与相邻表面或边缘平滑过渡，坡度不超过 1:10。

6.4.5 角焊缝的焊瘤。角焊缝中不允许存在焊瘤。

6.4.6 坡口焊缝的焊瘤。坡口焊缝中不允许存在焊瘤。

6.5 焊接后修理

6.5.1 接头制备方法。可采用机加工、打磨、切削、氧气切割、气碳弧或等离子弧刨槽等方法切除焊缝金属或部分母材。淬火钢、回火钢或铝合金不能使用氧气切割。切除不合格的焊缝部分时，不能同时切除母材。

6.5.2 修理范围。除了 6.5.6 的规定外，制造商可选择对不合格的焊缝进行修理或者切除并更换整个焊缝。被修理或更换的焊缝应该用原有方法进行试验，并采用同样的技术和质量验收标准。

6.5.3 检测方法和裂纹修理。对于焊缝或母材上的裂纹，应通过酸腐蚀、磁粉检测、着色渗透检测、射线照相检测，超声波检测或其他有效的方法确定其程度范围。应清除优质金属上的裂纹。重新焊接接头前应确定所有裂纹已被清除。

6.5.4 变形控制（钢）。如有要求，钢件的焊接变形应通过机械手段或小心控制下局部热处理的方法予以校直。M-1 材料（参见 AWS B2.1/B2.1M，焊接工艺和性能评定规范）的热处理温度应控制在 1200°F [649°C]。所有其他材料需要准备书面申请并得到制造商工程师批准。调质钢热处理不能超过其具体的回火温度。

6.5.5 变形控制（铝）。铝件由于焊接引起的变形应该采用机械方法在常温下校直，或机械方法和小心控制的局部热处理方法同时使用。如果采用局部热处理进行校直，所有工作程序必须有记录并经制造商工程师同意。最大热处理温度见表 6.3 和下述说明：

6.5.5.1 除了和热处理一起使用的机械方法产生的应力外，受热部件不应受任何残余应力和其他外力的作用。

6.5.5.2 铝合金在成形和调直时在不同温度下最长保温时间见表 6.3。同时铝合金加热时，还应考虑下列因素：

- (1) 对于镁含量不足 3% 的 1XXX、3XXX 和 5XXX 系列铝合金，及铸造合金 443.0，没有温度限制，只是随着温度的升高，性能可能会降低。
- (2) 对于镁含量超过 3% 的 5XXX 系列合金，必须避免将温度保持在 150°F 至 450°F [66°C 至 232°C] 的范围内，以将剥落和应力腐蚀裂纹的敏感化可能性降到最低。此温度范围内的时间长短是敏感化程度的关键因素。热成形技术应该包括快速加热到不超过 550°F [288°C] 的温度，最大限度降低机械性能的损失。成形应该在金属温度降到 450°F [232°C] 前完成。应对金属进行通风冷却，使金属温度在最短的时间内由 450°F 至 150°F [232°C 至 65°C] 以防止敏感化。
- (3) 对于 6XXX 系列合金，变形清除应在低于 450°F [232°C] 的温度下进行。清除焊

接产生的变形时，其保温时间不能超过表 6.3 的规定。

- (4) 对于 7005 合金，变形清除应在“O”退火，“W”溶液热处理的条件下进行。然后对结构进行必要的热处理进行校直。
- (5) 对于可热处理的铝合金铸件，必须在时效硬化前在“T4”条件下进行校直。预热不能超过 300°F [149°C]，并且时间必须很短以保证不影响热处理性能。

6.5.6 对母材（6.2 中要求的除外）的修理工应事先得到制造商工程师的同意。对延时裂纹的修理，以及变更设计以弥补缺陷，应事先得到制造商工程师和业主工程师的同意。

6.5.7 通知工程师。将装配和焊接不当的焊接部件切开前应通知制造商工程师。

6.5.8 可修理性。如果出现了不合格的焊缝后所采取的措施使得焊缝不可修理，或产生了使不合格焊缝的修理工作危险或无效的新情况，那么应在修理前通过清除焊缝或构件或同时清除两者的方法恢复原来的状态。否则，应按照制造商工程师同意的设计变更采取其他措施弥补缺陷。

6.5.9 修理错位孔。如果要通过焊接将有错位孔的母材恢复原状，必须符合下列要求：

6.5.9.1 除非是结构上的原因，不推荐使用焊接方法恢复。

6.5.9.2 除非制造商工程师同意，禁止用焊接方法对承受抗拉应力的母材上的洞孔进行恢复。

6.6 引弧

在母材的永久焊缝区域外应避免有引弧。由引弧导致的裂纹或瑕疵应打磨光滑并检验以确保金属质量。

6.7 清洁和保护药皮

6.7.1 涂漆。检查和验收前，焊接接头不应该涂漆或有其他药皮。

6.7.2 多焊道焊缝的清洁。在对有明显堆焊金属进行焊接之前，要清除所有熔渣，焊缝及其邻近的母材应保持清洁。此要求不仅适用于多焊层焊接也适用于多焊道焊接以及被中断后重新开始焊接的弧坑。但是，此要求不限制根据 8.6 进行的塞焊缝和槽焊缝焊接。

6.7.3 单焊道焊缝的清洁。所有完成的焊缝都必须清除熔渣。焊缝以及邻近的母材表面必须用刷子或其他适当的方法清洁。

6.7.4 焊缝外观。在外观比较重要的地方，焊接飞溅、粘附物，以及擦痕都必须按要求以刷洗、打磨、砂磨或抛光等方法处理。

6.8 焊接停止

6.8.1 引出板（钢）。必须以一种能确保焊接质量的方法在接头末端结束焊接。如果需要，则应使用引出板结束焊接。除非图纸上标明或者制造商工程师同意保留，否则应清除引出板。引出板清除后，应将焊缝端部及相邻区域打磨光滑并与对接部件边缘平滑过渡。

6.8.2 引出板（铝）。对于铝合金，如果焊接不能在伸出板或引出板上结束时，事先必须采取措施，保证焊接在应力低的区域结束。结束接头内的角焊缝或覆盖焊道的技术应包括下述内容：

6.8.2.1 在加快焊接速度以减小弧坑尺寸的同时，倒转焊接方向至少 0.5 英寸 [13 mm]。

6.8.2.2 提供适当的熔敷，采用机械手段清除弧坑，与焊缝表面平滑过渡。

6.9 坡口焊缝衬垫

6.9.1 熔合的金属衬垫。使用熔合的金属衬垫的坡口焊缝应使焊缝金属在整个焊缝长度上

完全与衬垫熔合。

6.9.2 全长衬垫。应该在整个焊缝长度内持续使用永久衬垫。衬垫上所有必要的焊接接头都必须满足第 6 节的工艺要求的接头完全熔透坡口焊缝的对焊接头。

6.9.3 临时衬垫。钢坡口焊缝的临时衬垫（非钢）应为非可熔性材料，如铜、黄铜或陶瓷。铝材用的临时衬垫可为奥氏体不锈钢，玻璃带，陶瓷材料和同一组别（AWS B2.1/B2.1M，焊接工艺和性能评定规范）的阳极化铝合金。铝材不能使用铜衬垫。

6.10 调质钢的热输入控制

6.10.1 焊接调质钢时，应按照钢材制造商的建议限制热输入。强烈推荐线状焊道以避免过度加热。

6.10.2 禁止对调质钢进行氧气切割。

6.10.3 如果要消除焊缝的应力，焊接工艺规程没有免除评定的话，必须按第 10 节要求进行评定。

6.11 消除应力热处理

合同图纸或规范要求时，必须对焊接组件进行消除应力热处理。应力消除后最好进行精加工。对于铝合金，每种合金及回火都要有具体的热处理方法。

6.12 锤击

6.12.1 钢母材

6.12.1.1 焊缝过渡层可以进行锤击处理以控制较厚焊缝上的收缩应力防止产生裂纹。但不能在焊缝根部和表层或者焊缝边缘的母材上进行锤击处理。要注意防止焊缝和母材的上出现焊瘤或开裂。

6.12.1.2 为了加强疲劳性能，可以根据制造商工程师同意的书面程序进行锤击处理。此类锤击处理必须是在完成焊缝检查以后进行。

6.12.1.3 使用手工除渣锤、凿子和其他轻型震动工具去除焊渣和飞溅不视为锤击处理。

6.12.2 铝母材。铝母材焊缝的锤击处理要经制造商工程师的同意。

6.13 螺柱电弧焊 (SW) 工艺

6.13.1 设计和细节。螺柱的设计应适合采用连接到可靠的直流电源负极 (DCEN) 的机械定时螺柱焊接设备进行钢件焊接。螺柱的类型、直径、长度都应符合图纸和规范的规定，或符合由制造商工程师同意的特殊要求。焊接时，螺柱及母材上将采用螺柱焊接的区域应无锈、无氧化皮，无油或其他可能影响焊缝质量的有害物质。

6.13.2 焊枪位置。操作中，焊缝金属固化前焊枪位置要保持不变，不得移动。

6.13.3 最低温度。金属母材温度低于 0°F [-18°C] 或者母材表面潮湿或者暴露在雨雪中时，严禁进行螺柱电弧焊。

6.13.4 电弧罩。每个螺柱均应配备由热绝缘陶瓷或其他使用材料制成的电弧罩（包头）。焊接结束后，电弧保护套将自行断裂。

6.13.5 最低温度（铝）。对于铝材，焊接时母材的最低温度为 50°F [10°C]。

注：关于螺柱电弧焊的其他信息，见 AWS C5.4 螺柱焊接建议操作规程。

6.13.6 其他焊接方法。至于其他焊接方法，可根据书面规程采用低氢角焊缝方法焊接螺柱。

6.13.7 螺柱焊缝修理。可采用低氢角焊缝方法对无法获得 360° 闪光的焊接螺柱进行修理。修理焊缝在每个不连续性（缺陷）端部以外至少要延长 1/4 英寸 [6 mm]。

6.13.8 验收标准。前两个螺柱焊接完，并允许冷却以后，应使用锤子敲击螺柱使其弯曲至与原来的轴线成 30° 角。两个连续螺柱满足此要求，并且没有失败，则为合格。如果任一螺柱的熔合区出现失败，应调整程序并不断重复试验直到成功。

6.14 工件引线

6.14.1 连接要求。工件引线应直接与被焊接车辆或机车的部件或部位连接并且尽可能靠近焊缝区域。为避免损坏轴颈轴承，在任何情况下，工件引线都不能与下述物件接触：

6.14.1.1 被焊接车辆或机车下装配好的转向架的任何部位。

6.14.1.2 车辆或机车所在轨道。

6.14.2 带蓄电池车辆。所有带蓄电池的车辆，应将其蓄电池开关打开，防止损坏电子或电气部件。

6.14.3 自动力车辆。自动力车辆的换向开关应居中，并将取下把手，防止车辆出现任何无意移动。

6.15 焊接空气制动管

空气制动管及管件应根据最新版的 AAR S-402 铁路车辆空气制动管和配件焊接规范或其他权威规范进行焊接。

表 6.1
切割边缘不连续性（缺陷）的允许限度及修理

不连续性（缺陷）说明	修理要求
任何缺陷长度 ≤ 1 in. [25 mm]	不修理
任何缺陷长度 > 1 in. [25 mm], 深度 $\leq 1/8$ in. [3 mm]	不修理, 但要探查深度 ^a
任何缺陷长度 > 1 in. [25 mm], $1/8$ in. [3 mm] \leq 深度 $\leq 1/4$ in. [6 mm]	清除, 无需焊接
任何缺陷长度 > 1 in. [25 mm], $1/4$ in. [6 mm] \leq 深度 ≤ 1 in. [25 mm]	完全清除并焊接。焊接总长度不超过修理板材边缘长度的 20%
任何缺陷长度 > 1 in. [25 mm], 深度 ≥ 1 in. [25 mm]	参见 6.2.1.2(2)

^a 在有问题的切割边缘, 取 10% 的不连续性（缺陷）进行打磨以确定深度。如果被探查的任一缺陷其深度超过 $1/8$ in. [3 mm], 则在该切割边缘内的所有缺陷, 都必须进行打磨以确定深度。如果在被抽检的 10% 的缺陷中, 没有一处缺陷深度超过 $1/8$ in. [3 mm], 则该切割边缘上其余缺陷都不需要探查。

表 6.2
接头尺寸公差

	根部未刨槽, in. [mm]	根部已刨槽, in. [mm]
接头根部表面	$\pm 1/16$ [2]	无限制
无熔合金属焊接衬垫的接头根部间隙	$\pm 1/16$ [2]	$+1/16$ [2]
有熔合金属焊接衬垫的接头根部间隙	$+1/4$ [6] $-1/16$ [2]	不适用
接头坡口角度	$+10^\circ$ -5°	$+10^\circ$ -5°

表 6.3
铝合金成形或焊接准备的温度及最大暴露时间

Holding Temperature °F [°C]	^a	^b	^c	^d
		6005-T5 6351-T5 6061-T4 6061-T5 Alclad 6061-T4 Alclad 6061-T5 6063-T5	1060, 1100 3003, 3004 Alclad 3003 Alclad 3004 5005 5050, 5052 5454, 5652 443.0	5083 5086 5154 5254 5456 514.0 535.0
				356.0-T4 A444.0-T4 7005-T6
800 [425]	NR ^a	50 小时	50 小时	50 小时
500 [260]	NR	50 小时	50 小时	NR
450 [232]	5 分钟	50 小时	50 小时	NR
425 [218]	15 分钟	50 小时	50 小时	NR
400 [204]	30 分钟	50 小时	50 小时	NR
375 [191]	1-2 小时	50 小时	NR	NR
350 [177]	8-10 小时	50 小时	NR	NR
230-325 [110-163]	50 小时	50 小时	NR	NR

^a 在相对较高的温度下，以更短时间加热，也可以得到相应的成形结果。对于有包层的合金，在适宜温度下的加热时间应控制在最短，以防止包层熔入内核合金。加热应越快越好，尤其是温度为 400°F [204°C] 或更高。在接近适宜温度时加热过长时间会引起与加热过度同样的有害结果。

^b 在适宜的温度下按规定的时间加热时，T6 回火的合金的强度损失不应不超过 5%。T4 回火的合金强度将会加强。

^c 这些合金应在 650°F [343°C] 或更高温度下退火。

^d NR = 不推荐。

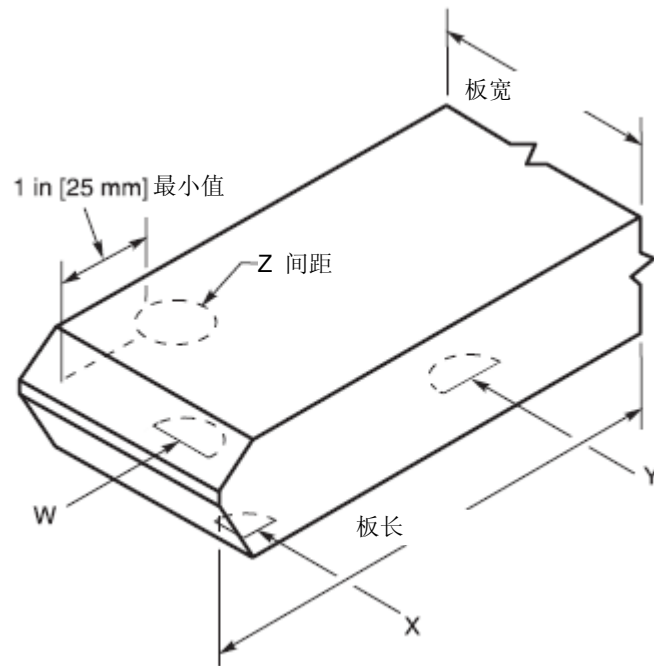
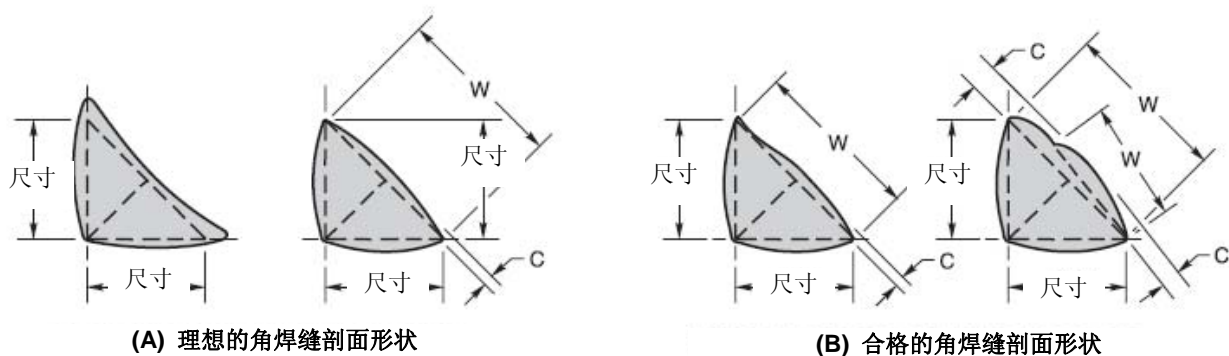
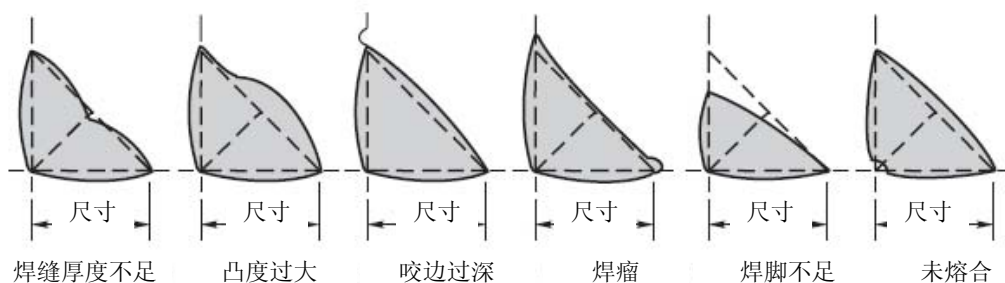


图 6.1 — 切割边缘的不连续性（缺陷）

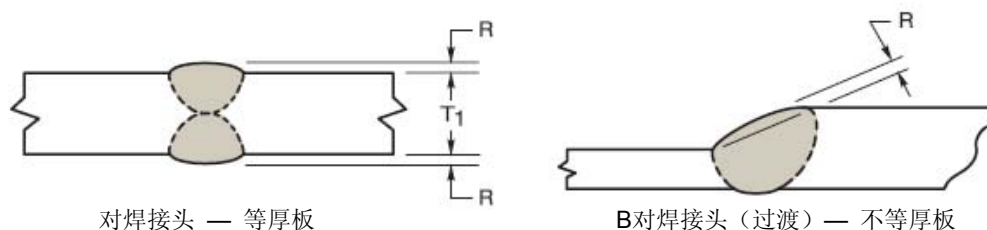


注：焊缝或个别表面焊道的凸度 C 和尺寸 W 不得超过下表中的数值：

焊缝或个别表面焊道的宽度, W	最大凸度, C
$W \leq 5/16 \text{ in. } [8 \text{ mm}]$	$1/16 \text{ in. } [2 \text{ mm}]$
$W > 5/16 \text{ in. } [8 \text{ mm}]$ 至 $W < 1 \text{ in. } [25 \text{ mm}]$	$1/8 \text{ in. } [3 \text{ mm}]$
$W \geq 1 \text{ in. }$	$3/16 \text{ in. } [5 \text{ mm}]$

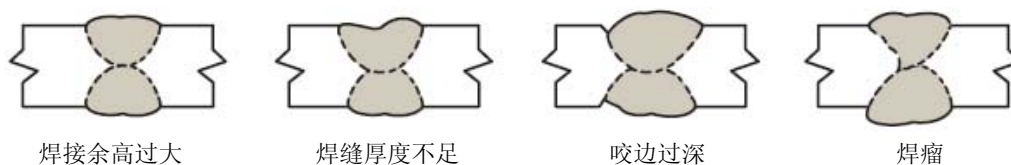


(C) 不合格的角焊缝剖面形状



注：余高不超过 6.4.2 的规定。

(D) 对焊接头的合格坡口焊缝剖面形状



(E) 对焊接头的不合格坡口焊缝剖面形状

图 6.2 — 合格和不合格焊缝的剖面形状

7. 免除评定的焊接工艺规程 — 接头设计细节

免除评定要求符合本规范第 5 节到 8 节的内容。

7.1 坡口焊缝尺寸（有效焊缝尺寸）

7.1.1 部分接头熔透坡口焊缝。采用焊条电弧焊或埋弧焊熔敷或采用气体保护电弧焊或药芯焊丝电弧焊在立焊或仰焊位置熔敷时，部分接头熔透坡口焊缝的焊缝尺寸为坡口面的深度，对于坡口根部的坡口角度大于 45° 小于 60° 的坡口焊缝，应减去 $1/8$ 英寸 [3 mm]。对下述坡口，部分接头熔透坡口焊缝的焊缝尺寸为坡口面的深度不需要缩减：

7.1.1.1 在根部坡口角度为 60° 或更大。

7.1.1.2 在平焊或横焊位置采用气体保护电弧焊 (GMAW) 或药芯焊丝电弧焊 (FCAW)（如适用，则参见表 7.2）熔敷时，坡口根部的坡口角度不小于 45° 。

7.1.2 喇叭形坡口焊缝的有效尺寸。当熔敷填平时，喇叭形坡口焊缝的有效尺寸应如表 7.1 所示。对于未熔敷填平的喇叭形坡口焊缝（未填满 U 形），应将其扣除。对于不同半径 R 的喇叭-V 形坡口焊缝，必须采用较小的 R。对于矩形管状面喇叭形坡口焊缝，R 应为壁厚的两倍。

7.1.2.1 特殊条件。对于给定的一系列程序条件，如果制造商已证明有能力始终如一地提供大于表 7.1 中规定的焊缝尺寸，制造商可以通过评定建立此类大尺寸的焊缝。

7.1.2.2 要求试验。7.1.2.1 中要求的评定应要求包括将圆弧形构件的焊缝中部和端部在垂直于其轴线的方向进行切割。此类切割应该在制造商生产中常用的材料尺寸范围内或按照制造商工程师的要求进行。

7.1.3 最小焊缝尺寸。部分接头熔透坡口焊缝的最小焊缝尺寸见表 5.1。

7.2 接头设计

7.2.1 免除评定的接头。满足下列要求的接头免除评定：

7.2.1.1 满足 7.3 到 7.6 规定的细节，并且符合第 8 节的技术规定。

7.2.1.2 根据第 5 节至第 8 节的要求，采用了下述焊接方法之一：SMAW、SAW、GMAW（短路过渡除外）或 FCAW。

7.2.2 试验。满足 7.2.1 的要求的接头可以不经第 10 节中规定的焊接工艺评定试验而直接使用。

7.2.3 短回路气体保护电弧焊 (GMAW-S)。采用短路过渡气体保护电弧焊焊接的所有接头焊接工艺规程第 10 节的规定进行焊接工艺评定试验。

7.2.4 坡口剖面形状。刨槽制作的坡口应符合图 7.1 和 7.2 的坡口剖面形状。

7.3 角焊缝

7.3.1 第 5.4 节列出了无需接头焊接工艺评定的角焊缝细节，详细说明见图 5.4。

7.3.2 角焊缝的最小焊缝尺寸必须符合表 7.2。

7.4 塞焊缝和槽焊缝细节

7.4.1 接头细节。如果满足 8.6 提供的技术要求，7.4.2 中列出塞焊缝与槽焊缝的焊缝细节和尺寸可直接使用，无需进行第 10 节规定的焊接工艺评定。

7.4.2 孔或槽的尺寸。塞焊缝的孔直径和槽焊缝的槽宽度不能小于材料的厚度再加上 5/16 英寸 [8 mm]。最大宽度应等于最小宽度加上 1/8 英寸 [3 mm]或者为其构件厚度的 2-1/4 倍，取其较大者。

7.4.3 最大槽长度。槽的长度不能超过材料厚度的 10 倍。

7.5 接头完全熔透坡口焊缝

7.5.1 图 7.1A 至 7.1L 给出了可以直接使用，无须进行第 10 节中规定的焊接工艺评定试验的对焊接头、角接接头或 T 形接头的接头完全熔透坡口焊缝的细节，这些焊缝须受 7.5.2 的规定限制（图中使用的符号说明见表 7.3）。

7.5.2 公差。7.5.1 中规定的焊缝可能在设计或详细图纸上有所不同，但必须在图 7.1A 至 7.1L 中“零件图用”一栏中的公差范围内。装配用公差可适用于详细图纸上给出的尺寸。

7.5.2.1 接头细节。用于免除评定的 SMAW 接头的坡口制备也适用于免除评定的 GMAW 和 FCAW 接头。

7.6 部分接头熔透坡口焊缝

图 7.2A 至 7.2K 给出了可以直接使用，无须进行第 10 节中规定的接头焊接工艺评定试验的部分接头熔透坡口焊缝的细节，这些焊缝须受 7.6.2 的规定限制，（图 7.2A 至 7.2K 中使用的符号说明见表 7.3）。

7.6.1 无衬垫坡口焊缝。从一面焊接的没有钢衬垫坡口焊缝，以及从两面同时焊接的但没有清根的坡口焊缝被认为是部分接头熔透坡口焊缝。

7.6.2 公差。7.6 中规定的尺寸可能在设计或详细图纸上有所不同，但必须在图 7.2A 到 7.2K 中“零件图用”一栏中的公差范围内。装配用公差可适用于详细图纸上给出的尺寸。

7.6.3 工作图。生产图或工作图上应对图 7.2A 到 7.2K 中适合于部件外形和焊接尺寸 (S) 的坡口深度做出规定。

7.6.4 接头细节。用于免除评定的 SMAW 接头的坡口制备也适用于免除评定的 GMAW 和 FCAW 接头。

表 7.1
最小和最大塞焊缝直径和角焊缝宽度

母材厚度 (t)		最小值		最大值			
in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
		t + 5/16	t + 7.94	Min + 1/8	Min. + 3.17	t × 2 1/4	t × 57.15
1/4	6.35	9/16	14.29	11/16	17.46	9/16	14.29
5/16	7.94	5/8	15.87	3/4	19.05	45/64	17.86
3/8	9.52	11/16	17.46	13/16	20.64	27/32	21.43
7/16	11.11	3/4	19.05	7/8	22.22	63/64	25.00
1/2	12.70	13/16	20.64	15/16	23.81	1-1/8	28.57
9/16	14.29	7/8	22.22	1	25.40	1-17/64	32.15
5/8	15.87	15/16	23.81	1-1/16	26.97	1-13/32	35.72
11/16	17.46	1	25.40	1-1/8	28.57	1-35/64	39.29
3/4	19.05	1-1/16	26.97	1-3/16	30.16	1-11/16	42.86
13/16	20.64	1-1/8	28.57	1-1/4	31.75	1-53/64	46.43
7/8	22.22	1-3/16	30.16	1-5/16	33.34	1-31/32	50.01
15/16	23.81	1-1/4	31.75	1-3/8	34.92	2-7/64	53.58
1	25.40	1-5/16	33.34	1-7/16	36.51	2-1/4	57.15

表 7.2
熔敷填平的喇叭形坡口焊缝的有效尺寸 (见 7.1.2)

焊接方法	喇叭形坡口焊缝	喇叭 V 形坡口焊缝
SMAW 和 FCAW-S	5/16R	5/8R
GMAW ^a 和 FCAW-G	5/8R	3/4R
SAW	5/16R	1/2R

^a 除 GMAW-S。

注: R = 外侧表面半径。

表 7.3
最小角焊缝尺寸

较厚接头部件的母材厚度 (T), in. [mm]	最小角焊缝尺寸, in. ^{a, b} [mm] ^{a, b}
T ≤ 1/4 [6]	1/8 [3]
1/4 [6] < T ≤ 1/2 [13]	3/16 [5]
1/2 [13] < T ≤ 3/4 [19]	1/4 [6]
3/4 [19] < T	5/16 [8]

^a 焊缝尺寸不需要超过较薄焊接件厚度的情况除外。如有特殊要求, 则需进行热处理以保证焊缝质量。

^b 对于非低氢方法, 一般采用单焊道焊缝, 除非按照 10.6.3 规定的工艺评定进行。

表 7.4
图 7.1A 至 7.1L 和图 7.2A 至 7.2K 的图例

接头类型符号

B — 对接接头
C — 角接接头
T — T 形接头
BC — 对接或角接接头
TC — T 形或角接接头
BTC — 对接、T 形或角接接头

母材厚度和熔透符号

P — 部分接头熔透
L — 厚度有限制 — 接头完全熔透
U — 厚度无限制 — 接头完全熔透

焊缝类型符号

1 — 方形坡口
2 — 单面 V 形坡口
3 — 双面 V 形坡口
4 — 单斜面坡口
5 — 双斜面坡口
6 — 单面 U 形坡口
7 — 双面 U 形坡口
8 — 单面 J 形坡口
9 — 双面 J 形坡口
10 — 喇叭斜面坡口
11 — 喇叭 V 形坡口

焊接方法符号（非焊条电弧焊时）

S — 埋弧焊 (SAW)
G — 气体保护电弧焊 (GMAW)
F — 药芯焊丝电弧焊 (FCAW)

焊接方法

SMAW — 焊条电弧焊
GMAW — 气体保护电弧焊
FCAW — 药芯焊丝电弧焊
SAW — 埋弧焊

焊接位置

F — 平焊
H — 横焊
V — 立焊
OH — 仰焊

尺寸

R — 根部间隙
 α, β — 坡口角度
f — 钝边
r — J 形或 U- 形坡口圆角半径
D, D1, D2 — 部分接头熔透坡口焊缝的坡口深度
S, S1, S2 — 分别对应 D、D1、D2 的部分接头熔透坡口焊缝的焊缝尺寸

接头标号

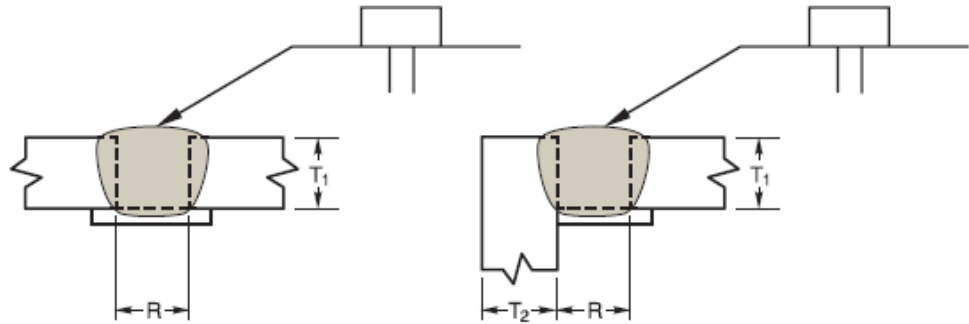
小写字母（如 f 和 r）用来区分那些在其他地方有相同标号的接头。

图 7.1A 至 7.1L 和图 7.2A 至 7.2K 的注释

- ^a 对于利用短路过渡的气体保护电弧焊，不具有预先资格。
- ^b 焊缝前清根至完好金属。
- ^c 表 5.1 所示的最小焊缝尺寸 (S)，在图上规定为 S。
- ^d 如果角焊缝用来加强角接或 T 形接头的坡口焊缝，则该角焊缝尺寸必须等于 $1/4T_1$ ，但不必超过 $3/8$ 英寸 [9.6 mm]。
- ^e 双面坡口焊缝可有不等坡口深度，但较浅坡口深度严禁小于连接的较薄件厚度的四分之一。
- ^f 双面坡口焊缝可有不等坡口深度，如果这些符合注 E 之限定的话。焊缝尺寸 (S) 也分别对应每一坡口深度。
- ^g 如果基本接头配置（坡口角度、钝边、根部间隙）保持相同且设计焊缝尺寸不变，则接头上两个部件的方向可在 135° 至 180° 范围内。
- ^h 如果坡口角度符合规定，则角接接头和 T 形接头上的部件方向可变化。
- ⁱ 如果坡口尺寸符合规定，则部件方向可变化。
- ^j 如果基本接头配置（坡口角度、钝边、根部间隙）保持相同且设计焊缝尺寸不变，则角接接头两个部件的方向可在 135° 至 45° 范围内，T 形接头上两个部件的方向可在 45° 至 90° 范围内。
- ^k 角接接头外侧坡口，如不改变坡口基本形状，则可在一块板上加工，也可在两块板上加工，且留有足够边缘距离，以保持焊接操作而不过分熔化边缘。
- ^l 焊缝尺寸 (S) 以焊成接头齐平为准。
- ^m 对于矩形管的喇叭-V 形坡口焊缝和单边喇叭形坡口，r 必须为壁厚的 2 倍。
- ⁿ 对于不同半径 r 的喇叭-V 形坡口焊缝，必须采用较小的 r。

见 36 页注

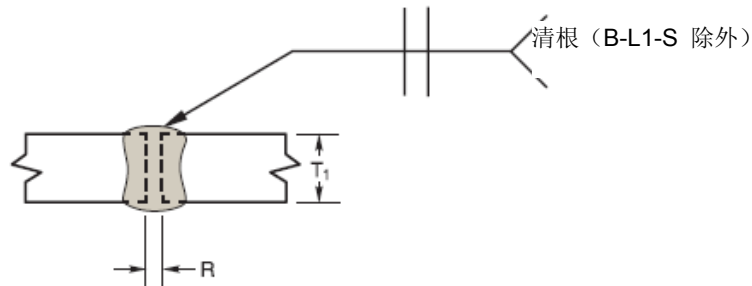
方形坡口焊缝 (1)
对焊接头 (B)
角接接头 (C)



所有尺寸: in. [mm]

坡口准备									
		母材厚度 (U = 无限制)		公差		允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注	
焊接方法	接头标号	T ₁	T ₂	根部间隙	零件用图 (见 7.5.2)				装配用 (见 6.3)
SMAW	B-L1a	1/4 [6] 最大	—	R = T ₁	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/4, -1/16 [+6, -2]	全部	—	g
	C-L1a	1/4 [6] 最大	U	R = T ₁	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/4, -1/16 [+6, -2]	全部	—	—
FCAW GMAW	B-L1a-GF	3/8 [10] 最大	—	R = T ₁	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/4, -1/16 [+6, -2]	全部	无要求	a, g

方形坡口焊缝 (1)
对焊接头 (B)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件用图（见 7.5.2）	装配用（见 6.3）			
SMAW	B-L1b	1/4 [6] 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	—	b, g
GMAW FCAW	B-L1b-GF	3/8 [10] 最大	—	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	无要求	a, b, g
SAW	B-L1-S	3/8 [10] 最大	—	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	—	g
SAW	B-L1a-S	3/8 [10] 最大	—	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	—	b, g

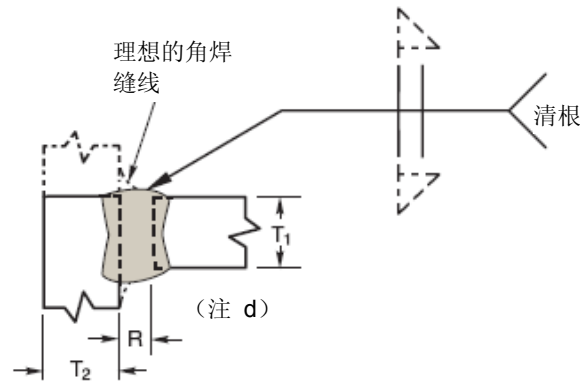
图 7.1A — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

方形坡口焊缝 (1)

T 形接头 (T)

角接接头 (C)

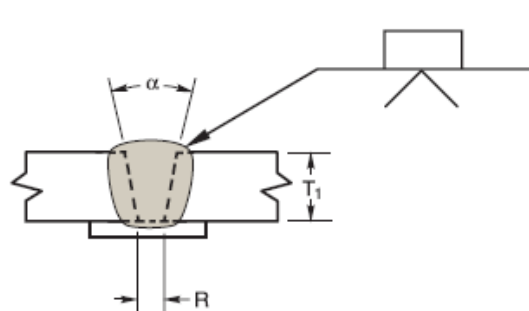


所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件用图（见 7.5.2）	装配用（见 6.3）			
SMAW	TC-L1b	1/4 [6] 最大	U	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	—	b, d
GMAW FCAW	TC-L1-GF	3/8 [10] 最大	U	R = 0 to 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	无要求	a, b, d
SAW	TC-L1-S	3/8 [10] 最大	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	—	b, d

单面 V 形坡口焊缝 (2)

对焊接头 (B)



公差	
零件用图 (参见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
$R = +1/16, -0$ [+2, -0]	+1/4, -1/16 [+6, -2]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°

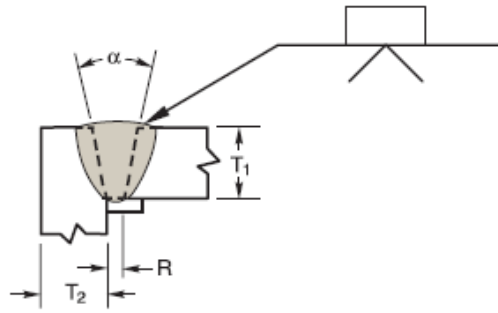
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	B-U2a	U	—	R = 1/4 [6]	$\alpha = 45^\circ$	All	—	g
				R = 3/8 [10]	$\alpha = 30^\circ$	F, OH, V	—	g
				R = 1/2 [13]	$\alpha = 20^\circ$	F, OH, V	—	g
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	—	R = 3/16 [5]	$\alpha = 30^\circ$	F, OH, V	要求进行	a, g
				R = 3/8 [10]	$\alpha = 30^\circ$	F, OH, V	无要求	a, g
				R = 1/4 [6]	$\alpha = 45^\circ$	F, OH, V	无要求	a, g
SAW	B-L2a-S	2 [51] 最大	—	R = 1/4 [6]	$\alpha = 30^\circ$	F	—	g
SAW	B-U2-S	U	—	R = 5/8 [16]	$\alpha = 20^\circ$	F	—	g

图 7.1B — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面 V 形坡口焊缝 (2)
角接头 (C)



所有尺寸: in. [mm]

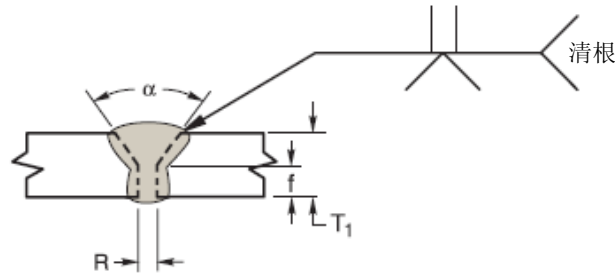
公差	
零件用图 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
$R = +1/16, -0$ [+2, -0]	$+1/4, -1/16$ [+6, -2]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	C-U2a	U	U	R = 1/4 [6]	$\alpha = 45^\circ$	All	—	h
				R = 3/8 [10]	$\alpha = 30^\circ$	F, OH, V	—	h
				R = 1/2 [13]	$\alpha = 20^\circ$	F, OH, V	—	h
GMAW FCAW	C-U2a-GF	U	U	R = 3/16 [5]	$\alpha = 30^\circ$	F, OH, V	要求进行	a
				R = 3/8 [10]	$\alpha = 30^\circ$	F, OH, V	无要求	a, h
				R = 1/4 [6]	$\alpha = 45^\circ$	F, OH, V	无要求	a, h
SAW	C-L2a-S	2 [51] 最大	U	R = 1/4 [6]	$\alpha = 30^\circ$	F	—	h
SAW	C-U2-S	U	U	R = 5/8 [16]	$\alpha = 20^\circ$	F	—	h

图 7.1C — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面 V 形坡口焊缝 (2)
对焊接头 (B)



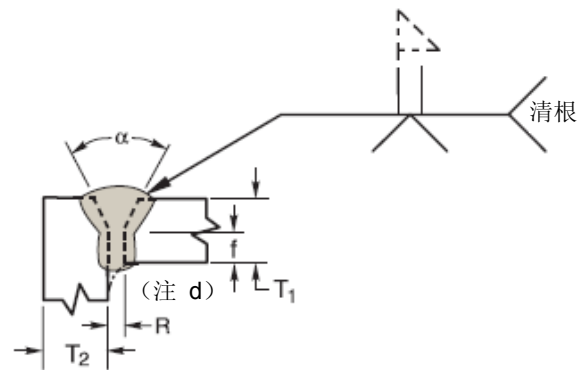
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）		根部间隙 钝边 坡口角度	坡口准备		允许的焊接 位置	FCAW 用 保护气体	注
		T ₁	T ₂		公差				
					零件用图（见 7.5.2）	装配用（见 6.3）			
SMAW	B-U2	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	+1/16, −1/8 [+2, −3]	全部	—	b, g
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	无限制			
				α = 60°	+10°, −0°	+10°, −5°			
GMAW FCAW	B-U2-GF	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	+1/16, −1/8 [+2, −3]	全部	无要求	a, b, g
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	无限制			
				α = 60°	+10°, −0°	+10°, −5°			
SAW	B-L2c-S	大于 1/2 到 1 [大于 13 到 25]	—	R = 0	R = ±0	+1/16, −0 [+2, −0]	F	—	b, g
				f = 1/4 [6] 最大					
				α = 60°					
		大于 1 到 1-1/2 [大于 25 到 38]	—	R = 0	f = +0, −f	±1/16 [±2]			
				f = 1/2 [13] 最大					
				α = 60°					
		大于 1-1/2 到 2 [大于 38 到 51]	—	R = 0	α = +10°, −0°	+10°, −5°			
				f = 5/8 [16] 最大					
				α = 60°					

图 7.1C (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面 V 形坡口焊缝 (2)
对焊接头 (B)



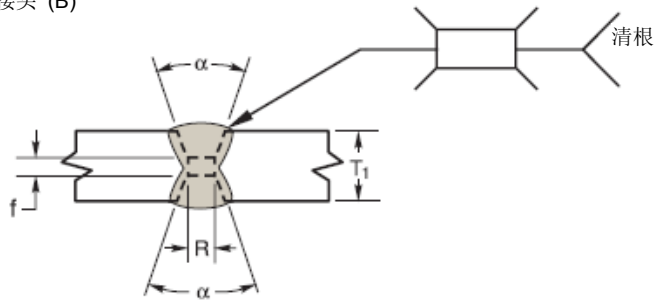
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）		坡口准备		允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注	
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件用图（见 7.5.2）				装配用（见 6.3）
SMAW	C-U2	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	—	b, d, j
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	无限制			
				α = 60°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	C-U2-GF	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	无要求	a, b, d, j
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	无限制			
				α = 60°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	C-U2b-S	1 [25] 最大	U	R = 0 到 1/8 [3]	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	—	b, d, j
				f = 1/4 [6] 最大	+0, -1/4 [-6]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -0°	+10°, -5°			

图 7.1D — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

双面 V 形坡口焊缝 (3)
对焊接头 (B)



公差

		零件用图 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
		$R = \pm 0$	$+1/4, -0$ [+6, -0]
嵌条	SAW	$f = +1/16, -0$ [+2, -0]	$\pm 1/16 [\pm 2]$
		$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
	SMAW	± 0	$+1/16, -0$ [+2, -0]
	SMAW	± 0	$+1/8, -0$ [+3, -0]

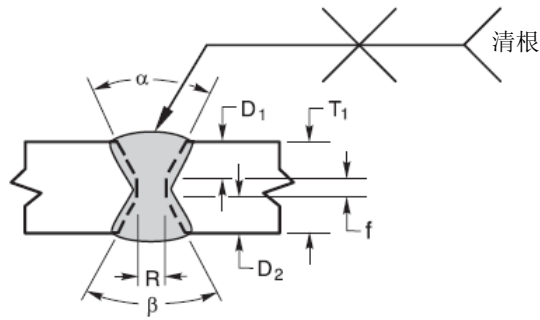
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	钝边			
SMAW	B-U3a	U 嵌条 = 1/8 [3] × R	—	R = 1/4 [6]	f = 0 到 1/8 [3]	α = 45°	全部	b, e, g
				R = 3/8 [10]	f = 0 到 1/8 [3]	α = 30°	F, OH, V	
				R = 1/2 [13]	f = 0 到 1/8 [3]	α = 20°	F, OH, V	
GMAW FCAW	B-U3a-GF	U 嵌条 = 1/8 [3] × R	—	R = 1/4 [6]	f = 0 到 1/8 [3]	α = 45°	全部	b, e, g
				R = 3/8 [10]	f = 0 到 1/8 [3]	α = 30°	F, OH, V	
				R = 1/2 [13]	f = 0 到 1/8 [3]	α = 20°	F, OH, V	
SAW	B-U3a-S	U 嵌条 = 1/4 [6] × R	—	R = 5/8 [16]	f = 0 到 1/4 [6]	α = 20°	F	b, e, g

图 7.1D (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

双面 V 形坡口焊缝 (3)
对焊接头 (B)



所有尺寸: in. [mm]

仅用于 B-U3c-S

T ₁		D ₁
大于	等于	
2 [50]	2-1/2 [60]	1-3/8 [35]
2-1/2 [60]	3 [80]	1-3/4 [45]
3 [80]	3-5/8 [90]	2-1/8 [55]
3-5/8 [90]	4 [100]	2-3/8 [60]
4 [100]	4-3/4 [120]	2-3/4 [70]
4-3/4 [120]	5-1/2 [140]	3-1/4 [80]
5-1/2 [140]	6-1/4 [160]	3-3/4 [95]

对于 $T_1 > 6-1/4 [160]$ 或 $T_1 \leq 2 [50]$
 $D_1 = 2/3 (T_1 - 1/4 [6])$

焊接方法		接头标号		母材厚度（U = 无限制）		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
						根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
							零件用图（见 7.5.2）	装配用（见 6.3）			
SMAW	B-U3b	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	+1/16, −1/8 {+2, −3}	全部	—	d, e, h, j		
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	无限制					
				α = β = 60°	+10°, −0°	+10°, −5°					
GMAW FCAW	B-U3-GF	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	+1/16, −1/8 {+2, −3}	全部	无要求	a, d, h, j		
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	无限制					
				α = β = 60°	+10°, −0°	+10°, −5°					
SAW	B-U3c-S	U	—	R = 0	+1/16, −0 [+2, −0]	+1/16, −0 [+2, −0]	F	—	d, h, j		
				f = 1/4 [6] 最小	+1/4, −0 [+6, −0]	+1/4, −0 [+6, −0]					
				α = β = 60°	+10°, −0°	+10°, −5°					
D ₁ 见上表： D ₂ = T ₁ − (D ₁ + f)											

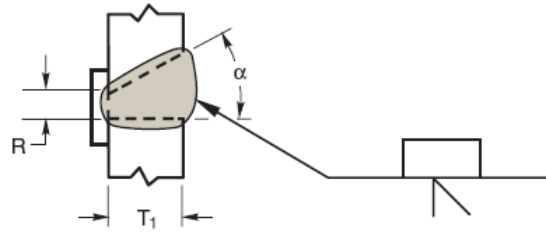
D₁ 见上表: $D_2 = T_1 - (D_1 + f)$

来源: AWS D1.1/D1.1M:2010, 钢结构焊接规范, 图 3.4, 美国焊接协会。

图 7.1D (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面削斜坡口焊缝 (4)
对焊接头 (B)



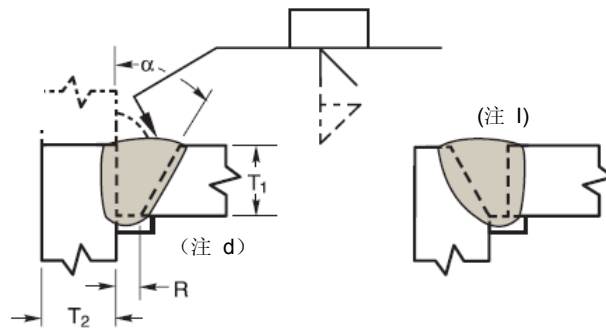
公差

零件用图 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
$R = +1/16, -0$ [+2, -0]	$+1/4, -1/16$ [+6, -2]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	B-U4a	U	—	R = 1/4 [6]	$\alpha = 45^\circ$	全部	—	g
				R = 3/8 [10]	$\alpha = 30^\circ$	全部	—	g
GMAW FCAW	B-U4a-GF	U	—	R = 3/16 [5]	$\alpha = 20^\circ$	全部	要求进行	a, g
				R = 1/4 [6]	$\alpha = 45^\circ$	全部	无要求	a, g
				R = 3/8 [10]	$\alpha = 30^\circ$	F	无要求	a, g

单面削斜坡口焊缝 (4)
T 形接头 (T)
角接头 (C)



公差

零件用图 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
$R = +1/16, -0$ [+2, -0]	$+1/4, -1/16$ [+6, -2]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

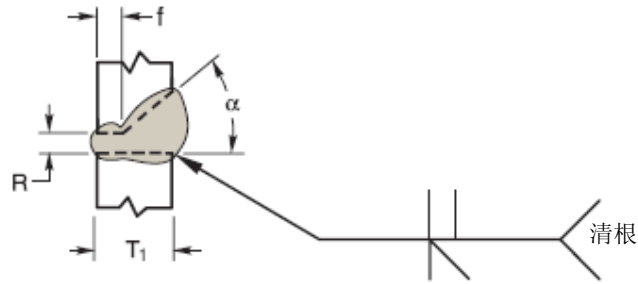
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	TC-U4a	U	U	R = 1/4 [6]	$\alpha = 45^\circ$	全部	—	d, h, k
				R = 3/8 [10]	$\alpha = 30^\circ$	F, OH, V	—	d, h, k
GMAW FCAW	TC-U4a-GF	U	U	R = 3/16 [5]	$\alpha = 30^\circ$	全部	要求进行	a, d, h, k
				R = 1/4 [6]	$\alpha = 45^\circ$	全部	无要求	a, d, h, k
				R = 3/8 [10]	$\alpha = 30^\circ$	F	无要求	a, d, h, k
SAW	TC-U4a-S	U	U	R = 1/4 [6]	$\alpha = 45^\circ$	F	—	d, h, k
				R = 3/8 [10]	$\alpha = 30^\circ$			

图 7.1E — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面斜坡口焊缝 (4)
对焊接头 (B)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）		坡口准备		允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注	
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件用图（见 7.5.2）				装配用（见 6.3）
SMAW	B-U4b	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	+1/16, −1/8 [+2, −3]	全部	—	b, g
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	无限制			
				α = 45°	+10°, −0°	10°, −5°			
GMAW FCAW	B-U4b-GF	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	+1/16, −1/8 [+2, −3]	全部	无要求	a, b, g
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, −0 [+2, −0]	无限制			
				α = 45°	+10°, −0°	10°, −5°			

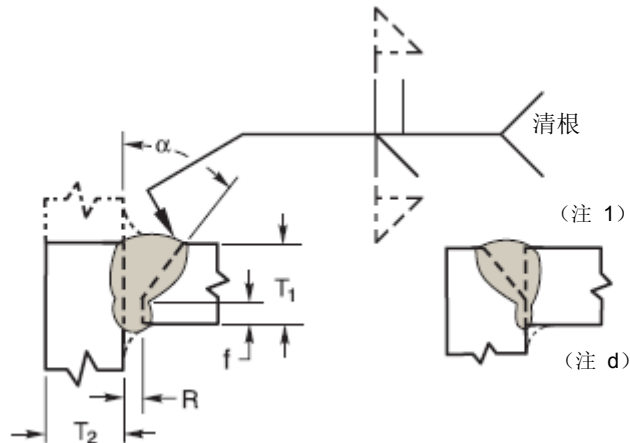
图 7.1F — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面斜坡口焊缝 (4)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）		坡口准备		允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注	
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件用图（见7.5.2）				装配用（见6.3）
SMAW	TC-U4b	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	—	b, d, j, k
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	无限制			
				α = 45°	+10°, -0°	10°, -5°			
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	无要求	a, b, d, j, k
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	无限制			
				α = 45°	+10°, -0°	10°, -5°			
SAW	TC-U4b-S	U	U	R = 0	±0	+1/4, -0 [+6, -0]	F	—	b, d, j, k
				f = 1/8 [3] 最大	+0, -1/8 [+0, -3]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -0°	10°, -5°			

图 7.1F (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

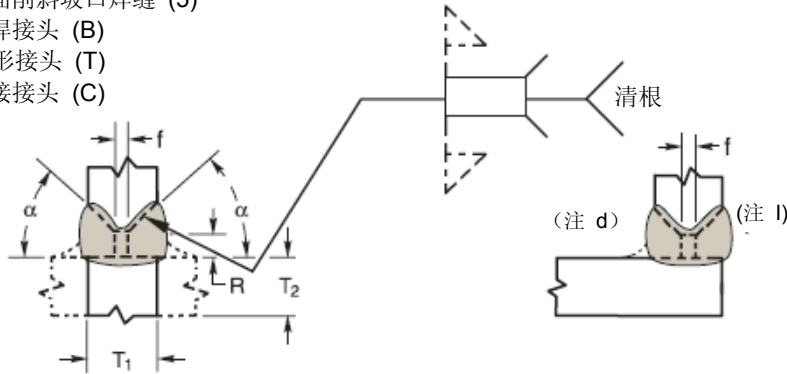
见 36 页注

双面斜坡口焊缝 (5)

对接接头 (B)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



所有尺寸: in. [mm]

公差

零件用图 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
$R = \pm 0$	$+1/4, -0$ [+6, -0]
$f = +1/16, -0$ [+2, -0]	$\pm 1/16$ [±2]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
嵌条 $+1/16, -0$ [+2, -0]	$+1/8, -0$ [+3, -0]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保 护气体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	钝边	坡口角度			
SMAW	B-U5b	U 最好是 5/8 或更厚 嵌条 = 1/8 [3] × R	—	R = 1/4 [6]	f = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$	全部	—	b, e, g
	TC-U5a	U 最好是 5/8 或更厚 嵌条 = 1/8 [3] × R	U	R = 1/4 [6] R = 3/8 [10]	f = 0 到 1/8 [3] f = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$ $\alpha = 30^\circ$	全部 F, O H	—	b, d, e, j, k b, d, e, j, k
GMAW	B-U5b-GF	U 最好是 5/8 或更厚 嵌条 = 1/8 [3] × R	—	R = 1/4 [6]	f = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$	全部	—	b, e, g
	TC-U5a-GF	U 最好是 5/8 或更厚 嵌条 = 1/8 [3] × R	—	R = 1/4 [6] R = 3/8 [10]	f = 0 到 1/8 [3] f = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$ $\alpha = 30^\circ$	全部 F, OH	—	b, e, g, j, k b, e, g, j, k

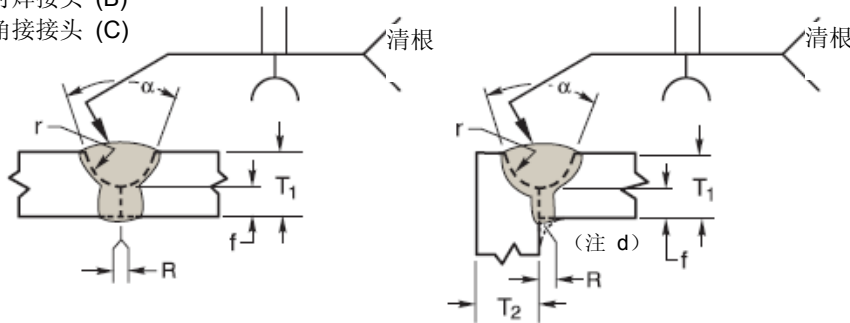
图 7.1G — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面 U 形坡口焊缝 (6)

对接接头 (B)

角接接头 (C)



公差

零件图用 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
$R = +1/16, -0$ [+2, -0]	$+1/16, -1/8$ [+2, -3]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = \pm 1/16$ [±2]	无限制
$r = +1/8, -0$ [+3, -0]	$+1/8, -0$ [+3, -0]

所有尺寸: in. [mm]

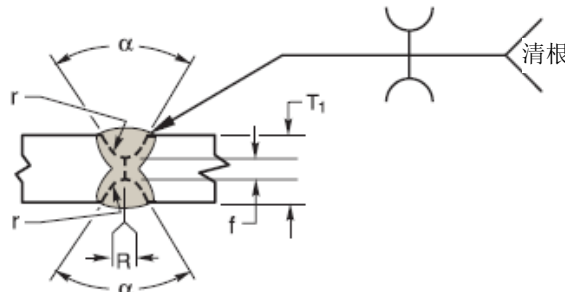
母材厚度
(U = 无限制)

坡口准备

焊接方法	接头标号	T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角 度	钝边	坡口半径	允许的焊 接位置	FCAW 用保 护气体	注
SMAW	B-U6	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 1/4$ [6]	全部	—	b, g
				R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 1/4$ [6]	F, O H	—	b, g
	C-U6	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 1/4$ [6]	全部	—	b, d, j
				R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 1/4$ [6]	F, O H	—	b, d, j
GMAW	B-U6-GF	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 1/4$ [6]	全部	无要求	b, d, j
FCAW	C-U6-GF	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 1/4$ [6]	全部	无要求	a, b, d, j

双面 U 形坡口焊缝 (7)

对接接头 (B)



公差

零件图用 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
对于 B-U7 和 B-U7-GF	
$R = +1/16, -0$ [+2, -0]	$+1/16, -1/8$ [+2, -3]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = \pm 1/16, -0$	无限制
$r = +1/4, -0$ [+6, -0]	$\pm 1/16$ [±2]
对于 B-U7-S	
$R = \pm 0$	$+1/16, -0$ [+2, -0]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = \pm 0, -1/4$	$\pm 1/16$ [±2]
$r = +1/4, -0$ [+6, -0]	$\pm 1/16$

所有尺寸: in. [mm]

母材厚度
(U = 无限制)

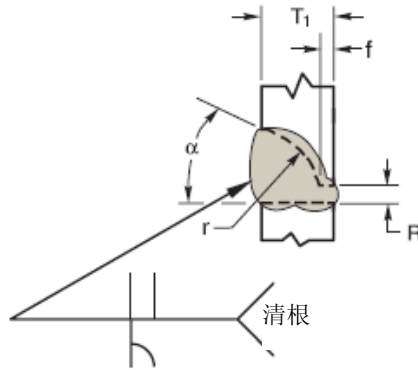
坡口准备

焊接方法	接头标号	T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角 度	钝边	坡口半径	允许的焊 接位置	FCAW 用保 护气体	注
SMAW	B-U7	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 1/4$ [6]	全部	—	b, e, g
				R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 1/4$ [6]	F, O H	—	b, e, g
GMAW	B-U7-GF	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 1/4$ [6]	全部	无要求	a, b, e, g
FCAW	B-U7-GF	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 1/4$ [6]	全部	无要求	a, b, e, g
SAW	B-U7-S	U	—	R = 0	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/4$ [6] 最大	$r = 1/4$ [6]	F	—	b, e, g

图 7.1H — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面 J 形坡口焊缝 (8)
对焊接头 (B)



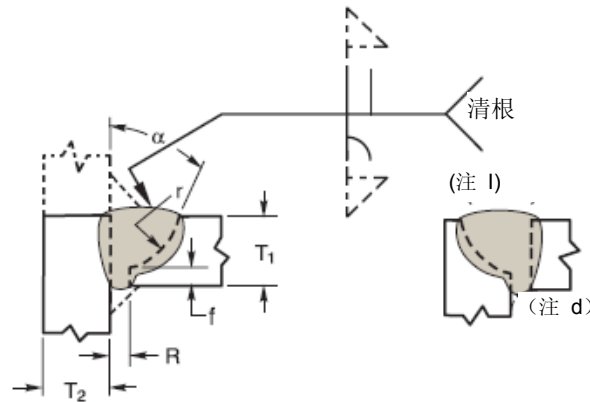
公差

零件用图 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
$R = +1/16, -0$ [+2, -0]	$+1/16, -1/8$ [+2, -3]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = \pm 1/16, -0$ [±2, -0]	无限制
$r = +1/4, -0$ [+6, -0]	$\pm 1/16$ [±2]

所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备				允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	坡口半径			
SMAW	B-U8	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 3/8$ [10]	全部	—	b
GMAW FCAW	B-U8-GF	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 30^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 3/8$ [10]	全部	无要求	a, b

单面 J 形坡口焊缝 (8)
T 形接头 (T)
角接接头 (C)



公差

零件用图 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
$R = +1/16, -0$ [+2, -0]	$+1/16, -1/8$ [+2, -3]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = \pm 1/16, -0$ [±2, -0]	无限制
$r = +1/4, -0$ [+6, -0]	$\pm 1/16$ [±2]

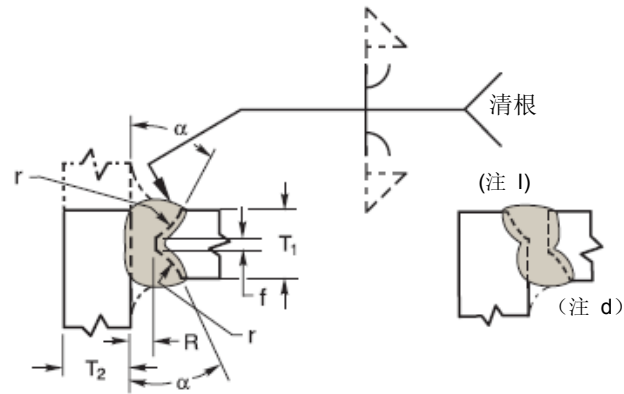
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备				允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	坡口半径			
SMAW	TC-U8a	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 3/8$ [10]	All	—	b, d, j, k
GMAW FCAW	TC-U8a-GF	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 30^\circ$	$f = 1/8$ [3]	$r = 3/8$ [10]	F, O H	无要求	a, b, d, j, k

图 7.11 — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

双面 J 形坡口焊缝 (9)
T 形接头 (T)
角接头 (C)



所有尺寸: in, [mm]

公差

零件用图 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
$R = +1/16, -0$ [+2, -0]	$+1/16, -1/8$ [+2, -3]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = \pm 1/16, -0$ [±2, -0]	无限制
$r = +1/8, -0$ [+3, -0]	$\pm 1/16$ [±2]

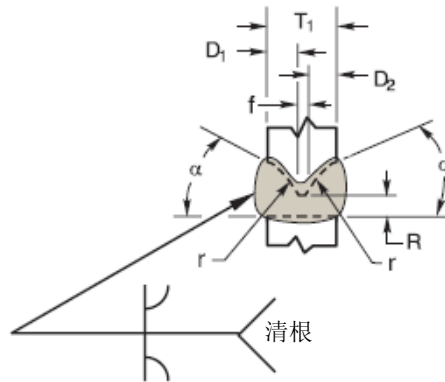
母材厚度
(U = 无限制)

坡口准备

焊接方法	接头标号	T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	坡口半径	允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
SMAW	TC-U9a	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$	f = 1/8 [3]	r = 3/8 [10]	全部	—	b, d, e, j, k
				R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 30^\circ$	f = 1/8 [3]	r = 3/8 [10]	F, O H		
GMAW FCAW	TC-U9a-GF	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 30^\circ$	f = 1/8 [3]	r = 3/8 [10]	全部	无要求	a, b, d, e, j, k

图 7.1J — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

双面 J 形坡口焊缝 (9)
对焊接头 (B)



所有尺寸: in, [mm]

公差

零件用图 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)
$R = +1/16, -0$ [+2, -0]	$+1/16, -1/8$ [+2, -3]
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = +1/16, -0$ [+2, -0]	无限制
$r = +1/8, -0$ [+3, -0]	$\pm 1/16$ [±2]

母材厚度
(U = 无限制)

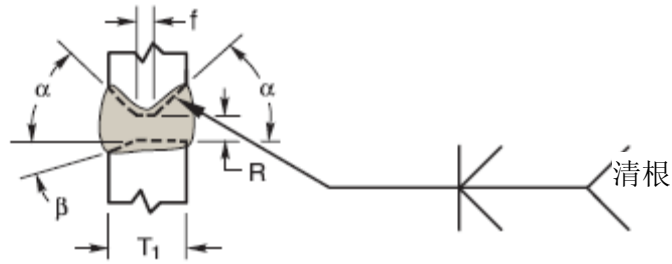
坡口准备

焊接方法	接头标号	T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	坡口半径	允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
SMAW	B-U9	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 45^\circ$	f = 1/8 [3]	r = 3/8 [10]	全部	—	b, e, g
GMAW FCAW	B-U9-GF	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	$\alpha = 30^\circ$	f = 1/8 [3]	r = 3/8 [10]	全部	无要求	a, b, e, g

图 7.1K — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

双面斜坡口焊缝 (5)
对焊接头 (B)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差			
					零件用图 (见 7.5.2)	装配用 (见 6.3)		
SMAW	B-U5a	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 +2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	—
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	无限制		
				$\alpha = 45^\circ$ $\beta = 0^\circ$ 到 15°	$\alpha + \beta +10^\circ$ -0°	$\alpha + \beta +10^\circ$ -5°		
GMAW FCAW	B-U5-GF	U	—	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	无要求
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	无限制		
				$\alpha = 45^\circ$ $\beta = 0^\circ$ 到 15°	$\alpha + \beta =$ +10°, -0°	$\alpha + \beta =$ +10°, -5°		

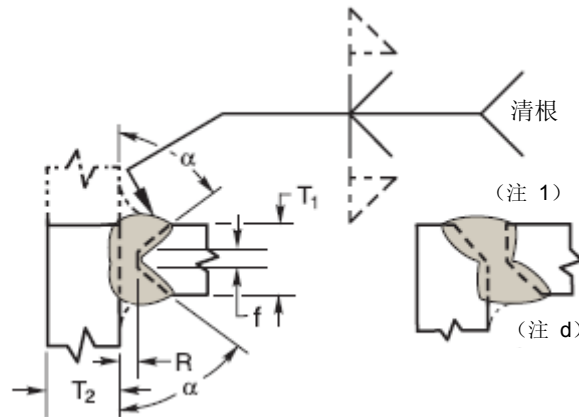
图 7.1L — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

双面斜坡口焊缝 (5)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



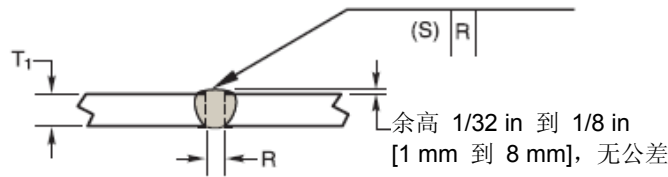
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件用图（见 7.5.2）	装配用（见 6.3）			
SMAW	TC-U5b	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	—	b, d, e, j, k
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	无限制			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	TC-U5-GF	U	U	R = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/16, -1/8 [+2, -3]	全部	无要求	a, b, d, e, j, k
				f = 0 到 1/8 [3]	+1/16, -0 [+2, -0]	无限制			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	TC-U5-S	U	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	—	b, d, e, j, k
				f = 3/16 [5] 最大	+0, -3/16 [+0, -5]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -0°	+10°, -5°			

图 7.1L (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

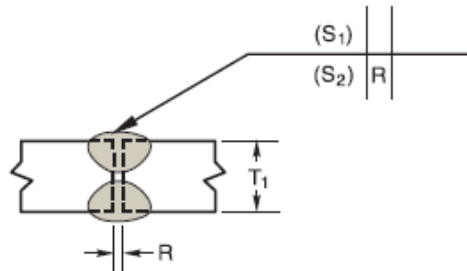
方形坡口焊缝 (1)
对焊接头 (B)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸（S）	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用（见 7.6.2）	装配用（见 6.3）			
SMAW	B-P1a	1/8 [3] 最大	—	R = 0 到 1/16 [2]	+1/16, -0 [+2, -0]	±1/16 [±2]	全部	T ₁ -1/32 [1]	
	B-P1c	1/4 [6] 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$ 最小	+1/16, -0 [+2, -0]	±1/16 [±2]	全部	$\frac{T_1}{2}$	
GMAW FCAW	B-P1A-GF	1/8 [3] 最大	—	R = 0 到 1/16 [2]	+1/16, -0 [+2, -0]	±1/16 [±2]	全部	T ₁ -1/32 [1]	
	B-P1C-GF	1/8 [3] 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$ 最小	+1/16, -0 [+2, -0]	±1/16 [±2]	全部	$\frac{T_1}{2}$	

方形坡口焊缝 (1)
对焊接头 (B)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）		坡口准备		允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注
				公差				
		T ₁	T ₂	根部间隙	零件图用（见 7.6.2）			
SMAW	B-P1b	1/4 [6] 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16, -0 [+2, -0]	±1/16 [±2]	全部	$\frac{3T_1}{4}$
GMAW FCAW	B-P1b-GF	1/4 [6] 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16, -0 [+2, -0]	±1/16 [±2]	全部	$\frac{3T_1}{4}$

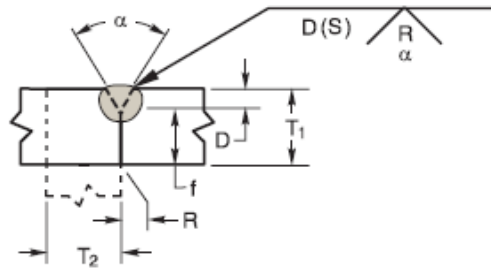
图 7.2A — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面 V 形坡口焊缝 (2)

对接接头 (B)

角接接头 (C)



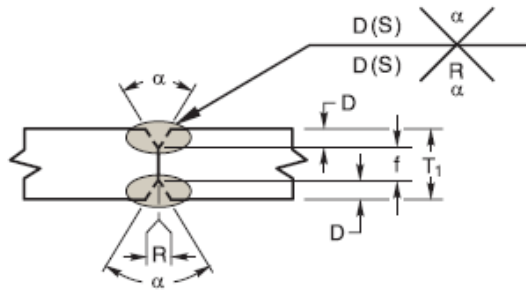
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 7.6.2)	装配用 (见 6.3)			
SMAW	BC-P2	1/4 [6] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D	c, i
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α =60°	+10°, -0°	+10°, -5°			
				R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D-1/8	c, i
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α =45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	BC-P2-GF	1/4 [6] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D	a, i
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α =60°	+ 10°, -0°	+10°, -5°			
				R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D-1/8 [3]	a, c, i
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α =45°	+ 10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	BC-P2-S	7/16 [11] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D	c, i
				f = 1/4 [6] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α =60°	+10°, -5°	+10°, -5°			

图 7.2B — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

双面 V 形坡口焊缝 (3)
对焊接头 (B)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 7.6.2)	装配用 (见 6.3)			
SMAW	B-P3	1/2 [13] 最小	—	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D	c, f, i
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -0°	+10°, -5°			
				R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D—1/8 [3]	c, f, i
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	B-P3-GF	1/2 [13] 最小	—	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D	a, c, f, i
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+ 10°, -0°	+10°, -5°			
				R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D—1/8 [3]	a, c, f, i
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+ 10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	B-P3-S	3/4 [19] 最小	—	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D	c, f, i
				f = 1/4 [6] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -5°	+10°, -5°			

图 7.2C — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

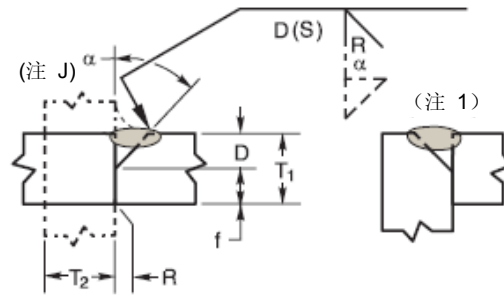
见 36 页注

单面削斜坡口焊缝 (4)

对焊接头 (B)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



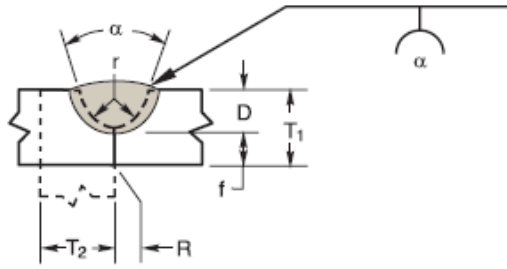
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 7.6.2)	装配用 (见 6.3)			
SMAW	BTC-P4	U	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D	c, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -0°	+10°, -5°			
				R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D-1/8 [3]	c, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	BTC-P4-GF	1/4 [6] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D	a, c, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -0°	+10°, -5°			
				R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F, H V, OH	D D-1/8 [3]	a, c, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	TC-P4-S	7/16 [11] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D	c, i, k
				f = 1/4 [6] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -5°	+10°, -5°			

图 7.2D — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面 U 形坡口焊缝 (6)
对焊接头 (B)
角接接头 (C)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注
				根部间隙 钝边 坡口半径 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 7.6.2)	装配用 (见 6.3)			
SMAW	BC-P6	1/4 [6] 最小	U	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	±1/16 [±2]	全部	D	c
				f = 1/8 [3] 最小	-0	±1/16 [±2]			
				r = 1/4 [6]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	BC-P6-GF	1/4 [6] 最小	U	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	±1/16 [±2]	全部	D	a, c
				f = 1/8 [3] 最小	-0	±1/16 [±2]			
				r = 1/4 [6]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 20°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	BC-P6-S	7/16 [11] 最小	U	R = 0	±0	+3/16, -0	F	D	c
				f = 1/8 [3] 最小	-0	±1/16 [±2]			
				r = 1/4 [6]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 20°	+10°, -0°	+10°, -5°			

图 7.2E — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

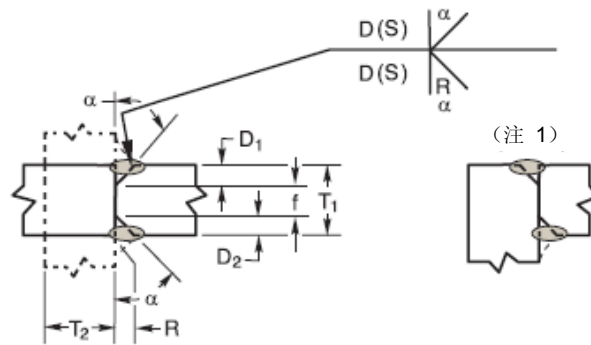
见 36 页注

双面斜坡口焊缝 (5)

对接接头 (B)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 7.6.2)	装配用 (见 6.3)			
SMAW	BTC-P5	5/16 [8] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D	c, f, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -0°	+10°, -5°			
				R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D-1/8 [3]	c, f, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	BTC-P5-GF	1/2 [13] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	全部	D	a, c, f, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -0°	+10°, -5°			
				R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F, H	D	
				f = 1/8 [3] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	TC-P5-S	3/4 [19] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D	c, f, i, k
				f = 1/4 [6] 最小	±1/16 [±2]	±1/16 [±2]			
				α = 60°	+10°, -5°	+10°, -5°			

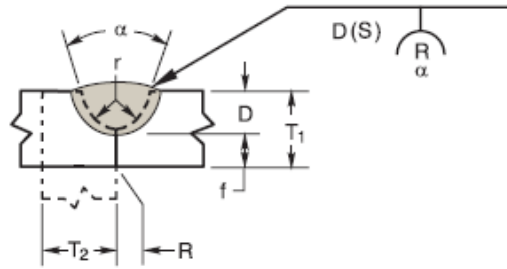
图 7.2F — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面 U 形坡口焊缝 (6)

对焊接头 (B)

角接头 (C)



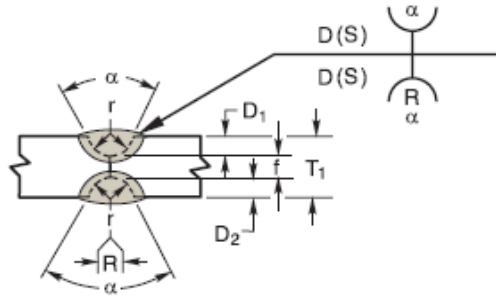
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注
				根部间隙 钝边 坡口半径 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 7.6.2)	装配用 (见 6.3)			
SMAW	BC-P6	1/4 [6] 最小	U	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	D	c, i
				f = 1/8 [3] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/4 [6]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	BC-P6-GF	1/4 [6] 最小	U	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	D	a, c, i
				f = 1/8 [3] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/4 [6]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 20°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	BC-P6-S	7/16 [11] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D	i
				f = 1/8 [3] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/4 [6]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 20°	+10°, -0°	+10°, -5°			

图 7.2G — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

双面 U 形坡口焊缝 (7)
对焊接头 (B)



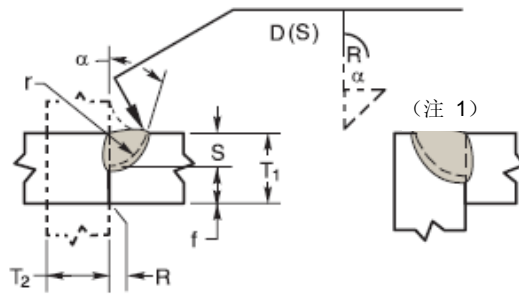
所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注	
				根部间隙 钝边 坡口半径 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 7.6.2)				装配用 (见 6.3)
SMAW	B-P7	1/2 [13] 最小	—	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	D ₁ + D ₂	c, f, i
				f = 1/8 [3] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/4 [6] 最小	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	B-P7-GF	1/2 [13] 最小	—	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	D ₁ + D ₂	a, c, f, i
				f = 1/8 [3] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/4 [6]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 20°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	B-P7-S	3/4 [19] 最小	—	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D ₁ + D ₂	c, f, i
				f = 1/4 [6] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/4 [6]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 20°	+10°, -0°	+10°, -5°			

图 7.2H — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

单面 J 形坡口焊缝 (8)
对焊接头 (B)
T 形接头 (T)
角接头 (C)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注
				根部间隙 钝边 坡口半径 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 7.6.2)	装配用 (见 6.3)			
SMAW	TC-P8*	1/4 [6] 最小	U	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	D	c, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 3/8 [10]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SMAW	BC-P8**	1/4 [6] 最小	U	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	D	c, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 3/8 [10]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 30°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	TC-P8-GF*	1/4 [6] 最小	U	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	D	a, c, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 3/8 [10]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	BC-P8-GF**	1/4 [6] 最小	U	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	D	a, c, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 3/8 [10]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 30°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	TC-P8-S*	7/16 [11] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D	c, i, k
				f = 1/4 [6] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/2 [13]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	C-P8-S**	7/16 [11] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D	c, i, k
				f = 1/4 [6] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/2 [13]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 20°	+10°, -0°	+10°, -5°			

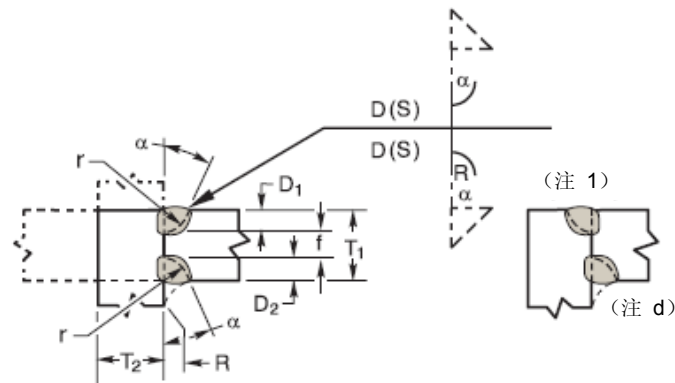
**应用于内侧角接头。

**应用于外侧角接头。

图 7.2I — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

双面 J 形坡口焊缝 (9)
对焊接头 (B)
T 形接头 (T)
角接头 (C)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注
				根部间隙 钝边 坡口半径 坡口角度	Tolerances				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 7.6.2)	装配用 (见 6.3)			
SMAW	BTC-P9*	1/2 [13] 最小	U	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	D ₁ + D ₂	c, f, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	-0	±1/16 [±2]			
				r = 3/8 [10]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
GMAW FCAW	BTC-P9-GF**	1/2 [13] 最小	U	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	D ₁ + D ₂	a, f, i, k
				f = 1/8 [3] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 3/8 [10]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 30°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	C-P9-S*	3/4 [19] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D ₁ + D ₂	c, f, i, k
				f = 1/4 [6] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/2 [13]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	C-P9-S**	3/4 [19] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D ₁ + D ₂	c, f, i, k
				f = 1/4 [6] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/2 [13]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 20°	+10°, -0°	+10°, -5°			
SAW	T-P9-S	3/4 [19] 最小	U	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	D ₁ + D ₂	c, f, i
				f = 1/4 [6] 最小	无限制	±1/16 [±2]			
				r = 1/2 [13]	+1/4, -0 [+6, -0]	±1/16 [±2]			
				α = 45°	+10°, -0°	+10°, -5°			

**应用于内侧角接头。

**应用于外侧角接头。

图 7.2J — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

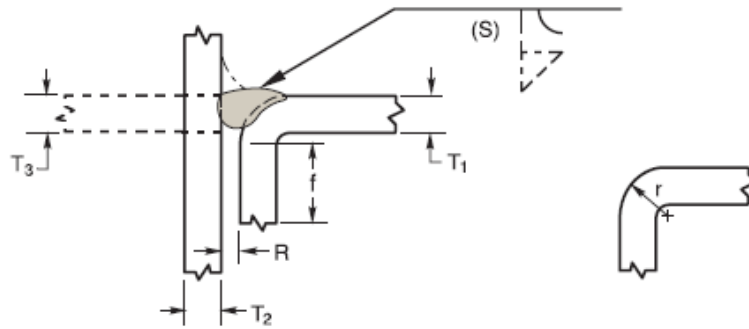
见 36 页注

喇叭斜面坡口焊缝 (10)

对接接头 (B)

T 形接头 (T)

角接接头 (C)



所有尺寸: in. [mm]

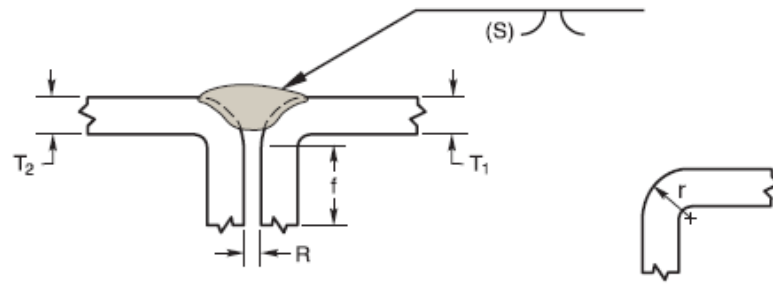
焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）			根部间隙 钝边 弯曲半径	坡口准备		允许的焊 接位置	焊缝尺寸 (S)	注
		T ₁	T ₂	T ₃		公差				
						零件图用 （见 3.12.3）	装配用 （见 3.12.3）			
SMAW FCAW-S	BTC-P10	3/16 [5] 最小	U	T ₁ 最小	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	5/16 r	f, i, k
					f = 3/16 [5] 最小	+U, -0	+U, -1/16 [-2]			
					$r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	+U, -0	+U, -0			
GMAW FCAW-G	BTC-P10-GF	3/16 [5] 最小	U	T ₁ 最小	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	5/8 r	a, f, i, k, l
					f = 3/16 [5] 最小	+U, -0	+U, -1/16 [-2]			
					$r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	+U, -0	+U, -0			
SAW	B-P10-S	1/2 [13] 最小	N/A	1/2 最小	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	5/16 r	f, i, k, l
					f = 1/2 [13] 最小	+U, -0	+U, -1/16 [-2]			
					$r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	+U, -0	+U, -0			

来源: AWS D1.1/D1.1M:2006, 钢结构焊接规范, 图 3.3, 美国焊接协会。

图 7.2K — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

见 36 页注

喇叭 V 形坡口焊缝 (11)
对焊接头 (B)



所有尺寸: in. [mm]

焊接方法	接头标号	母材厚度（U = 无限制）		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (S)	注
				根部间隙 钝边 弯曲半径	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW FCAW-S	B-P11	3/16 [5] 最小	T ₁ 最小	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	5/8 r	i, k, l, m
				f = 3/16 [5] 最小	+U, -0	+U, -1/16 [-2]			
				$r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	+U, -0	+U, -0			
GMAW FCAW-G	B-P11-GF	3/16 [5] 最小	T ₁ 最小	R = 0	+1/16, -0 [+2, -0]	+1/8, -1/16 [+3, -2]	全部	3/4 r	a, i, k, l, m
				f = 3/16 [5] 最小	+U, -0	+U, -1/16 [-2]			
				$r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	+U, -0	+U, -0			
SAW	B-P11-S	1/2 [13] 最小	T ₁ 最小	R = 0	±0	+1/16, -0 [+2, -0]	F	1/2 r	i, k, l, m
				f = 1/2 [13] 最小	+U, -0	+U, -1/16 [-2]			
				$r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	+U, -0	+U, -0			

图 7.2K (续) — 免除评定的部分接头熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节

8. 免除评定的焊接工艺规程技术

8.1 母材、填充金属及相关金属要求

8.1.1 列出的母材和填充金属。只有表 8.1 中列出的母材和填充金属才可以在免除评定焊接工艺规程中使用。

8.1.2 未列出的母材和填充金属。其他材料应按照第 10 节的要求通过试验进行评定。

8.1.3 填充金属强度匹配。若对填充金属强度匹配作要求，应采用表 8.1 的具体匹配类别中列出的填充金属之一进行焊接。

8.1.4 铬—钼填充金属。铬—钼填充金属不得用于免除评定的焊接工艺规程。此类填充金属的类别以“-Bxx”结尾（如，E8018-B2；ER90S-B3）。

8.1.5 G-系列填充金属。在免除评定的焊接工艺规程中，不得使用 AWS A5 填充金属规范中定义的相应“G-系列”填充金属。

8.1.6 其他材料要求。引出板、填充金属、嵌条片和熔合金属衬垫应为 AWS B2.1/B2.1M 焊接工艺和性能评定规范或附件 A 中列出的其“M”编号与母材相同的材料，或者为特别许可的材料。

8.2 预热、道间、及焊后热处理 (PWHT) 的要求

8.2.1 预热区域。若母材温度低于表 8.2 的焊接方法和焊接材料厚度中列出的温度，除非另有规定或根据第 10 节的要求进行评定，应对母材进行预热。预热时，熔敷焊缝金属的部件的温度，应高于规定的与待焊接部件厚度相等距离的最低温度，但这一距离自焊接点从各个方向上不小于 3 英寸 [76 mm]。

8.2.2 预热和道间温度。预热和道间温度必须足以防止裂纹形成，而且对高度约束的焊缝来说，温度要求高于规定的最低温度。对于有母材组合的焊缝，预热温度应为待焊接钢材规定的最高温度。

8.2.3 热应力消除。若焊件需要消除热应力，焊接工艺规程则不能免除评定。

8.3 焊条电弧焊 (SMAW)。

8.3.1 焊条电弧焊用焊条。焊条应符合最新版的 AWS A5.1/A5.1M，焊条电弧焊用碳钢焊条规范的要求，或符合 AWS A5.5/A5.5M，焊条电弧焊用低合金钢焊条规范的要求。

8.3.2 焊条电弧焊工艺。

8.3.2.1 位置。如果可能，则应当在平焊位置进行焊接。

8.3.2.2 焊接参数。焊条类别和规格、电弧长度、电压以及电流必须适合于所焊材料的厚度、坡口类型、焊接位置和伴随作业所出现的其他情况。焊接电流值必须在焊条制造商推荐的范围之内。

8.3.2.3 焊条最大直径。焊条最大直径应如下：

- (1) 5/16 英寸 [8 mm]，在平焊位置的所有焊缝，根部焊道除外
- (2) 1/4 英寸 [6 mm]，横焊角焊缝
- (3) 1/4 英寸 [6 mm]，平焊位置的角焊缝根部焊道和有衬垫和焊缝根部间隙不小于 1/4 英寸 [6 mm] 的平焊位置的坡口焊缝

(4) 5/32 英寸 [4 mm], AWS A5.1/A5.1M 的 EXX14 类及立焊和仰焊位置的低氢焊条的焊缝

(5) 3/16 英寸 [5 mm], 对坡口焊缝的根部焊道, 及 (1) 至 (4) 以外的所有焊缝

8.3.2.4 根部焊道最小焊缝尺寸。根部焊道的最小焊缝尺寸应足以防止裂纹形成。

8.3.2.5 根部焊道最大焊缝尺寸。坡口焊缝根部焊道的最大焊缝厚度应为 1/4 英寸 [6 mm]。

8.3.2.6 角焊缝的最大焊缝尺寸。单道角焊缝和多焊道角焊缝的根部焊道的最大焊缝尺寸应为:

(1) 3/8 英寸 [10 mm], 平焊位置

(2) 5/16 英寸 [8 mm], 横焊或仰焊位置

(3) 1/2 英寸 [13 mm], 立焊位置

8.3.2.7 中间焊层的最大焊缝尺寸。坡口焊缝和角焊缝根部焊道之后的焊层最大厚度为:

(1) 1/8 英寸 [3 mm], 平焊位置的焊缝焊层

(2) 3/16 英寸 [5 mm], 立焊、仰焊或横焊位置的焊缝焊层

8.3.2.8 立焊方向。立焊位置焊接的所有焊道的方向都应向上, 但当按照表 8.2 的要求进行预热、且温度不低于 70°F [21°C] 时, 咬边可垂直向下修理。然而, 在焊接管状材料时, 立焊焊接的方向可以向上也可以向下 (有关立焊方向对焊工的评定要求见 11.2.7)。

8.3.2.9 无衬垫的接头完全熔透坡口焊缝。对于没有钢衬垫的接头完全熔透坡口焊缝, 在自另一侧开始焊接之前应将其焊道根部凿成完好金属。

8.4 埋弧焊 (SAW)

8.4.1 一般要求

8.4.1.1 埋弧焊焊条间隔。埋弧焊操作可为一根或多根单焊条、一对平行焊条或多根平行焊条、或单焊条与平行焊条组合的方式。电弧之间的间隔必须如此: 前导电弧产生的覆盖于焊缝金属上的焊渣, 不得冷却到妨碍后续焊条良好熔敷的地步。多焊条埋弧焊可用于焊接任何坡口焊缝或角焊缝。

8.4.1.2 焊条直径。焊条直径不能超过 1/4 英寸 [6 mm]。

8.4.1.3 接头熔透试验要求。若待焊接的接头要求特定的根部熔透, 且没有清根, 公司应准备一个焊接接头试样和宏观腐蚀断面, 以证明拟用的焊接工艺规程将能够满足根部熔透的要求。制造商工程师还可以接受以往评定的记录文件。

8.4.1.4 衬垫。有坡口焊缝或角焊缝的根部可用铜、焊剂、玻璃纤维带、陶瓷、铁粉或类似材料作衬垫以防过度熔透。若采用焊条电弧焊或其他电弧焊接方法, 也可以使用低氢焊条对根部焊道进行密封。

8.4.1.5 最大深度和宽度。各焊道熔敷的焊缝金属的断面的深度或最大宽度都不得超过焊道的表面的宽度 (见图 8.1)。只有当一个焊接工艺规程已经证明, 这样的焊接不会生成裂纹, 且相同的焊接工艺和焊剂—焊条分类已在结构中使用, 并得到制造商工程师的许可, 才可以放弃本要求。

8.4.1.6 定位焊的要求。定位焊 (在 3/8 英寸 [10 mm] 或更小的角焊缝中, 或在需要特定根部熔透的接头根部) 不能对焊缝表面的外观造成不可接受的改变, 或导致熔透不足。不满足前述要求的定位焊应予以清除, 或在焊接前采用适当方式缩小定位焊缝的尺寸。钢衬垫厚

度小于 5/16 英寸 [8 mm] 的焊缝根部的定位焊缝应予以清除，或以连续焊缝代替。

8.4.2 埋弧焊用焊条和焊剂。钢件埋弧焊用的裸焊条和焊剂组合应满足最新版的 AWS A5.17/A5.17M 埋弧焊用碳钢焊条和焊剂规范的要求，或者满足 AWS A5.23/A5.23M 埋弧焊用低合金钢焊条和焊剂规范的要求。

8.4.2.1 活性焊剂和合金焊剂。使用活性焊剂和合金焊剂时，免除评定工艺应具有以下限制：

(1) 使用活性焊剂或合金焊剂时，多焊道焊缝的母材最大厚度应为 1 英寸 [25 mm] 或焊剂制造商建议值，两者取小值。

(2) 使用活性焊剂或合金焊剂时，工艺的弧电压不得超过制造商建议的最大值。

8.4.3 使用单焊条进行埋弧焊的工艺

8.4.3.1 单焊条。单焊条是指一根焊条单独与一个由一台或多台供电设备组成的电源相连接。

8.4.3.2 焊接位置。除角焊缝外，所有的埋弧焊都应在平焊位置进行。角焊缝可在平焊或横焊位置进行。横焊位置的单焊道角焊缝不得超过 5/16 英寸 [8 mm]。

8.4.3.3 焊层最大厚度。除根部焊层和表层外，焊层厚度不应超过 1/4 英寸 [6 mm]。若焊缝根部间隙不小于 1/2 英寸 [13 mm]，应采用多焊道，分层焊接技术。若多焊道坡口焊缝的焊层宽度不小于 5/8 英寸 [16 mm]，下一层应采用分层焊接技术。

8.4.3.4 最大焊接电流。焊接电流，电弧电压和焊接速度应使得各焊道与周围母材和焊缝金属完全熔合，且没有焊瘤或不适当的咬边。坡口焊缝中，任意焊道与坡口两侧熔合，则使用的最大焊接电流应为 600A，但最后一层可采用更大的电流。平焊位置的角焊缝使用的最大电流应为 1000A。

8.4.4 使用并联焊条进行埋弧焊的工艺

8.4.4.1 并联焊条。并联焊条是指并联电路中两根焊条与同一电源连接。这两根焊条通常用一个焊条进给器送给。规定的焊接电流为两根焊条的电流总和。

8.4.4.2 焊接位置。除角焊缝外，采用并联焊条的埋弧焊应在平焊位置进行。角焊缝可以在平焊或横焊位置进行，但横焊位置的单焊道并联焊条角焊缝不得超过 5/16 英寸 [8 mm]。

8.4.4.3 分层焊接技术。焊层厚度没有限制。在进行坡口焊缝的根部焊道焊接时，可采用单焊条或并联焊条。钢衬垫或钝边的厚度应足以防止熔透过度。若熔敷焊缝金属层的坡口表面宽度超过 1/2 英寸 [13 mm]，应横向安放并联焊条或采用分层焊接技术，以确保角充分熔合。若先前熔敷的焊层宽度超过 5/8 英寸 [16 mm]，接下来的一层则应采用焊条前后排列的分层焊接技术。

8.4.4.4 焊接参数。焊接电流、电弧电压、焊接速度和焊条的相对位置应使得各焊道与周围母材完全熔合，焊趾处无缩陷或不适当的咬边。为防止接头根部在约束下生成裂纹，应避免初始焊道凹度过大。

8.4.4.5 坡口焊缝的最大焊接电流。坡口焊缝的最大焊接电流应为：

(1) 在没有焊道根部间隙的坡口处作根部焊道时，若焊道没有填充坡口，并联焊条为 700A

(2) 在有钢衬垫或嵌条片的坡口处作根部焊道时，并联焊条为 900A

(3) 除最后焊层外的所有焊道，并联焊条为 1200A

(4) 最后焊层的焊接电流无限制。

8.4.4.6 角焊缝的最大焊接电流。采用并联焊条的角焊缝的最大焊接电流为 1200A。

8.4.4.7 根部焊道。坡口焊缝或角焊缝根部的焊接也可采用气体保护电弧焊 (GMAW)，然后采用平行埋弧焊，只要气体保护电弧焊能够满足要求，并且这种焊接能够使气体保护电弧和随后的埋弧焊之间的距离不超过 15 英寸 [380 mm]。

8.4.5 使用多焊条进行埋弧焊的工艺

8.4.5.1 多焊条。多焊条是指两个或多个单焊条或并联焊条系统的组合。每个组成系统都可以有独立的电源和焊条进给器。

8.4.5.2 焊接位置。除角焊缝外，采用多焊条的埋弧焊应在平焊位置进行。角焊缝可以在平焊或横焊位置进行，但横焊位置的单焊道多焊条角焊缝不得超过 1/2 英寸 [13 mm]。

8.4.5.3 焊层限制。焊层厚度没有限制。在进行坡口焊缝的根部焊道焊接时，可采用单焊条或多焊条。衬垫或钝边的厚度应足以防止熔透过度。若熔敷焊缝金属层的坡口表面宽度超过 1/2 英寸 [13 mm]，应采用分层焊接技术，以确保角充分熔合。若先前熔敷的焊层宽度超过 1 英寸 [25 mm]，且只使用两根焊条，下一层则应采用焊条前后排列的分层焊接技术。

8.4.5.4 焊接参数。焊接电流、电弧电压、焊接速度和焊条的相对位置应使得各焊道与周围母材和焊缝金属完全熔合，焊趾处无缩陷或不适当的咬边。为防止接头根部在约束下生成裂纹，应避免初始焊道凹度过大。

8.4.5.5 坡口焊缝的最大焊接电流。坡口焊缝的最大焊接电流应为：

(1) 在没有焊道根部间隙的坡口处作根部焊道时，若焊道没有填充坡口，任意单焊条或并联焊为 700A

(2) 在有钢衬垫或嵌条片的坡口处作根部焊道时，任意单焊条为 750A，并联焊条为 900A

(3) 除最后焊层外的所有焊道，任意单焊条为 1000A，并联焊条为 1200A

(4) 最后焊层的焊接电流无限制。

8.4.5.6 角焊缝的最大焊接电流。角焊缝采用的最大焊接电流，任意单焊条为 1000A，并联焊条为 1200A。

8.4.5.7 根部焊道。坡口焊缝或角焊缝根部的多焊条焊接也可采用气体保护电弧焊，然后采用多丝埋弧焊，只要气体保护电弧焊能够满足要求，并且这种焊接能够使气体保护电弧焊和紧随其后的多丝埋弧焊之间的距离不超过 15 英寸 [380 mm]。

8.5 气体保护电弧焊和药芯焊丝电弧焊 (GMAW 和 FCAW)

8.5.1 焊条。气体保护电弧焊和药芯焊丝电弧焊用的焊条和保护气体应满足最新版的 AWS A5.18/A5.18M 气体保护电弧焊碳钢填充金属规范中的相关要求，AWS A5.20/A5.20M 药芯焊丝电弧焊碳钢焊条规范中的相关要求，AWS A5.28/A5.28M 气体保护电弧焊低合金钢填充金属规范中的相关要求，或者满足 A5.29/A5.29M 药芯焊丝电弧焊低合金钢焊条规范中的相关要求。

8.5.2 如果满足以下免除评定焊接工艺的要求，可免除评定试验：

(1) 焊条应保持干燥并处于适合使用的状态。

(2) 平焊和横焊位置用的焊条的最大直径应为 5/32 英寸 [4 mm]，立焊位置用的焊条的最大直径应为 3/32 英寸 [2 mm]，仰焊位置用的焊条的最大直径应为 5/64 英寸 [2 mm]。

(3) 对一个焊道的角焊缝，平焊和立焊位置用的焊条的最大直径应为 1/2 英寸 [13 mm]，横焊位置用的焊条的最大直径应为 3/8 英寸 [10 mm]，仰焊位置用的焊条的最大直径

应为 5/16 英寸 [8 mm]。

8.5.2.1 焊层厚度—气体保护电弧焊。除根部焊层和表层外，焊层厚度不应超过 1/4 英寸 [6 mm]。若焊缝根部间隙不小于 1/2 英寸 [13 mm]，下一层应采用多焊道，分层焊接技术。若平焊，横焊或仰焊位置的坡口焊缝的焊层宽度不小于 5/8 英寸 [16 mm]，下一层应采用分层焊接技术。

8.5.2.2 焊层厚度 — 药芯焊丝电弧焊。除根部焊层和表层外，焊层厚度不应超过 1/4 英寸 [6 mm]。若焊道根部间隙不小于 1/2 英寸 [13 mm]，应采用分层焊接技术。若平焊，横焊或仰焊位置的坡口焊缝的焊层宽度不小于 5/8 英寸 [16 mm]，下一层应采用分层焊接技术。若立焊位置焊层宽度超过 1 英寸 [25 mm]，应采用分层焊接技术。若在 5G 或 6G 位置焊接圆管接头，焊层宽度超过 1 英寸 [25 mm]，应采用分层焊接技术。

8.5.2.3 焊接参数。焊接电流、电弧电压、气流、金属过渡方法和焊接速度应使得各焊道与周围母材和填充金属完全熔合。不得有焊瘤，过多的气孔或咬边。

8.5.2.4 立焊焊缝的方向。立焊位置焊接的所有焊道的方向都应为向上，但当按照表 8.2 的要求进行预热、且温度不低于 70°F [21°C] 时，咬边可垂直向下修理。在焊接管状材料时，立焊焊接的方向可以向上也可以向下（有关立焊方向对焊工的评定要求见 11.2.7）。

8.5.2.5 无衬垫的接头完全熔透坡口焊缝。对于没有钢衬垫的接头完全熔透坡口焊缝，在自另一侧开始焊接之前应将初始焊缝根部凿成完好的金属。

8.5.2.6 最大风速。采用外部气体保护时，气体保护电弧焊或药芯焊丝电弧焊不应在气流或风中进行，除非有护罩保护。这种防风屏蔽物必须适合于降低风速的材料和形状制造，使焊接处附近最大风速降低为每小时 5 英里 [8 km/h]。

8.5.2.7 未熔合衬垫。为防止熔穿，坡口焊缝或角焊缝的根部可以用铜、焊剂、玻璃带、铁粉或类似材料作为衬垫，或用低氢焊条气体保护电弧焊或其他电弧焊接方法将根部焊道熔敷和密封。

8.6 塞焊缝和槽焊缝

8.6.1 塞焊缝。若采用焊条电弧焊，气体保护电弧焊（短路过渡除外）和药芯焊丝电弧焊等焊接方法，塞焊缝使用的技术应遵循以下要求：

8.6.1.1 平焊位置。对于平焊位置的焊缝，各焊道应在接头根部熔敷，然后沿一螺旋路径熔敷至孔的中心，在接头根部和第部熔化和熔敷一层焊缝金属。然后，将电弧提至孔的内壁周边并重复上述过程，熔化与熔敷后续各层，以充填该孔直到所需深度。覆盖于焊缝的熔渣应保持熔融状态直至焊缝完成。如发生断弧或焊渣冷却，则必须将焊渣完全清除后再焊。

8.6.1.2 立焊位置。对于立焊位置的焊缝，电弧从孔的较低侧的接头根部开始，向上进行，熔化到内板表面和孔的边上。电弧在孔的顶部停止，清除熔渣。然后在孔的另一侧上重复这一工艺。熔渣清除完后，应采用相同的方法将其他焊层熔敷，直至将孔填充至要求的深度。

8.6.1.3 仰焊位置。对于仰焊位置的塞焊，其过程与平焊位置相同，但在熔敷每一连续焊道后应让焊渣冷却并应完全清除，直至充填该孔达所需深度。

8.6.2 槽焊缝。必须使用类似于 8.6.1.1 规定的塞焊技术进行槽焊，例外情况是：如果槽孔长度超过其宽度的 3 倍，或者槽孔扩展到部件边缘，则适用 8.6.1.3 的技术。

8.7 焊接磨耗板和耐磨衬里。

满足 8.7.1 至 8.7.4 的磨耗板和耐磨衬里焊接工艺规程无需进行评定。依据第 10 节，与结构件具有相同功能的焊接磨耗板应进行工艺评定。

8.7.1 侧架立柱导向磨耗板。侧架立柱导向磨耗板（典型由 AISI 1095 钢制成）的焊接应依据最新版本的 AAR S-320 侧架立柱磨耗板应用规范和侧架制造商要求。在除机械紧固件外焊缝进行焊缝用于稳定磨损板处不得使用 17.2.1 的验收标准。

8.7.2 摇枕腔耐磨衬里。摇枕腔耐磨衬里的焊接应依据最新版本的 AAR RP-301、AAR S-305、AAR S-308（如适用）和制造商要求进行。

8.7.3 车钩磨耗板。车钩磨耗板的焊接应符合最新版本的 AAR S-137 和制造商要求。允许使用锰和不锈钢磨损板，使用 E309-XX/E309L-XX 或等效 FCAW 或 GMAW（除短路过渡）焊条进行焊接。允许使用安装在软钢板上的非金属磨损板，使用 E7015、E7016、E7018 或等效 FCAW 或 GMAW（除短路过渡）焊条进行焊接。

8.7.4 车钩托梁磨耗板。应根据最新版本的 AAR S-269 车钩托梁磨耗板进行焊接以保护制造的锰车钩托梁磨耗板。可使用 E309-XX/E309L-XX 焊条或等效 FCAW 或 GMAW（除短路过渡）焊条，或最新版本的 AAR 现场手册规则 16 中的 AWS EFeMn 焊条进行焊接。

8.7.5 摇枕槽磨耗板。摇枕槽磨耗板的焊接应依据摇枕制造商要求进行。

8.7.6 基座顶部衬里。基座顶部衬里应根据 AAR S-327 侧架顶部维修和侧架制造商要求进行焊接。

表 8.1
免除评定的母材 — 强度匹配的填充金属组合

钢技术要求						填充金属要求			
钢规格 ^{a,b,c}		最小屈服点/强度		拉伸强度范围		方法	AWS 焊条规范	焊条类别 ^{f,h}	
		ksi	MPa	ksi	MPa				
组别 I									
ASTM A27	U 级	30	207	60 最小	414 最小	SMAW	A5.1/A5.1M	E60XX, E70XX	
ASTM A36 ^d		36	248	58/80	400/552			A5.5/A5.5M	E70XX-XX
ASTM A53	S 或 E 型, B 级	35	241	60 最小	414 最小	SAW	A5.17/A5.17M	F6AX-EXXX F7AX-EXXX	
	S 或 E 型, A 级	30	207	48 最小	331 最小				
	F 型	25	172	45 最小	310 最小			A5.23/A5.23M	F7AX-EXX-XX
ASTM A106	B 级	35	241	60 最小	414 最小	GMAW	A5.18/A5.18M	ER70S-X E70C-6X E70C-3X	
ASTMA131	A, B, CS, D, DS, E 级	32	221	58/71	400/490				
ASTM A139	B 级	35	241	60 最小	414 最小	FCAW	A5.20/A5.20M	E6XT-X E7XT-X (除 -2, -3, -10, -GS)	
ASTMA216	WCA 级	30	207	60 最小	414 最小				
ASTM A283	A, B, C, D 级	25/32	172/221	45/60	310/414				
ASTMA381	Y35 级	35	241	60 最小	414 最小				
ASTM A500	A 级	33/39	228/269	45 最小	310 最小			A5.29/A5.29M	E7XTX-XX
	B 级	42/46	290/317	58 最小	400 最小				
ASTM A501		36	248	58 最小	400 最小				
ASTMA515	55 级	30	207	55/75	379/517				
	60 级	32	221	60/80	414/552				
ASTM A516	55 级	30	207	55/65	379/448				
	60 级	32	221	60/72	414/496				
ASTM A524	1 级	35	241	60/85	414/586				
	11 级	30	207	55/60	379/414				
ASTM A529		42	290	60/85	414/586				
ASTM A569		(注 g)		(注 g)					
ASTM A570	30 级	30	207	49 最小	340 最小				
	33 级	33	228	52 最小	359 最小				
	36 级	36	248	53 最小	365 最小				
	40 级	40	276	55 最小	379 最小				
	45 级	45	310	60 最小	414 最小				
	50 级	50	345	65 最小	448 最小				
	65 级	35	241	65/77	448/531				
ASTM A573	65 级	35	241	65/77	448/531				
ASTM A656	50 级	50	345	60 最小	414 最小				
ASTM A709	36(4) 级	36	348	58/60	400/414				

(续)

表 8.1 (续)
免除评定的母材 — 强度匹配的填充金属组合

钢技术要求					填充金属要求		
钢规格 ^{a,b,c}	最小屈服点/强度		拉伸强度范围		方法	AWS 焊条规范	焊条类别 ^{f,h}
	ksi	MPa	ksi	MPa			
组别 I (续)							
ASTM A808		42	290	60 min.	414 min.		
ASTM A1008	CS A、B、C 型	(注 g)		(注 g)			
	DS A、B 型	(注 g)		(注 g)			
	SS 25 级	25	172	42	290		
	SS 30 级	30	207	49	340		
	SS 33 级 1、2 型	33	228	48	330		
	SS 40 级 1、2 型	40	276	52	360		
	HSLAS 45 级, 等级 1	45	310	60	414		
	HSLAS 45 级, 等级 2	45	310	55	380		
	HSLAS 50 级, 等级 2	50	345	60	414		
	HSLAS-F 50 级	50	345	60	414		
ASTMA1011	CS A、B 和 C 型	(注 g)		(注 g)			
	DS A、B 型	(注 g)		(注 g)			
	SS 30 级	30	207	49	340		
	SS 33 级	33	228	52	360		
	SS 36 级, 1 型	36	248	53	365		
	SS 36 级, 2 型	36	248	58-80	400-550		
	SS 40 级	40	276	55	380		
	SS 45 级	45	310	60	414		
	HSLAS 45 级, 等级 1	45	310	60	414		
	HSLAS 45 级, 等级 2	45	310	55	380		
	HSLAS 50 级, 等级 2	50	345	60	414		
	HSLAS-F 50 级	50	345	60	414		
	ASTMA1018	CS (所除 1524 有等级)	(注 g)		(注 g)		
DS		(注 g)		(注 g)			
SS 30 级		30	207	49	340		
SS 33 级		33	228	52	360		
SS 36 级, 1 型		36	250	53	365		
SS 36 级, 2 型		36	250	58-80	400-550		
SS 40 级		40	275	55	380		
HSLAS 45 级, 等级 1		45	310	60	414		

(续)

表 8.1 (续)
免除评定的母材 — 强度匹配的填充金属组合

钢技术要求						填充金属要求		
钢规格 ^{a,b,c}		最小屈服点/强度		拉伸强度范围		方法	AWS 焊条规范	焊条类别 ^{f,h}
		ksi	MPa	ksi	MPa			
组别 I (续)								
API5L	HSLAS 45 级, 等级 2	45	310	55	380			
	HSLAS 50 级, 等级 2	50	345	60	414			
	HSLAS-F 50 级	50	345	60	414			
	B 级	35	241	60 最小	414 最小			
	X42 级	42	290	60 最小	414 最小			
AAR M201	A 级	30	207	60 最小	414 最小			
热轧、退火或标准焊接钢等级最大限值为 C 0.28、Mn 1.00、P 0.04、S 0.05		(注 g)		(注 g)				
ABS	A, B, CS, D, DS 和 E 级	—		58/71	400/490			
组别 II								
ASTM A27	65-35 级	35	241	65 最小	448 最小	SMAW	A5.1/A5.1M	E7015
	70-36 级	36	248	70 最小	483 最小		E7016	
	70-40 级	40	276	70 最小	483 最小		E7018	
ASTMA131	AH32、DH32、EH32 级	45.5	314	68/85	469/586			E7028
	AH36、DH36、EH36 级	51	352	71/90	490/621		A5.5/A5.5M	E7015-XX
	EH36						E7016-XX	
ASTMA216	WCB 级	36	248	70 最小	483 最小			E7018-XX
	WCC 级	40	276	70 最小	483 最小		SAW	A5.17/A5.17M
ASTM A242 ^e	2 型	42/50	290/345	63/70	434/483		A5.23/A5.23M	F7AX-EXX-XX
ASTM A441		42/50	290/345	63/70	434/483	GMAW	A5.18/A5.18M	ER70S-X
ASTM A500	C 级	46	317	62 最小	427 最小		E70C-3X	
ASTMA515	65 级	35	241	64/85	441/586		E70C-6X	
	70 级	38	262	70/90	482/621	FCAW	A5.20/A5.20M	E7XT-X
ASTM A516	65 级	35	241	65/77	448/531		(除 -2, -3, -10, -GS)	
	70 级	38	262	70/85	483/586		A5.29/A5.29M	E7XTX-XX
ASTM A537	等级 1	50	345	70/90	483/621			
ASTM A572	42 级	42	290	60 最小	414 最小			
	50 级	50	345	65 最小	448 最小			
ASTM A588 ^e	(4 in [102 mm] 及以下)	50	345	70 最小	483 最小			
ASTM A595	A 级	55	379	65 最小	448 最小			

(续)

表 8.1 (续)
免除评定的母材 — 强度匹配的填充金属组合

钢规格 ^{a,b,c}		钢技术要求		拉伸强度范围		填充金属要求		
		ksi	MPa	ksi	MPa	方法	AWS 焊条规范	焊条类别 ^{f,h}
组别 II (续)								
ASTM A606 ^e	B 和 C 级	60	414	70 最小	483 最小			
		45	310	65 最小	448 最小			
ASTM A607	45 级	45	310	60 最小	414 最小			
	50 级	50	345	65 最小	448 最小			
	55 级	55	379	70 最小	483 最小			
ASTMA618		50	345	70 最小	483 最小			
ASTM A633	A 和 B ^e 级	42	290	63/83	434/572			
	C, D 级 (2-1/2 in [64 mm] 及以下)	50	345	70/90	483/621			
ASTM A656	60 级	60	414	70 最小	483 最小			
ASTM A709	50 级	50	345	65 最小	448 最小			
	50W 级	50	345	70 最小	483 最小			
ASTM A1008	SS 50 级	50	340	65	410			
	HSLAS 50 级, 等级 1	50	340	65	450			
	HSLAS 55 级, 等级 1	55	380	70	480			
	HSLAS 55 级, 等级 2	55	380	65	448			
	HSLAS 60 级, 等级 2	60	410	70	480			
	HSLAS-F 60 级	60	410	70	480			
ASTMA1011	SS 50 级	50	345	65	448			
	HSLAS 50 级, 等级 1	50	345	65	448			
	SS 55 级	55	379	70	483			
	HSLAS 55 级, 等级 1	55	379	70	483			
	HSLAS 55 级, 等级 2	55	379	65	448			
	HSLAS 60 级, 等级 2	60	414	70	483			
ASTMA1018	HSLAS-F 60 级	60	414	70	483			
	HSLAS 50 级, 等级 1	50	340	65	448			
	HSLAS 55 级, 等级 1	55	379	70	483			
	HSLAS 55 级, 等级 2	55	379	65	448			
	HSLAS 60 级, 等级 2	60	414	70	483			
	HSLAS-F 60 级	60	414	70	483			
API 2N(5)		42	290	62/80	427/552			

(续)

表 8.1 (续)
免除评定的母材 — 强度匹配的填充金属组合

钢技术要求						填充金属要求		
钢规格 ^{a,b,c}		最小屈服点/强度		拉伸强度范围		方法	AWS 焊条规范	焊条类别 ^{f,h}
		ksi	MPa	ksi	MPa			
组别 II (续)								
API 5LX	X52 级	52	359	66/72	455/496			
ABS	AH32、DH32、EH32 级	45.5	313	71/90	490/621			
	AH32、DH32、EH36(5) 级	51	352	71/90	490/620			
AAR M201	B 级	38	262	70 最小	483 最小			
	热轧、退火或标准焊接碳钢等级最大限值为 C 0.34、Mn 1.00、P 0.04、S 0.05	(注 g)		(注 g)				
组别 III								
ASTM A537	2(5) 级	60	414	80/100	552/689	SMAW	A5.5/A5.5M	E8015-XX
ASTM A572	60 级	60	414	75 最小	517 最小			E8016-XX
	65 级	65	448	80 最小	552 最小			E8018-XX
ASTM A633	E(5) 级	60	414	80/100	552/689	SAW	A5.23/A5.23M	F8AX-EXX-XX
ASTM A1008	SS 60 级	60	414	75	517	GMAW	A5.28/A5.28M	ER80S-XX
	HSLAS 60 级, 等级 1	60	414	75	517			E80C-XX
	HSLAS 65 级, 等级 1	65	448	80	552	FCAW	A5.29/A5.29M	E8XTX-XX
	HSLAS 65 级, 等级 2	65	448	75	517			
	HSLAS 70 级, 等级 2	70	483	80	552			
	HSLAS-F 70 级	70	483	80	552			
ASTMA1011	SS 60 级	60	414	75	517			
	HSLAS 60 级, 等级 1	60	414	75	517			
	HSLAS 65 级, 等级 1	65	448	80	552			
	HSLAS 65 级, 等级 2	65	448	75	517			
	HSLAS 70 级, 等级 2	70	483	80	552			
	HSLAS-F 70 级	70	483	80	552			
ASTMA1018	HSLAS 60 级, 等级 1	60	414	75	517			
	HSLAS 65 级, 等级 1	65	448	80	552			
	HSLAS 65 级, 等级 2	65	448	75	517			
	HSLAS 70 级, 等级 2	70	483	80	552			
	HSLAS-F 70 级	70	483	80	552			
AAR TC128	B 级	50	345	81/101	558/696			
AAR M201	B+ 级	50	345	80 最小	552 最小			

(续)

表 8.1 (续)
免除评定的母材 — 强度匹配的填充金属组合

钢技术要求						填充金属要求			
钢规格 ^{a,b,c}		最小屈服点/强度		拉伸强度范围			方法	AWS 焊条规范	焊条类别 ^{f,h}
		ksi	MPa	ksi	MPa				
组别 IV									
ASTMA514	(2-1/2 in [64 mm] 以上)	90	621	100/130	689/896		SMAW	A5.5/A5.5M	E10015-XX
ASTM A709	100、100W 级	90	621	100/130	689/896				E10016-XX
	(2-1/2 in 至 4 in [64 mm 至 102 mm])								E10018-XX
							SAW	A5.23/A5.23M	F10AX-EXX-XX
									F10AX-E(C)XX-XX
						GMAW	A5.5/A5.5M	ER100S-XX	
						FCAW	A5.29/A5.29M	E10XTX-XX	
组别 V									
ASTM A514	(2-1/2 in [64 mm] 及以下)	100	689	110/130	758/896		SMAW	A5.5/A5.5M	E11015-XX
ASTMA517		100	689	115/135	792/931				E11016-XX
ASTM A709	100、100W 级	100	689	100/130	689/896				E11018-XX
	(2-1/2 in [64 mm] 及以下)						SAW	A5.23/A5.23M	F11AX-EXX-XX
									F11AX-E(C)XX-XX
						GMAW	A5.28/A5.28M	ER110S-XX	
						FCAW	A5.29/A5.29M	E11XTX-XX	

^a 在涉及不同组别母材的接头，可采用适合低强度类别低氢填充金属的要求。低氢方法应遵循高强度类别的技术要求。

^b 按照所用钢材来匹配 API 标准 2B (加工的管材)。

^c 允许增加 0.2% (最小) 的铜。

^d 若焊接钢材的厚度超过 1 英寸 [25 mm]，只能使用低氢焊条。

^e 可要求使用特殊的焊接材料和工艺 (如，E80XX-XX 低氢焊条) 匹配母材的切口韧性 (在冲击或低温中使用)，或者是大气腐蚀和气候特征。

^f 禁止使用铬-钼合金 (B 系列填充金属)。

^g 一般不规定机械性能。

^h 若要求 V 型坡口冲击试样，堆焊金属的最小冲击强度为 0°F [-18°C] 时 20 ft-lb [27 joules]。

ⁱ 焊接 ASTM A514、A517 和 A709 100 和 100W 级时，热输入值不得高于制造商建议的范围。其包括预热和道间温度能量控制 (焦耳/英寸)。

^j 同级别的 AWS A5M (国际单位制) 焊条 (丝) 可以代替 AWS A5 (美国惯用单位制) 的焊条 (丝) 级别。

表 8.2
免除评定的最低预热和道间温度（钢材）a, b

预热类别	钢材规格 ^C		钢材规格 ^C		方法	焊接处最厚部件的厚度		最低温度	
						in	mm	°F	°C
A	ASTM A27	U60-30 级 60-30 级	ASTM A515	55 和 60 级	焊条电弧焊（非低氢焊条）。其他方法，见 B 类的说明。	≤3/4	≤20	32	0
	ASTM A36 ^d		ASTM A516	55 和 60 级					
	ASTM A53		ASTM A524	1 和 11 级		3/4 以上 至 1-1/2	0 以上 至 38	150	65
		S 型或 E 级 A 和 B 级, F 型	ASTM A529						
			ASTM A569						
	ASTM A106	B 级	ASTM A570	所有等级					
	ASTMA313	A, B, CS, D, DS, E 级	ASTM A573	65 级					
	ASTM A139	B 级	ASTM A656	60 级					
	ASTMA216	WCA 级	ASTM A1008	CS A、B、C、DS 型, A、B、SS 型, 25、30、33 级, 1、2、40 型, 1、2 型 HSLAS 45 级, 等级 1 和 2, 50 级					
	ASTM A283	A, B, C, D 级	ASTMA1011	等级 2, HSLAS-F 50 级 CS A、B、C、DS 型, A、B、SS 型, 30、33、36 级, 1、2、40、45 型 HSLAS 45 级, 等级 1 和 2, 50 级		1-1/2 以上 至 2-1/2	38 以上 至 63	225	104
			ASTMA1018	等级 2, HSLAS-F 50 级 CS（除 1524 外的所有等级）、DS、SS 30、33、36 级 1、2、40 型 HSLAS 45 级, 等级 1 和 2, 50 级, 等级 2, HSLAS-F 50 级					
	ASTMA381	Y35 级	ASTM A7094	36 级					
	ASTM A500	A 级	API5L	B 级					
		B 级	API 5LX	X42 级					
	ASTM A501		AAR M201	A 级		2-1/2 以上	63 以上	300	149
			热轧、退火或标准焊接碳钢等级最大限值为 C 0.28、Mn 1.00、P 0.04、S0.05						

(续)

表 8.2 (续)
免除评定的最低预热和道间温度 (钢材) a, b

预热类别	钢材规格 ^C		钢材规格 ^C		方法	焊接处最厚部件的厚度		最低温度	
						in	mm	°F	°C
B	ASTM A27	65-35、70-36、70-40 级	ASTM A570	所有等级	使用低氢焊条的焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护电弧焊、药芯焊丝电弧焊	≤3/4	≤19	32	0
	ASTM A36	所有等级	ASTM A572	42 和 50 级					
	ASTM A53		ASTM A573	65 级					
	ASTM A106		ASTM A588						
	ASTMA131		ASTM A595	A, B, C 级					
			ASTM A606						
		ASTM A607	45, 50, 55 级						
		ASTM A618							
	ASTM A139	B 级	ASTM A633	A, B 级 C, D 级					
	ASTMA216	WCB、WCC 级							
	ASTM A242	2 级							
	ASTM A283	A, B, C, D 级							
	ASTMA381	Y35 级							
	ASTM A441		ASTM A656	50 和 60 级					
	ASTM A500	A, B 级							
	ASTM A501		ASTM A709	36, 50, 50W 级					
		ASTM A1008	SS 50 级, HSLAS 50 级, 等级 1, 55 等级 1 和 2, 60 等级 2, HSLAS-F 60 级						
		ASTMA1011	SS 50、55 级, HSLAS 50 级 等级 1,55 等级 1 和 2, 60 等级 2 HSLAS-F 60 级						
		ASTMA1018	HSLAS 50 级, 等级 1, 55 等级 1 和 2, 60 等级 2, HSLAS-F 60 级 SS 50 级, HSLAS 50 级, 等级 1, 55 等级 1 和 2, 60 等级 2						
		API5L	B 级						
ASTMA515	65 和 70 级								

(续)

表 8.2 (续)
免除评定的最低预热和道间温度 (钢材) a, b

预热类别	钢材规格 ^c		钢材规格 ^c	方法	焊接处最厚部件的厚度		最低温度	
					in	mm	°F	°C
B (续)	ASTM A516	65 和 70 级	API 5LX X42 级 AAR M201 B 级 热轧、退火或标准焊接碳钢等级, 其最大限值为 C 0.35, Mn 1.00, P 0.04, S0.05	使用低氢焊条的焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护电弧焊、药芯焊丝电弧焊	2-1/2 以上	64 以上	225	107
	ASTM A524	1 和 11 级						
	ASTM A529							
	ASTM A537	等级 1 和 2						
C	ASTM A572	60 和 65 级	ASTM A1008 SS 60 级, HSLAS 60 级, 等级 1, 65 等级 1 和 2, 70 等级 2, HSLAS-F 70 级	使用低氢焊条的焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护电弧焊、药芯焊丝电弧焊	≤3/4	≤19	50	10
	ASTM A633 API 5 LX	E 级 X52 级	ASTMA1011 SS 60 级, HSLAS 60, 65 级, 等级 1 和 2, 70 等级 2, HSLAS-F 70 级		3/4 以上至 1-1/2	19 以上至 38	150	66
	AARTC128 AAR M201	B 级 B+ 级	ASTMA1018 HSLAS 60 级, 等级 1, 65 等级 1 和 2, 70 等级 2, HSLAS-F 70 级		1-1/2 以上至 2-1/2	38 以上至 64	225	107
			SS 60 级, HSLAS 60 级, 等级 1, 65 等级 1 和 2, 70 等级 2		2-1/2 以上	64 以上	300	149
	ASTM A514 ASTMA517			使用低氢焊条的焊条电弧焊, 使用碳钢或合金钢丝中性焊剂的埋弧焊、气体保护电弧焊、药芯焊丝电弧焊	≤3/4	≤19	50	10
D					3/4 以上至 1-1/2	19 以上至 38	125	52
	ASTM A709	100 和 100W 级			1-1/2 以上至 2-1/2	38 以上至 64	175	79
					2-1/2 以上	64 以上	225	107

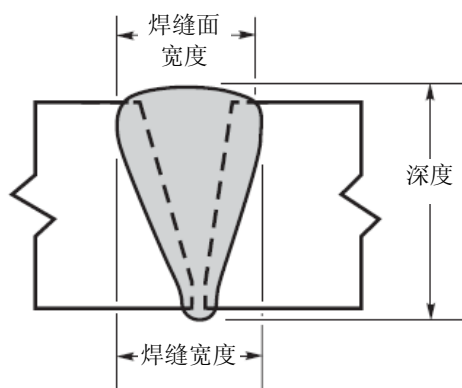
^a 若母材温度低于焊接方法和焊接母材厚度中列出的温度, 除非另有规定或根据第 9 至 13 节的要求进行评定, 应对母材进行预热。预热时, 堆焊金属的母材表面的温度, 应高于规定的与待焊接部件厚度相等距离的最低温度, 但这一距离自焊接点从各个方向上不小于 3 英寸 [76 mm]。预热和道间温度必须足以防止裂纹形成。对高度约束的焊缝来说, 也可要求高于规定的最低温度。

^b 对涉及母材组合的焊接接头, 预热应按较高强度的焊接钢材的要求进行。

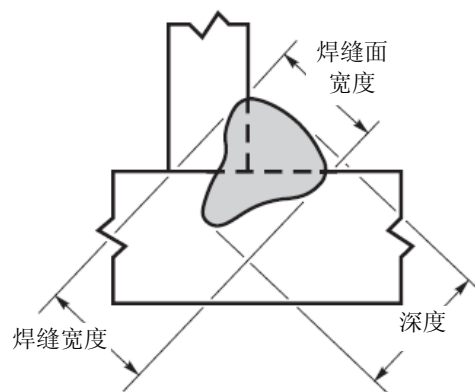
^c 允许增加 0.2% (最小) 的铜。

^d 若焊接钢材的厚度超过 1 英寸 [25 mm] 的 A36 或 A709 36 级材料, 只能使用低氢焊条。

^e 焊接 ASTM A514、A517 和 A709 100 和 100W 级时, 热输入值不得高于制造商建议的范围。其包括预热和道间温度计能量控制 (焦耳/英寸)。



坡口焊缝



角焊缝

注：所示详图仅用作示例；其适用于所有焊缝和坡口类型。

9. 评定的一般要求

9.1 免除评定的工艺

9.1.1 免除试验。第 5 节至第 8 节的所有要求的焊接工艺规程应被视为免除评定，可免除试验和评定。

9.1.2 工程评判。采用免除评定的接头焊接工艺规程不能取代对这些工艺在焊接组件或接头中的适合性工程判断。

9.1.3 对书面焊接工艺规程的要求。对采用的所有免除评定的接头焊接工艺，公司应准备书面焊接工艺规程，并应提供给有关方面供审查。附录 D 给出了提供焊接工艺规程要求的信息的建议表格。

9.1.4 评定和免除评定焊接工艺组合。对厚度不小于 1/8 英寸 [3 mm] 的母材，只要符合各工艺的基本变量的范围，可以采用评定和免除评定焊接工艺组合，而无需进行评定。

9.1.5 厚度小于 1/8 英寸 [3 mm] 的材料。厚度小于 1/8 英寸 [3 mm] 的母材的接头焊接没有免除评定的焊接工艺。此类材料应根据 18.2 进行焊接工艺评定。

9.2 评定工艺。

除了 9.1.1 中免除试验的程序，在本规范下进行的接头焊接工作采用的工艺在实施前必须按照 10.1 至 10.11 中相关的要求进行评定，并达到制造商工程师满意。经公司评定合格的焊接工艺规程将被视为合格，可供使用。然而，特定焊接母材范围以外的基本变量的任何变化都需要重新进行评定。

9.3 焊工、焊接操作工和定位焊工

9.3.1 试验要求。所有焊工、焊接操作工和定位焊工都应按照 5.3.1，第 11、12 和 13 节的要求进行评定

9.4 评定责任

9.4.1 各公司都应对其公司和其子承包商使用的焊接工艺评定负责。若一家公司归属改变，新业主必须重新审查工艺评定记录，确定它们是否符合本规范的要求。确实符合本规范要求的正确记录的文件焊接工艺规程可以使用，而无需重新进行评定，只要新业主认可对它们的责任，并且文件焊接工艺规程反映了新业主的名称。本段，5.2.3 和 9.4.2 中使用的术语“公

司(company)”包括拥有共有权的所有机构，它们使用相同的焊接标准和文献。

9.4.2 各公司都应完成焊工、焊接操作工和定位焊工的性能评定试验。若一家机构归属改变，新业主必须重新审查程序评定记录，确定它们是否符合本规范的要求。评定试验记录符合本规范要求的焊工，自动焊工和定位焊工可以继续工作，而无需重新进行评定，只要新业主认可对它们评定的责任，并且它们的评定记录反映了新业主的名称。

9.4.3 在 AWS D15.1 较早版本有效时按照并满足它的评定现在仍然有效，可以使用。但是利用较早版本代替当前版本进行新的评定是不可接受的，除非合同要求特定的较早版本。

10. 工艺评定

10.1 基本变量范围。

基本变量如表 10.1 所示。需要缺口韧性时，“补充的基本变量”也应使用。

10.2 试验类型和目的

10.2.1 坡口焊缝。以下描述的试验类型可确定在规定工艺下完成的焊接接头的机械性能和完好性。采用的试验如下：

- (1) 截面缩小横向拉伸试验（抗拉强度试验）
- (2) 横向根部弯曲试验（完好性试验）
- (3) 横向焊接面弯曲试验（完好性试验）
- (4) 侧面弯曲试验（完好性试验）
- (5) 纵向面弯曲试验和根部弯曲试验（完好性试验）
- (6) 全焊缝金属拉伸试验（机械性能试验）
- (7) 冲击试验（规定了韧性时 — 参见 10.1.6）
- (8) 完好性试验的宏观腐蚀试验和部分接头熔透坡口焊缝中的焊缝尺寸测量
- (9) 射线照相检测或超声波检测（完好性试验）

10.2.2 角焊缝。应对规定程序下完成的焊接接头的完好性进行宏观腐蚀试验。

10.2.3 塞焊缝。准备三个焊缝试样，并沿焊缝中心线将它们切开。各断面按照 10.8.2 的要求准备好。

如果焊接材料和母材组合不符合表 8.1 的要求，且制造商的坡口焊缝根据 10.6.1 或 10.6.2 的要求进行焊接工艺规程评定不合格，那么，应焊接一块接头完全熔透坡口焊缝试验板，以评定预期的母材和焊接材料组合是否合格。

10.2.4 槽焊缝。准备两个槽焊缝。其中之一沿焊缝中心线切开。另一个在焊缝的三处横向切开。断面位于焊缝长度方向的中心线上，和焊缝端部的距离等于焊缝长的四分之一。各断面按照 10.8.2 的要求准备好。

如果焊接材料和母材组合不符合表 8.1 的要求，且制造商的坡口焊缝根据 10.6.1 或 10.6.2 的要求进行焊接工艺规程评定不合格，那么，应焊接一块接头完全熔透坡口焊缝试验板，以评定预期的母材和焊接材料组合是否合格。

10.2.5 熔敷焊缝。熔敷焊缝应采用接头完全熔透坡口焊缝试验评定是否合格。

10.3 母材及准备。

母材及其焊接准备应遵循焊接工艺规程。对于所有类型的焊接接头，焊缝长度和母材尺寸应为该规范所要求的试样提供足够材料。

10.4 试验焊缝位置。

实际结构中所有焊缝应分为四类：按照图 10.1 和 10.2 中给出的焊接位置定义，(1) 平焊位置；(2) 横焊位置；(3) 立焊位置；(4) 仰焊位置。应按照下述方式对各工艺进行试验，确定其是否合格（见表 10.4）。

10.4.1 坡口板材试验焊缝（图 10.3）在坡口焊缝的评定试验中，应在以下位置焊接试验板材：

10.4.1.1 位置 1G（平焊位置）。将试验板材置于一个大致水平的平面上，焊缝金属从上面熔敷（见图 10.3(A)）。

10.4.1.2 位置 2G（横焊位置）。将试验板材置于一个大致垂直的平面上，坡口大致水平（见图 10.3(B)）。

10.4.1.3 位置 3G（立焊位置）。试验板材的安放应使坡口大致垂直（见图 10.3(C)）。

10.4.1.4 位置 4G（仰焊位置）。将试验板材置于一个大致水平的平面上，焊缝金属从下面熔敷（见图 10.3(D)）。

10.4.1.5 在特殊方向上焊接的制造商，可以就工艺评定作特定方向上的坡口板材试验焊缝。除下面的情况外，这样的合格条件只对实际进行过试验的位置有效：

(1) 除立焊位置的试验焊缝（图 10.1）外，焊缝轴线倾角和面旋转角允许有 $\pm 15^\circ$ 的偏差。

(2) 立焊位置的试验焊缝可以证明所有倾角较小的立焊位置评定合格。

10.4.2 坡口管材试验焊缝（图 10.4）。在坡口焊缝的评定试验中，应在以下位置焊接试验管材：

10.4.2.1 位置 1G（管材水平转动）。试验管材的安放应使其轴线水平，坡口大致垂直。焊接中，试验管材应转动，这样焊缝金属从上面熔敷（见图 10.4(A)）。

10.4.2.2 位置 2G（管材垂直固定）。试验管材的安放应使其轴线垂直，焊接坡口大致水平。焊接中，试验管材不得转动（见图 10.4(B)）。

10.4.2.3 位置 5G（管材水平固定）。试验管材的安放应使其轴线水平，坡口大致垂直。焊接中，试验管材不得转动（见图 10.4(C)）。

10.4.2.4 位置 6G（管材倾斜固定）。将试验管材倾斜至于水平面成 45° 角。焊接中，试验管材不得转动（见图 10.4(D)）。

10.4.2.5 在特殊方向上焊接的制造商，可以就工艺评定作特定方向上的坡口管材试验焊缝。这样的合格条件只对实际进行过试验的位置有效，除了试验管轴倾角允许有 $\pm 15^\circ$ 的偏差。

10.4.3 板材角焊缝（图 10.5）。在角焊缝的评定试验中，应在以下位置焊接试验板材：

10.4.3.1 位置 1F（平焊位置）。试验板材的安放，应使各角焊缝的轴线大致水平，其焊缝厚度大致垂直（见图 10.5(A)）。

10.4.3.2 位置 2F（横焊位置）。试验板材的安放，应使各角焊缝位于水平面的上面，背

靠垂直面（见图 10.5(B)）。

10.4.3.3 位置 3F（立焊位置）。试验板材的安放，应使各角焊缝的轴线大致垂直（见图 10.5(C)）。

10.4.3.4 位置 4F（仰焊位置）。试验板材的安放，应使各角焊缝位于水平面的下面，背靠垂直面（见图 D5(D)）。

10.4.3.5 在特殊方向上焊接的制造商，可以就程序评定作特定方向上的填角板材试验焊缝。除下面的情况外，这样的合格条件只对实际进行过试验的位置有效：

(1) 除立焊位置的试验焊缝（图 10.2）外，焊缝轴线倾角和面旋转角允许有 $\pm 15^\circ$ 的偏差。

(2) 立焊位置的试验焊缝可以证明所有倾角较小的立焊位置角焊缝评定合格。

10.4.4 管材角焊缝（图 10.6）。

10.4.4.1 位置 1F。试验管材的安放应使其轴线与水平面成 45° 倾角，焊接中，试验管材应转动。焊缝金属从上面熔敷，这样在熔敷点上，焊缝轴线是水平的，焊缝尺寸是垂直的（见图 10.6(A)）。

10.4.4.2 横焊位置 2F 和 2FR

(1) 2F 位置试验管材的安放应使其轴线垂直，这样焊缝位于水平面的上面，背靠垂直面。焊缝轴线是水平的，焊接中试验管材不会转动（见图 10.6(B)）。

(2) 2FR 位置试验管材的安放应使其轴线水平，焊缝的轴线在垂直面内。焊接中试验管材会转动（见图 10.6(C)）。

10.4.4.3 仰焊位置 4F。试验管材的安放应使其轴线垂直，这样焊缝位于水平面的下面，背靠垂直面。焊缝轴线是水平的，焊接中试验管材不会转动（见图 10.6(D)）。

10.4.4.4 多位置焊接 5F。试验管材的安放应使其轴线水平，焊缝的轴线在垂直面内。焊接中，试验管材不得转动（见图 10.6(E)）。

10.4.4.5 在特殊方向上焊接的制造商，可以就程序评定作特定方向上的填角管材试验焊缝。这样的合格条件只对实际进行过试验的位置有效，除了试验管轴倾角允许有 $\pm 15^\circ$ 的偏差。

10.5 接头焊接工艺规程

10.5.1 使用的工艺在各个方面都应与焊接工艺规程相一致。

10.5.2 焊缝清洁应在与评定的焊接位置相同的焊缝上进行。

10.6 试样：数量、类型以及准备

10.6.1 接头完全熔透坡口焊缝

10.6.1.1 表 10.1 给出的是必须作试验以确定焊接工艺规程合格与否的试样的类型和数量，以及结构中可以使用的厚度范围。这个范围是以评定中使用的试验板材和试验管材的厚度为基础的。

10.6.1.2 角接或T形接头坡口焊缝的试样必须为对接接头，它应具有结构中角接或 T 型接头相同的坡口形状，但坡口深度不需超过 1 in [25 mm]。

10.6.1.3 无损检测。在准备机械试样以前，应对评定板材和试验管材进行以下无损检测，评定其质量：

(1) 应采用射线照相检测或超声波检测。对于试验板材，应对废弃板条之间的有效焊缝长度进行试验，这一长度最短不少于 6 英寸 [150 mm]。对于试验管材，应对竣工焊缝的所有周边进行试验。

(2) 就评定而言，射线照相检测或超声波检测的焊缝状况应符合 17.3 和 17.4 的要求。

10.6.1.4 机械试验。焊接试验组件应符合 10.6.1.3 的要求，试样应按照图 10.7 至 10.10 中的相关要求通过切割试验板材和试验管材制作。试验的试样应根据图 10.11 至 10.14 相关试验要求进行制备。

10.6.1.5 当结合的材料在力学弯曲性能上明显不同，例如两种母材之间或母材与焊缝金属之间存在这种明显差异时，可用纵向弯曲试验（面弯和根弯）代替横向的面弯和根弯试验。焊接试验组件应符合 10.6.1.3 的要求，试样应按照图 10.9 至 10.10 中的相关要求通过切割试验板材制作。纵向弯曲试验用的试样应根据图 10.14 的相关试验要求进行制备。

10.6.2 部分接头熔透坡口焊缝。表 10.2 给出的是必须作试验以确定焊接工艺规程合格与否的试样的类型和数量。应使用结构将采用的坡口设计类型和接头焊接工艺规程制作一个焊接试样，除非坡口深度不必超过 1 in [25 mm]。对表 10.2 要求的宏观腐蚀试验，所有钢材或这些组里的钢材组合都可以用第 1、2 或 3（M 数量参考 AWS B2.1/B2.1M 附件 A）组中的任何 M1 钢材来做评定。

10.6.2.1 对各方面均符合第 5.4、5.5、6 和 8 节中的要求的接头焊接工艺，应准备三个宏观腐蚀截面试样来证明满足规定的有效焊缝尺寸（焊接工艺规程的要求）。

10.6.2.2 若一个接头焊接工艺规程对接头完全熔透坡口焊缝已经是合格的，并且也用作部分接头熔透坡口焊缝的焊接条件，那么需要三个宏观腐蚀截面试样。

10.6.2.3 如果一个接头焊接工艺规程不满足 10.6.2.1 或 10.6.2.2 的要求，焊接条件不满足免除评定的状态，或是它们没有在对焊接头的接头完全熔透坡口焊缝中使用和试验过，那么应准备一个接头试样，并制作一个宏观腐蚀试样来确定接头的有效焊缝尺寸。然后，应将多余部分从接头根部切割掉，直至有效焊缝厚度。应制作拉伸试验和弯曲试验的试样，并按照接头完全熔透坡口焊缝的要求进行试验（见 10.6.1）。

10.6.2.4 喇叭形坡口焊缝。对于被评定的喇叭形坡口焊缝的有效焊缝尺寸按如下所述要求确定：

(1) 当工程师要求时，必须使用试验断面来验证有效焊缝尺寸能够稳定地获得。

(2) 在给定的一套焊接工艺规程条件下，如制造商证实在稳定的生产中得到有效焊缝尺寸大于表 7.1 中的规定值，则制造商可以通过评定来确立这一更大的有效焊缝尺寸。

(3) 按 (2) 所要求的评定，必须是在焊缝长度的中间部位和两端、垂直于转角构件的轴线切取断面。这样的断面试样，必须为制造商在结构中所使用的、有代表性材料尺寸的若干组合，或根据工程师的要求而定。

10.6.3 角焊缝。表 10.3 给出的是必须作试验以确定焊接工艺规程合格与否的试样的类型和数量。

10.6.3.1 角焊缝。对结构中的各个工艺和各个位置，应做图 10.15 试验板材的 T 形接头角焊缝试验，或者图 10.17 试验管材焊缝试验。

10.6.3.2 一个试验焊缝应为结构中采用的最大尺寸的单焊道角焊缝，另一个应为结构中采用的最小尺寸的多焊道角焊缝。可以将两个角焊缝试验合为一个单独的试验焊接件或焊接组件。如图 10.15 或 10.17 所示，沿与焊缝方向垂直的方向将焊接件切割开。试样代表三个槽之一的一个面，成为宏观腐蚀试样，并应按照 10.8.2 的要求进行试验。

10.6.4 焊接材料验证试验

10.6.4.1 按照 10.6.3.1 的规定焊接角焊缝试验板材时拟用的焊接材料和焊接工艺既不是免除评定的，也不能根据 9.2 进行评定；这就是说，(1) 若使用的焊接材料不符合表 8.1，并且(2) 若使用拟用焊接材料的焊接工艺规程未经制造商按照 10.6.1 或 10.6.2 的要求通过评定，那么，应焊接一块接头完全熔透坡口焊缝试验板材来评定这一拟用的组合。

10.6.4.2 试验板材必须按如下要求焊接：

(1) 试验板材的坡口结构应符合图 11.2 或 12.1，且有金属衬垫。

(2) 试验板材必须在 1G（平焊）位置焊接。

(3) 试验板材必须有足够长度，以切取图 10.16 所要求和取向的试样。

(4) 焊接试验的条件，如电流，电压，焊接速度和气流等应尽量与实际角焊缝的条件相同。这些条件构成了焊接工艺规程，在进行实际角焊缝时，任何基本变量的变化都将根据 10.1.3 至 10.1.17 进行测量。

(5) 焊接试验板材必须作如下试验：

(a) 必须如图 10.16 所示，从试板上取 2 个侧弯（见图 10.13）试样和 1 个全焊缝金属拉伸（见图 10.12）。

(b) 应按照 10.8.3 的要求对弯曲试样进行试验，试验结果应满足 10.9.2 的要求。

(c) 应按照 10.8.4 的要求对拉伸试样进行试验，试验结果应确定焊接材料的强度等级。焊接材料的强度等级应符合要使用的焊接工艺和母材强度等级的要求。

10.6.5 试验管材的评定。根据 10.6.1 的要求评定合格的管材坡口焊缝的接头焊接工艺规程也应作为板材或管材的角焊缝工艺评定条件。

10.6.6 评定的管材焊接位置。管材的评定条件也适用于板材，但板材的评定条件不适用于管材。然而 1G（平焊）和 2G（横焊）位置的板材评定条件应适用于直径在 24 英寸 [610 mm] 以上的焊接管材。表 10.4 给出了评定程序的焊接位置限制。

10.6.6.1 5G（管水平固定）位置的管材焊接工艺评定条件，也是管材或板材的平焊、立焊和仰焊位置坡口焊缝和角焊缝的工艺评定条件。

10.6.6.2 6G（倾斜固定）位置的管材焊接工艺评定条件，也是管材或板材的所有位置坡口焊缝和角焊缝的工艺评定条件。

10.6.6.3 焊接板材的接头焊接工艺规程，也应构成满足表 10.5 的限制条件的角焊缝板材或管材的工艺评定条件。

10.7 特殊试验条件

10.7.1 铝合金铸件不要求做导向弯曲试验。可采用宏观腐蚀试验代替弯曲试验，来评估其完好性。

10.7.2 耐磨母材和填充金属，以及铸铁，一般不能满足 10.8.3 和 10.9.2 的弯曲试验要求。根据制造商工程师的意见，应采用宏观腐蚀试验（见 10.8.2 和 10.9.3.4）代替弯曲试验，对这些材料进行评定。

10.7.3 试样的时效硬化。如用于评定试验的焊缝金属所对应的填充金属技术条件获得许可，则完全焊好的评定试验的试样可作 200°F 至 220°F [93°C 至 104°C]、48 ± 2 小时的时效处理。

10.8 试样的试验方法

10.8.1 缩减截面拉伸试样。试验前，必须测量试样缩减断面处的最小宽度和相应厚度（单位：英寸 [mm]）。试样必须在拉伸载荷 f 下破断，并必须测定最大荷载。横截面的面积必须由宽度乘以厚度求得。拉伸强度必须为最大荷载除以横截面积所得之商。

10.8.2 宏观腐蚀试验。焊缝试样应有一个光面适合进行宏观腐蚀检查。使用适当的溶液侵蚀，使焊缝面轮廓清晰（参见附件 F）。

10.8.3 根部弯曲、正面弯曲和侧面弯曲试样。使用轮廓如图 11.11、11.12 或 11.13 中所示的装置来弯曲各个试样。装置的其他部分应完全符合这些图的要求。可采用任何方便的方式移动与模体相关的压头。

10.8.3.1 将试样置于夹具的模体上，焊缝位于跨度中部。焊缝面弯曲试样的放置，应使焊缝面朝缺口方向。根部弯曲试样和角焊缝致密性试样则使焊缝根部朝向模腔豁口。侧面弯曲试样的放置，应使较大不连续性（缺陷）的那个面（如有的话）朝缺口方向。

10.8.3.2 必须使压头对试样加力使其进入模腔，直至变成 U 形。试验后，焊缝和热影响区应在中心位置，并且完全在试样弯曲部分内。

10.8.3.3 当用卷弯紧固件试验时，必须夹紧试样一端使其在弯曲时不致滑动。试验后，焊缝和热影响区应完全在试样弯曲部分内。当外滚筒自起始点起转了 180° ，将试样从装置中取出。

10.8.4 全焊缝金属拉伸试验。按照 AWS B4.0 焊缝机械试验标准方法的要求，对试样进行试验。

10.8.5 射线照相检测工艺和技术应符合第 15 节的要求。

10.8.6 超声波检测工艺和技术应符合第 16 节的要求。

10.9 要求的试验结果。对试验结果的要求如下：

10.9.1 缩减截面拉伸试验

10.9.1.1 如果使用最小抗拉强度不同的母材，应符合其中最弱的（或未规定强度的）母材的要求。

10.9.1.2 铝合金母材的抗拉强度应满足表 10.5 的要求。

10.9.1.3 若没有规定母材的最小抗拉强度（见 10.9.1.5），如果满足下述条件，则试验结果是满足要求的：

- (1) 断裂出现在母材的焊缝或熔合线以外
- (2) 断裂出现在拉伸荷载等于或大于焊缝金属规定的最小强度时。

10.9.1.4 所有其他母材的抗拉强度不得低于下述要求：

(1) 规定的母材（母材技术规程）最小抗拉强度。但是，如果试样在母材的焊缝或熔合线以外处断裂，只要拉伸荷载不小于规定的母材的最小抗拉强度的 5%，就应认为试验结果是满足要求的。

(2) 若设计允许使用强度更低的填充金属，应为焊缝金属规定的最小抗拉强度。

10.9.1.5 若一个工艺采用一种没有规定最小抗拉强度的母材经评定合格时，该试验不能证明其他任何母材的焊接合格。

10.9.2 根部弯曲试验，焊缝面弯曲试验和侧面弯曲试验。应对弯曲试样的凸面进行目检，检

查其不连续性（缺陷）。如果凸面没有超过以下尺寸的不连续性（缺陷），可认为通过评定：

10.9.2.1 1/8 英寸 [3 mm]，从表面任何方向上测量。

10.9.2.2 3/8 英寸 [10 mm] — 所有超过 1/32 英寸 [1 mm] 但不大于 1/8 英寸 [3 mm] 的不连续性（缺陷）的最大尺寸之和。

10.9.2.3 1/4 英寸 [6 mm] — 最大的角裂纹，除了当角裂纹是由看得见的焊渣或其他熔化性质的不连续性（缺陷）造成的时，应为 1/8 英寸 [3 mm]。

10.9.2.4 角裂纹超过 1/4 英寸 [6 mm]、且不是由焊渣或其他熔化性质的不连续性（缺陷）造成的试样，应认为不合格。应使用新的试样更换原来做过试验的焊接件。

10.9.3 宏观腐蚀试验。目检时，评定合格的宏观腐蚀试样应符合以下要求：

10.9.3.1 部分接头熔透坡口焊缝应有规定的焊缝尺寸。

10.9.3.2 角焊缝应熔合至接头根部，但不必超过根部。

10.9.3.3 最小的焊脚尺寸必须符合规定的角焊缝尺寸。

10.9.3.4 部分接头熔透坡口焊缝和角焊缝应满足以下条件：

(1) 没有裂纹

(2) 焊缝的相邻焊层之间及焊缝金属与母材之间必须完全熔焊

(3) 焊缝外形与预期的情况一致，且没有图 6.2 禁止的变量值

(4) 没有超过表 17.1 中 1 类允许范围的咬边

10.9.3.5 就塞焊缝来说，与孔的表面的熔合应是完全的，与衬垫母材的熔合至少应等于孔的直径。

10.9.3.6 就槽焊缝来说，与槽的表面的熔合应是完全的，与衬垫母材的熔合至少应等于槽的尺寸。

10.9.4 无损检测。评定合格的焊缝，经射线照相检测和超声波检测，应符合第 17 节的要求。

10.9.5 管材的目检。目检时，评定合格的的管材焊缝应符合以下要求。

10.9.5.1 焊缝应无裂纹。

10.9.5.2 所有弧坑必须填满至焊缝的整个横截面。

10.9.5.3 焊缝表面至少应与管材的外表面平齐。焊缝应与母材平滑结合。咬边不得超过 1/64 英寸 [0.4 mm]。最大焊缝余高见表 11.5。

10.9.5.4 应对焊缝根部进行检验，且不应存在明显的裂纹、不完全熔合或不充分熔透。只要焊缝总厚度不小于母材的厚度，在下述范围内允许有根部凹面。

10.9.5.5 根部表面凹度最大应为 1/16 英寸 [2 mm]，最大焊透为 1/8 英寸 [3 mm]。

10.9.6 板材目检。目检时，评定合格的焊接试验板材应与 17.2 目检的要求一致。

10.10 记录。

制造商应保存试验结果的记录，并供有关单位审查。

10.11 重新试验。

如果所有被试验试样中任何一个不符合试验要求，则需从相同的工艺评定材料上切取两个该

试验项目的试样进行重新试验。这两个试样的试验结果都应符合要求。对于厚度超过 1-1/2 英寸 [38 mm] 的材料，一个试样不合格，则必须从试验材料的另外两个部位制取试样，进行项目全部试样的试验。

表 10.1

PQR 基本变量变更，针对 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 的要求焊接工艺规程重新评定（参见 10.1）

需重作评定的 PQR 基本变量变更：	方法				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
接头设计					
(1) 将以下的接头设计变更为另一类型（除添加清根）：					
(a) 方形坡口					
(b) 单、双斜面坡口或 J 形坡口	X	X	X	X	X
(c) 单、双 U 或 V 形坡口					
(2) 导致下列情况的坡口接头设计变更：					
(a) 减少坡口角度					
(b) 减少根部间隙	X	X	X	X	X
(c) 增加 CJP 焊缝的钝边					
(d) 漏掉而非添加衬底材料					
(e) 增加或漏掉可溶性填充物					
(3) 对于塞焊缝和槽焊缝：					
(a) 规定的角焊缝宽度或焊孔直径变更	X	X	X	X	X
(b) 角焊缝或焊孔的深度变更超过 1/16 英寸 [2 mm]					
(c) 规定衬底母材的厚度降低超过 1/16 英寸 [2 mm]					
母材、衬垫板条、填充金属、间隔垫条和引出板					
(4) M1 材料变更至更高组号（M 编号分类，参见 AWS B2.1/B2.1M 和/或附件 A）	X	X	X	X	X
(5) 一种材料 "M" 编号更改为另一种材料 "M" 编号或更改为没有列出的母材，仅在经装配公司工程师检验确认未列出的母材的机械性能处于相同范围内且化学成分处于相同范围内时除外	X	X	X	X	X
(6) 除 M1、M3、M4 和 M5 外，应对不同 M 编号母材间接头进行重新评定（标称铬含量最大为 3%）；带有一个 M 编号的工艺也应评定焊接至较低 M 编号金属上的金属	X	X	X	X	X
(7) M1 材料，变更组号	X	X	X	X	X

（续）

表 10.1 (续)

PQR 基本变量变更, 针对 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 的要求焊接工艺规程重新评定 (参见 10.1)

需重作评定的 PQR 基本变量变更:	方法				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
母材、衬垫板条、填充金属、间隔垫条和引出板 (续)					
(8) 焊接调质钢时, 变量限制内的所有变更应不得增加热输入以熬过钢材制造商建议的范围。	X	X	X	X	X
(9) 如果衬垫材料改变焊缝金属的成分, 则改变 "M" 编号衬垫材料	X	X	X	X	X
填充金属					
(10) 从一个 AWS "F" 号变更为另一 AWS "F" 号或变更为附件 B 中未列出的任何填充金属	X	X	X	X	X
(11) 碳钢和低合金焊接的焊条类型变更不包括:	AWS A5.1/A5.1M 或 A5.5/A5.5M	AWS A5.17/A5.17 或 A5.23/A5.23M	AWS A5.18/A5.18M 或 A5.28/A5.28M	AWS A5.20/A5.20M 或 A5.29/A5.29M	AWS A5.18/A5.18M 或 A5.28/A5.28M
(12) 不锈钢焊接的焊条类型变更不包括:	AWS A5.4/A5.4M	AWS A5.9/A5.9M	AWS A5.9/A5.9M	AWS A5.22/A5.22M	AWS A5.9/A5.9M
(13) 铝材焊接的焊条类型变更不包括:		AWS A5.10/A5.10M	AWS A5.10/A5.10M		AWS A5.10/A5.10M
(14) "G" 类型焊条变更	X		X	X	
(15) 焊条标称直径的变更:	增加值 > 1/32 in [0.8 mm]	任何增加	任何增加或减少	任何增加	
(16) 添加或取消填充金属					X
工艺参数					
(17) 电流和电压变更不包括在焊条供应商推荐的范围内	X		X (除铝材)	X	
(18) 铝材的电流或电压或两者变化超过 $\pm 15\%$			X		
(19) 焊接电流 (交流或直流) 类型或极性 (DCEN 或 DCEP) 变更		X	X	X	X
(20) 金属过渡方法变更			X		
保护气体					
(21) 从一种气体更改为其他气体或气体混合物, 或者按照气体混合的规定成分百分比更改			X	X	X

(续)

表 10.1 (续)

PQR 基本变量变更, 针对 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 的要求焊接工艺规程重新评定 (参见 10.1)

需重作评定的 PQR 基本变量变更:	方法				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
SAW 参数					
使用粉状填充金属、活性焊剂或 #23 至 #29 合金焊剂的工艺					
(22) 电流变化超过 10%		X			
(23) 弧电压变化超过 7%		X			
(24) 弧电压增加量小于 7% 但不超过焊剂制造商建议的最大值		X			
(25) 弧焊速度变化超过 15%		X			
(26) 电弧纵向间距变化大于 10% 或 1/8 英寸 [3 mm] (取其中较大值)		X			
(27) 电弧横向间距变化大于 10% 或 1/16 英寸 [2 mm] (取其中较大值)		X			
(28) 焊条标称直径的任何变化		X			
(29) 机器或自动 SAW 中, 焊接方向焊条角度增加或减少超过 10°		X			
(30) 机器或自动 SAW 中, 垂直于焊接方向焊条角度增加或减少超过 10°		X			
(31) 如果增加的粉末或颗粒填充金属或切割焊丝熔合, 应对最大和最小增加量进行评定		X			
(32) 使用活性焊剂或合金 SAW 焊剂时, 多焊道焊缝的母材最大厚度应为 1 英寸 [25 mm] 或焊剂制造商建议值, 两者取小值。		X			
预热和道间温度和规定的焊后热处理					
(33) 增加量、减少量或规定焊后热处理变更	X	X	X	X	X
(34) 除钢材依据表 8.2 规定的预热和道间温度外, 最小金属温度减少量超过 50°F [28°C]	X	X	X	X	X

(续)

表 10.1 (续)

PQR 基本变量变更, 针对 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 的要求焊接工艺规程重新评定 (参见 10.1)

需重作评定的 PQR 基本变量变更:	方法				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
预热和道间温度和规定的焊后热处理 (续)					
(35) 除钢材依据表 8.2 规定的预热和道间温度外, 评定试验最大规定温度增加量超过 100°F [56°C]	X	X	X	X	X
(36) 如果预热温度为 32°F [0°C] 或更低, 则试验温度为最低预热温度。	X	X	X	X	X
概述					
(37) 未评定焊接的焊接方法变更	X	X	X	X	X
(38) 在垂直焊接时, 正在焊接的任何焊道从向上更改为向下, 或从向下更改为向上。咬边除外, 不推荐铝材垂直向下焊接	X	X	X	X	X
(39) 漏掉而非包括清根	X	X	X	X	X
(40) 在距离接触针尖对工作以外的变化超过焊条供应商推荐的范围		X	X	X	
(41) 10.6 中规定的母材厚度、管材直径或两者的变更超过表 10.1、10.2 和 10.3 显示的值	X	X	X	X	X
补充的基本变量					
(42) 除焊接后晶粒细化奥氏体化热处理焊接工艺规程获得评定时, 焊缝每单位长度储存的焊缝金属热输入或热量增加超过该评定。建议焊接工艺规程在最大和最小热输入时进行评定。热输入可按下述二公式之一进行:					
(a) 热输入 (J/in)	$= \frac{\text{Volts} \times \text{Amps} \times 60}{\text{焊接速度 (in/mm)}}$				
热输入 (J/in)	$= \frac{\text{Volts} \times \text{Amps} \times 60}{\text{焊接速度 (mm/min)}}$				

(续)

表 10.1 (续)

PQR 基本变量变更, 针对 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 的要求焊接工艺规程重新评定 (参见 10.1)

需重作评定的 PQR 基本变量变更:	方法				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
补充的基本变量 (续)					
注: 密集组合的多电弧热量输入等于各单一电弧热量输入之和。					
(b) 焊缝金属量 — 焊缝尺寸增加量、焊条每单位焊缝长度减少量或焊接速度中恒定焊穿减少量	X	X	X	X	X
(43) 组别变化	X	X	X	X	X
(44) 覆盖的最小厚度为 T 或 5/8 in [16 mm], 取其中较小值, T 小于 1/4 in [6 mm] 的情况除外, 这种情况覆盖的最小厚度为 1/8 in [3 mm]	X	X	X	X	X
(45) 制造商焊条商标名称或类型更改				X	
(46) 表 10.5 中规定的位置更改 (除所有位置的 3G 垂直向上试验评定外)。图 10.1 和 10.2 列出的焊接位置变更, 表 10.5 批准时除外	X		X	X	X
(47) 在同一焊池中由单焊条向多焊条变更。		X	X		X
(48) 在 3G 位置, 直线运行改为摆动	X		X	X	X
(49) 每一面多道焊改为每一面单道焊	X	X	X	X	X
(50) 对于机械化焊接或自动焊接, 摆动变化超过 $\pm 20\%$		X	X	X	X

表 10.2
工艺评定 — 试验数量和类型及评定的厚度范围 — 接头完全熔透坡口焊缝^{a b e f g}

1. 板材试验

试验板材的标称厚度 (T), in [mm]	试样数量				评定的板材或管材标称厚度 ^c , in [mm]	
	缩减断面拉伸试样 (见图 10.11)	根弯 (见图 10.14)	面弯 (见图 10.14)	侧弯 (见图 10.13)	最小值	最大值
1/8 ≤ T ≤ 3/8 [3 ≤ T ≤ 10]	2	2	2	(注 f)	1/8 [3]	2T
3/8 < T < 3/4 [10 < T < 20]	2	—	—	4	3/16 [5]	2T
3/4 [20] 及以上	2	—	—	4	3/16 [5]	无限制

2. 管材试验^d

管材标称尺寸或直径, in [mm]		管壁直径厚度, in [mm]	试样数量				评定的标称管材直径 或尺寸, in [mm]	评定的板材或管材或管壁标称厚度 ^c , in [mm]	
			缩减断面拉伸试 样（见图 10.11）	根弯（见图 10.14）	面弯（见图 10.14）	侧弯（见图 10.13）		最小值	最大值
工作尺寸试验 管材	<24 [600]	1/8 ≤ T ≤ 3/8 [3 ≤ T ≤ 10]	2	2	2	（注 f）	≥试管直径	1/8 [3]	2T
		3/8 < T < 3/4 [10 < T < 20]	2	—	—	4	≥试管直径	3/16 [5]	2T
		3/4 [20] 及以上	2	—	—	4	≥试管直径	3/16 [5]	无限制
	≥24 [600]	1/8 ≤ T ≤ 3/8 [3 ≤ T ≤ 10]	2	2	2	（注 f）	≥试管直径	1/8 [5]	2T
		3/8 < T < 3/4 [10 < T < 20]	2	—	—	4	24 [600] 及以上	3/16 [5]	2T
		3/4 [20] 及以上	2	—	—	4	24 [600] 及以上	3/16 [5]	无限制
标准试验管材	2 [50] in Sch 80 或 3 [75] in Sch 40	2	2	2	—	3/4 至 4 [20–100]	1/8 [3]	7/16 [11]	
	6 [150] in Sch 120 或 8 [200] in Sch 80	2	—	—	4	4 [100] 及以上	3/16 [5]	无限制	

^a 应对所有焊接试验板进行检查 (见 10.9.6)。^b 在机械试验前, 应采用射线照相检测或波检测对最短 6 in [150 mm] 的有效焊缝长度进行试验 (见 10.6.1.3)。^c 对平坡口焊缝, 最大合格厚度应为试验板的厚度。^d 应对所有焊接试验管进行目检 (见 10.9.5)。^e 就管而言, 在机械试验前, 应采用射线照相检测或超声波检测对竣工焊缝的所有周边进行试验 (见 10.6.1.3)。^f 对于 3/8 in [10 mm] 板厚或壁厚, 可用侧弯试验代替每一个所要求的面弯和根弯试验。^g 所有坡口焊缝应评定用于 1/8 in [3 mm] 或更厚的母材角焊缝。

表 10.3
工艺评定 — 试验数量和类型及评定的厚度范围 — 部分接头熔透坡口焊缝^a

坡口类型	坡口深度 最大值 in [mm]	焊缝试样数量	要求的试样			
			有效焊缝厚度 (E) 的宏观腐蚀 (10.6.2.1) (10.6.2.2) (10.6.2.3)	拉伸和弯曲试验		
				缩减断面拉伸试样 (见图 10.11)	侧弯 (见图 10.13)	评定的板材厚度最大值
与结构中使用的相同 ^b	1 [25]	1	3	2	4	无限制

^a 所有部分焊接试验板材必须经过目检 (见 10.9.6)。

^b 如将接头部分熔透的单面削斜或单面 J 形坡口焊缝用于 T 形接头, 或者将双面削斜或双面 J 形坡口焊缝用于角接头, 则对焊接头必须在未作坡口处理的平头面的平面中设置一临时限位板, 以模仿 T 形接头形状。

注: 对管材直径的评定见表 10.2。

表 10.4
工艺评定 — 试验数量和类型及评定的厚度范围 — 角焊缝^a

试样	角焊缝尺寸	每个工艺要求的焊缝数量	试样				评定的尺寸	
			宏观腐蚀 (10.6.3) (10.8.2)	全焊缝金属拉伸试样（见图 10.12）	侧弯（见图 10.13）	板材厚度	角焊缝尺寸	
板材 T 形接头 ^a （图 10.15）	单道焊，结构中所用的最大尺寸	每一位置用一条焊缝	3 个面	—	—	无限制	等于或小于所试的最大单道焊道的尺寸	
	多道焊，结构中所用的最大尺寸	每一位置用一条焊缝	3 个面	—	—	无限制	等于或大于所试的最大多道焊道的尺寸	
管材 T 形接头 ^b （图 10.17）	单道焊，结构中所用的最大尺寸	每一位置用一条焊缝（见表 10.4）	3 个面(除 4F 和 5F 需要 4 个面)	—	—	无限制	等于或小于所试的最大单道焊道的尺寸	
	多道焊，结构中所用的最大尺寸	每一位置用一条焊缝（见表 10.4）	3 个面(除 4F 和 5F 需要 4 个面)	—	—	无限制	等于或大于所试的最大多道焊道的尺寸	
坡口焊缝 ^c （图 10.16）（带熔合金属衬垫）		1G 位置用一条焊缝	—	1	2	评定上述 T 形接头试验所用的焊接材料		

^a 所有焊接试样必须经过目检 (见 10.9.5/10.9.6)。

^b 对管材直径的评定见表 10.2。

^c 若所用焊接材料不符合 8.1.1 中的免除评定的条款要求, 并且计划采用的焊接材料尚未按照 10.6.1 或 10.6.2 的要求通过评定时, 则必须按照 10.6.1 的要求焊接一块接头完全熔透坡口焊缝试验板材。

表 10.5
工艺评定类型和位置限制

评定试验		评定的焊缝类型和焊接位置 ^a			
		板材		管材	
焊缝	板材和管材的位置 ^b	坡口焊缝	角焊缝	坡口焊缝	角焊缝
板材-接头完全熔透坡口焊缝	1G	F	F	F ^c	F ^c
	2G	F, H	F, H	F, H ^c	F, H ^c
	3G ^e	V	V		
	4G	OH	OH		
板材 — 角焊缝	1F		F		F ^c
	2F		F, H		F, H ^c
	3F ^e		V		V ^c
	4F		OH		OH ^c
管材-坡口焊缝	1G	F	F	F	F
	2G	F, H	F, H	F, H	F, H
	5G ^e	F, V, OH	F, V, OH	F, H, OH	F, V, OH
	6G ^e	全部	全部	全部	全部
管材-角焊缝	1F		F		F
	2F		F, H		F, H
	2FR		F, H		F, H ^d
	4F		F, H, OH		F, H, OH
	5F ^e		全部		全部

^a 焊接位置: F = 平焊, H = 横焊, V = 立焊, OH = 仰焊 (见图 10.1 和 10.2)。

^b 见图 10.3、10.4、10.5 和 10.6。

^c 用于直径为 24 in [600 mm] 以上的焊接管材的评定。

^d 仅用于可转动管材上的横焊角焊缝的评定。

^e 在立焊中, 任何从上至下或从下至上的焊道规定方向发生改变都应当进行单独的评定试验。

表 10.6
铝合金的焊态强度 (GTAW 或 GMAW)

母材编号 M	合金和回火	产品	厚度, in. [mm]	最小抗拉强度, ksi [MPa]
21	1060-0 H12, H14, H18, H112, H113, F	薄板和板材	1/8–3 [3–76]	8 [55]
		挤压件	全部	8.5 [59]
21	1100-0, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H112, H113, F	全部	1/8–3 [3–76]	11 [76]
21	3003-0, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H112, H113, F	全部	1/8–3 [3–76]	14 [97]
		管材	全部	13 [90]
21	Alclad 3003-0, H12, H14	薄板和板材	1/8–1/2 [3–13]	13 [90]
		板材	1/2–3 [13–76]	14 [97]
22	3004-0, H32, H34, H36, H38, H112, F	全部	1/8–3 [3–76]	22 [152]
22	Alclad 3004-0, H32, H34	薄板和板材	1/8–1/2 [3–13]	21 [145]
		板材	1/2–3 [13–76]	22 [152]
21	5005-0, H12, H14, H16, H18, H32, H34, H36, H38, H112, F	全部	1/8–3 [3–76]	15 [103]
21	5050-0, H32, H34, H36, H38, H112, F	全部	1/8–3 [3–76]	18 [124]
22	5052-0, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38, H112, F	全部	1/8–3 [3–76]	25 [172]
	5083-0, H111, H112	锻件	4 [102] 及以内	38 [262]
	5083-0, H111, H112, F	挤压件	5 [127] 及以内	39 [269]
	5083-0, H112, H116, H321F	薄板和板材	1/8–1-1/2 [3–38]	40 [276]
		板材	<1-1/2–3 [38–76]	39 [269]
25	5083-0, F	板材	<3–5 [76–127]	38 [262]
		板材	<5–7 [127–178]	37 [255]
		板材	<7–8 [178–203]	36 [248]
25	5086-0, H32, H34, H36, H38, H111, H112, H116, F	全部	1/8–2 [3–51]	35 [241]
	5086-0, H111, H112, F	挤压件	<2–5 [51–127]	35 [241]
		板材	<2–3 [51–76]	34 [235]
22	5154-0, H32, H34, H36, H38, H112, F	全部	1/8–3 [3–76]	30 [207]
22	5254-0, H32, H34, H36, H38, H112, F	全部	1/8–3 [3–76]	30 [207]
22	5454-0, H32, H34, H111, H112, F	全部	1/8–3 [3–76]	31 [214]
23	6061-T4, T42, T451, T51, T6, T62, T651, F	全部	1/8–3 [3–76]	24 [166]
	6061-T6, T651	板材和锻件	<3–4 [17–102]	24 [166]
	6061-T651	板材	<4–6 [102–152]	24 [166]
	6061-T6	锻件	<4–8 [102–203]	24 [166]

(续)

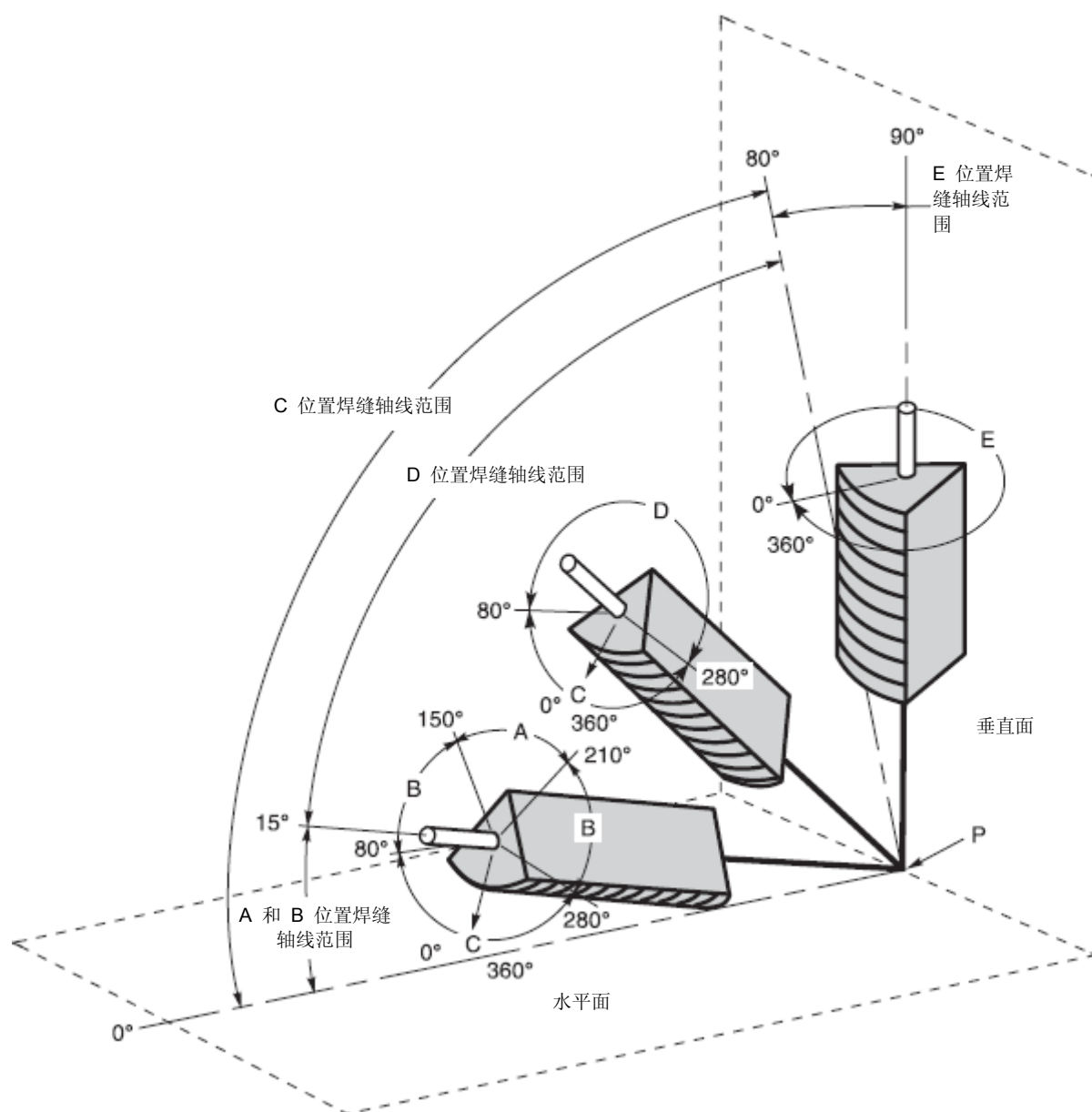
表 10.6 (续)
铝合金的焊态强度 (GTAW 或 GMAW)

母材编号 M	合金和回火	产品	厚度, in. [mm]	最小抗拉强度, ksi [MPa]
23	Alclad 6061-T4, T42, T451, T6, T62, T65, F	薄板和板材	1/8-3 [3-76]	24 [166]
	Alclad 6061-T62, T651	板材	<3-5 [17-127]	24 [166]
23	6063-T4, T42, T5, T52, T6, T62, T83, T831, T832	挤压件	1 [25] 及以下	17 [117]
23	6005-T5	挤压件	1 [25] 及以下	24 [166]
23	6351-T4, T5, T51, T53, T54, T6	挤压件	1 [25] 及以下	24 [166]
25	5456-0, H112, H116, H321, F	薄板和板材	1/8-1-1/2 [3-38]	42 [290]
		板材	<1-1/2-3 [38-76]	41 [283]
	5456-0, H116, F	板材	<3-5 [76-127]	40 [276]
		板材	<5-7 [127-178]	39 [269]
		板材	<7-8 [178-203]	38 [262]
26	356.0-T51, T6, T7, T71	铸件	全部	23 [159]
26	443.0-F	铸件	全部	17 [117]
26	A444.0-T4	铸件	全部	17 [117]
	514.0-F	铸件	全部	22 [152]
	535.0-F	铸件	全部	35 [241]
27	7005-T53	挤压件	1/8-1 [3-25]	40 [276]

注:

1. 应按 M23 材料进行试验。
2. 特殊弯曲试验要求。

坡口焊缝位置表			
位置	图中代号	轴线倾角	面旋转角
平焊	A	0° 至 15°	150° 至 210°
横焊	B	0° 至 15°	80° 至 150° 210° 至 280°
仰焊	C	0° 至 80°	0° 至 80° 280° 至 360°
立焊	D	15° 至 80°	80° 至 280°
	E	80° 至 90°	0° 至 360°



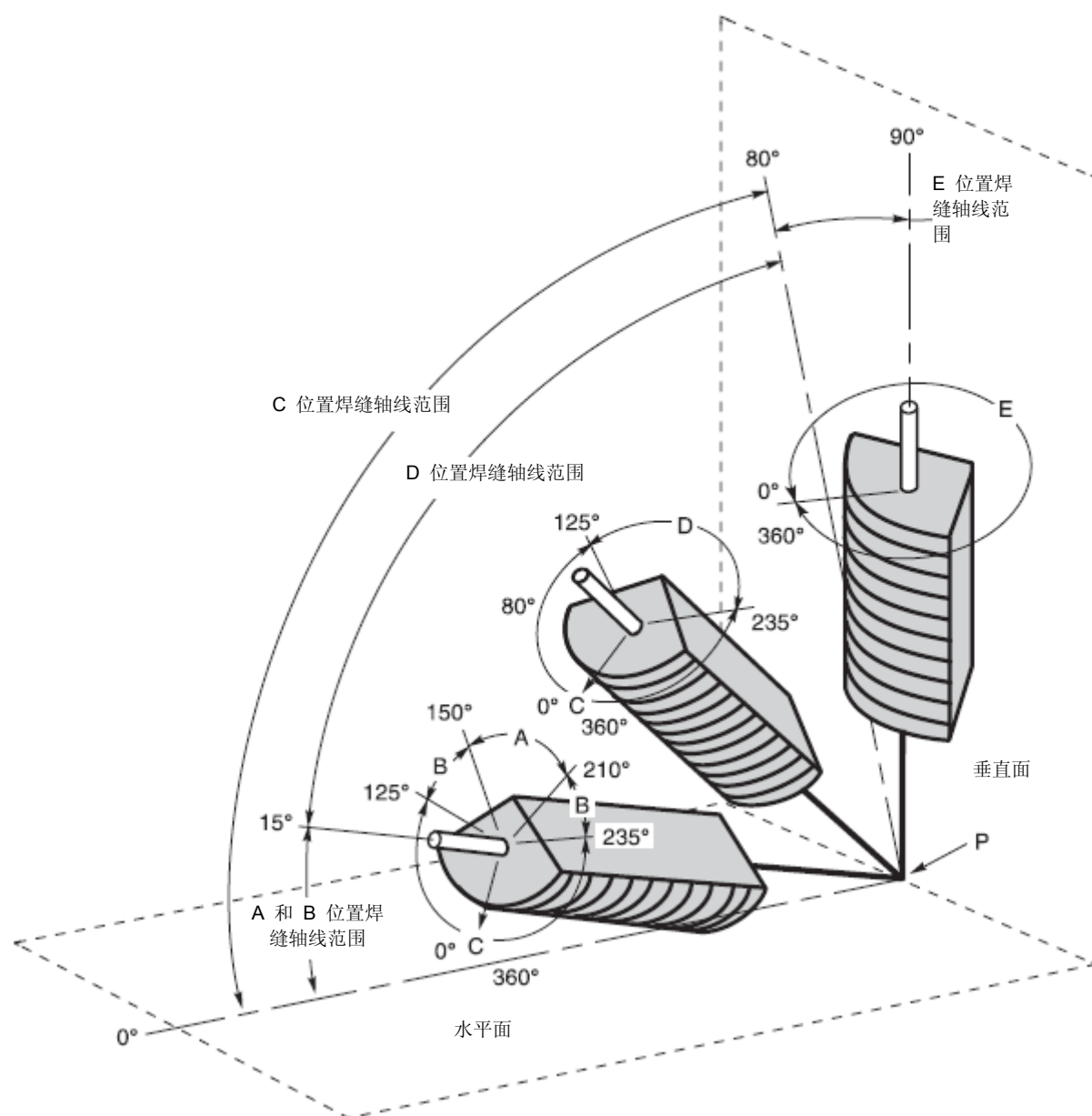
注:

1. 始终在焊缝下取水平参考面。
2. 轴线倾角从水平参考面向垂直参考面进行测量。
3. 面旋转角是由一条垂直于焊缝理论面的直线决定，焊缝理论面通过焊缝轴线。面转动角的参考位置 (0°) 始终指向与使纵轴角增加相反的方向。当看向 P 点时，焊缝表面的转动角是从参考点 (0°) 顺时针方向进行测量。

来源: 来源于 AWS A3.0M/A3.0:2010 标准焊接术语和定义图 B.16A, 美国焊接协会。

图 10.1 — 坡口焊缝的位置

角焊缝位置表			
位置	图中代号	轴线倾角	面旋转角
平焊	A	0° 至 15°	150° 至 210°
横焊	B	0° 至 15°	125° 至 150° 210° 至 235°
仰焊	C	0° 至 80°	0° 至 125° 235° 至 360°
立焊	D	15° 至 80°	125° 至 235°
	E	80° 至 90°	0° 至 360°



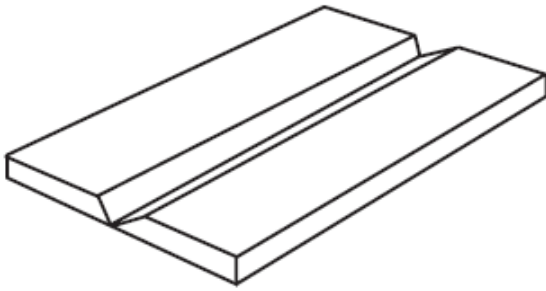
注:

1. 始终在焊缝下取水平参考面。
2. 轴线倾角从水平参考面向垂直参考面进行测量。
3. 面旋转角是由一条垂直于焊缝理论面的直线决定，焊缝理论面通过焊缝轴线。面转动角的参考位置 (0°) 始终指向与使纵轴角增加相反的方向。当看向 P 点时，焊缝表面的转动角是从参考点 (0°) 顺时针方向进行测量。

来源: 来源于 AWS A3.0M/A3.0:2010 标准焊接术语和定义图 B.16B, 美国焊接协会。

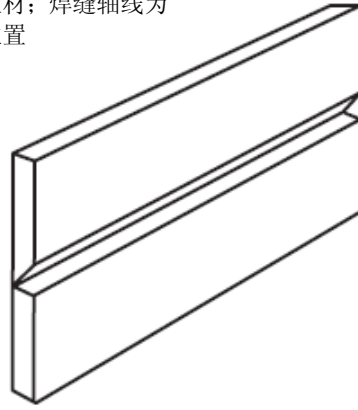
图 10.2 — 角焊缝位置

水平板材



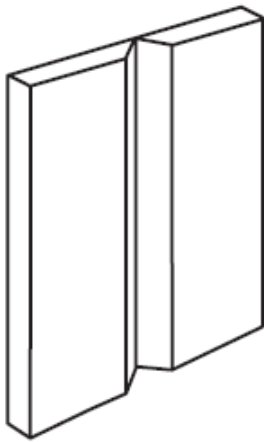
(A) 试验位置 1G

垂直板材；焊缝轴线为
水平位置



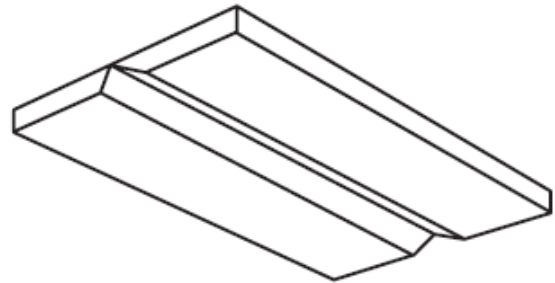
(B) 试验位置 2G

垂直板材；焊缝轴线为
垂直位置



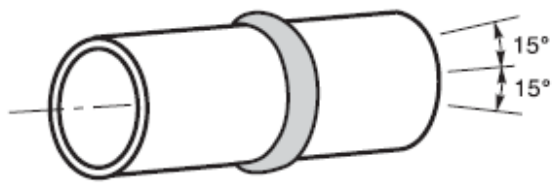
(C) 试验位置 3G

水平板材



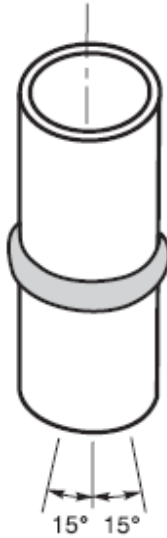
(D) 试验位置 4G

图 10.3 — 坡口焊缝试验板材位置



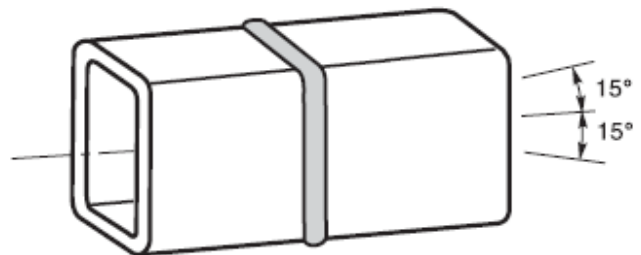
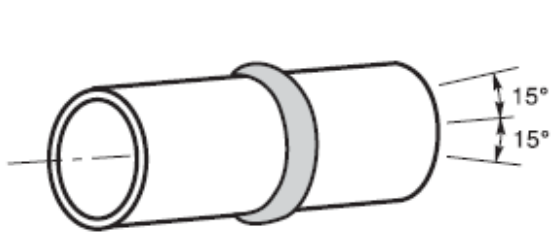
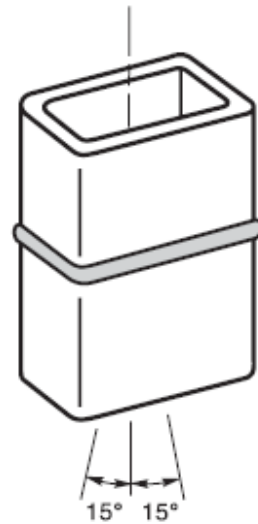
管材水平放置，转动。平焊焊缝 ($\pm 15^\circ$)。顶部或顶部附近的堆焊角焊金属

(A) 试验位置 1G



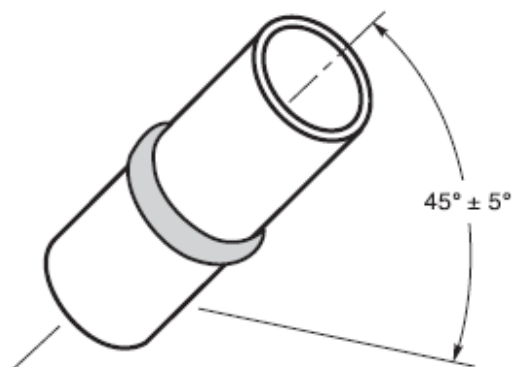
垂直管材，在焊接过程中未转动。水平焊缝 ($\pm 15^\circ$)。

(B) 试验位置 2G



水平固定管材 ($\pm 15^\circ$)，在焊接过程中未转动。平焊、立焊、仰焊。

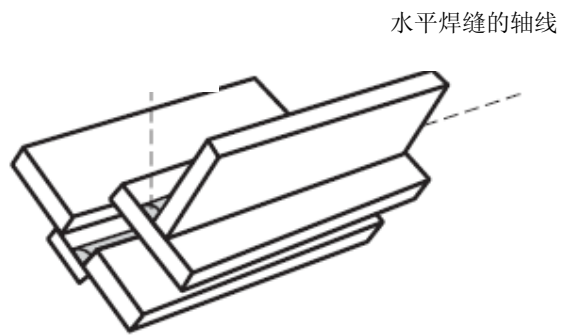
(C) 试验位置 3G



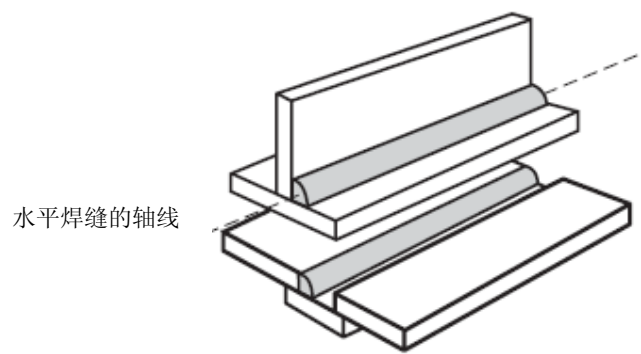
以倾角 ($45^\circ \pm 5^\circ$) 固定管材，在焊接过程中未转动。

(D) 试验位置 4G

图 10.4 — 管材坡口焊缝试验位置

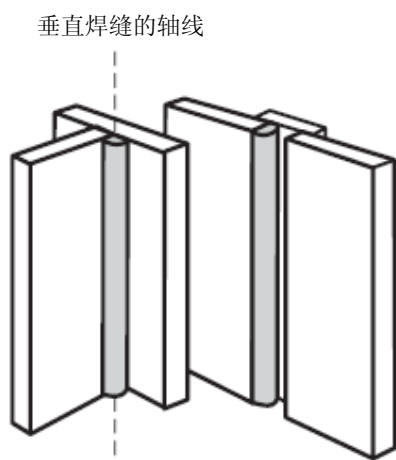


(A) 平焊位置 1F

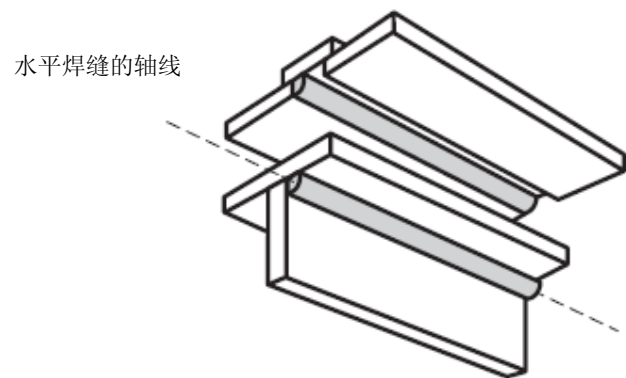


注：一块板必须水平放置

(B) 水平位置 2F



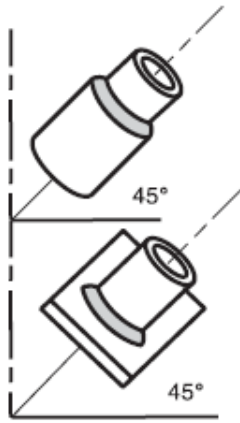
(C) 垂直位置 3F



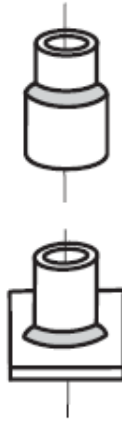
注：一块板必须水平放置

(D) 仰焊位置 4F

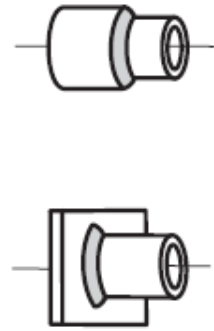
图 10.5 — 角焊缝试验位置（板材）



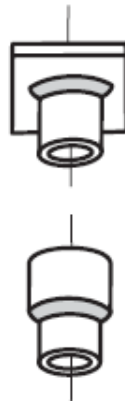
(A) 平焊试验位置 1F (转动)



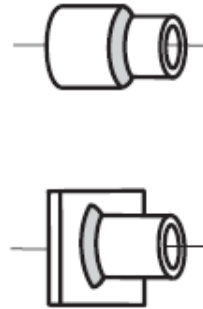
(B) 横焊试验位置 2F (固定)



(C) 横焊试验位置 2F (转动)



(D) 仰焊试验位置 4F (固定)



(E) 复合施焊位置试验位置
5F (固定)

图 10.6 — 角焊缝试验位置 (管材)

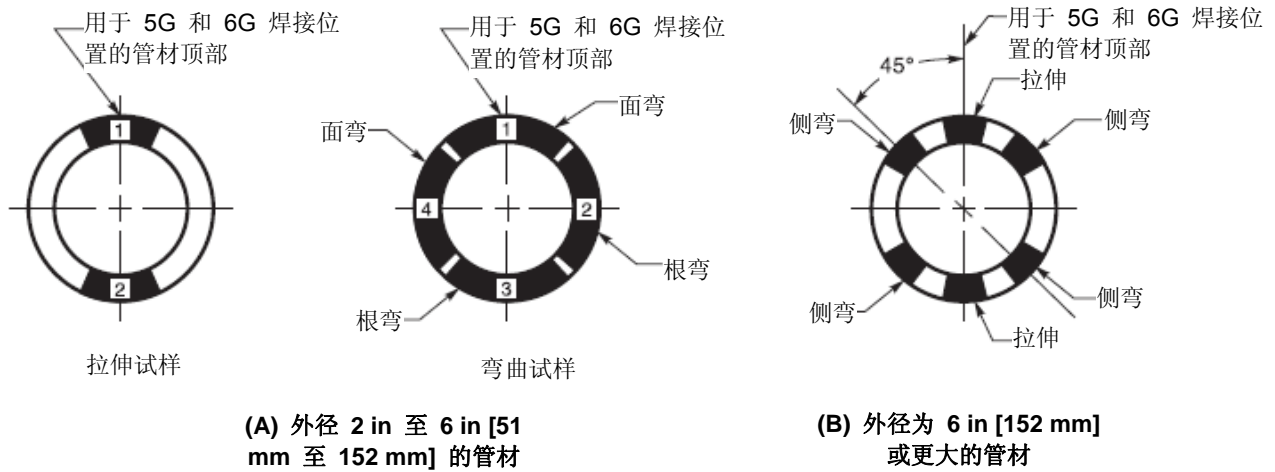


图 10.7 — 焊接试管上的试样位置

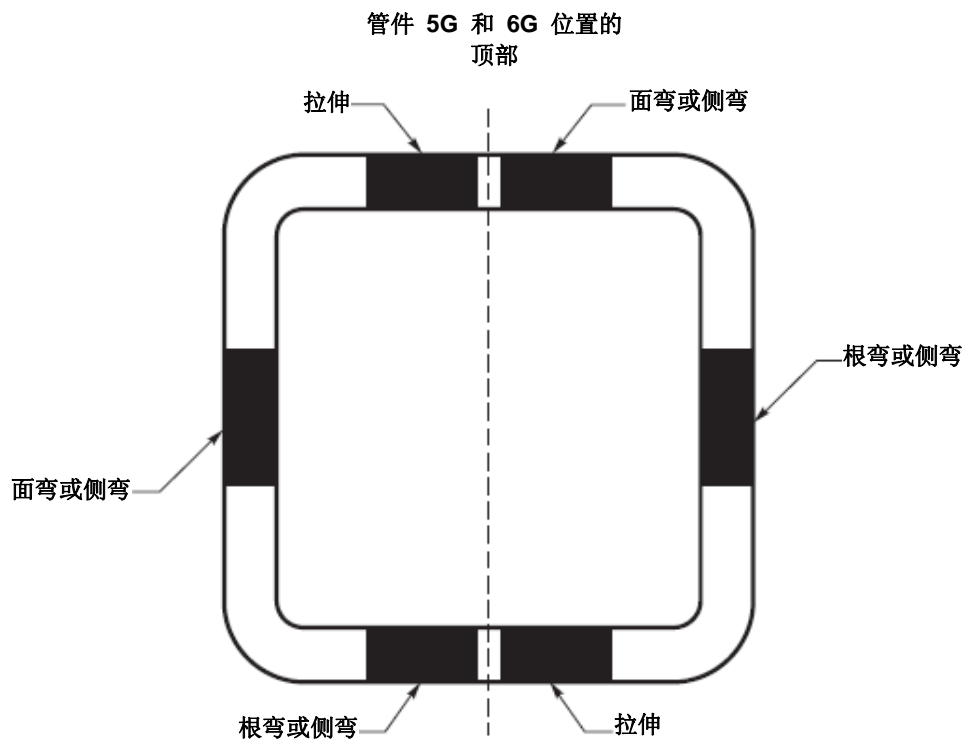
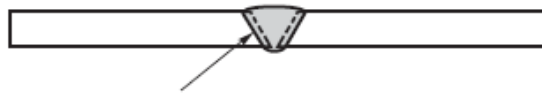
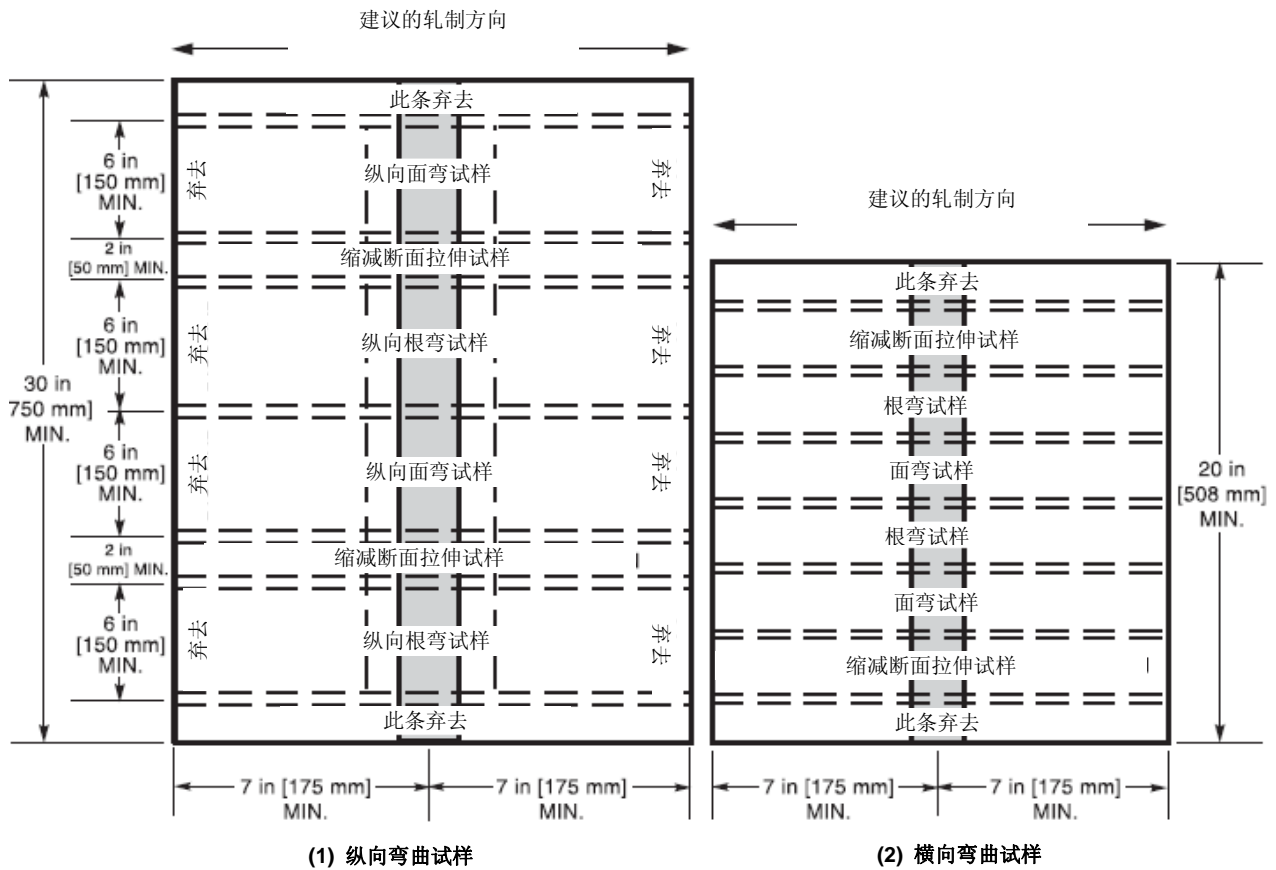
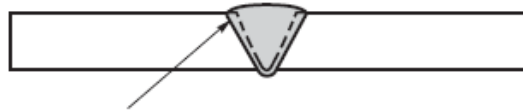
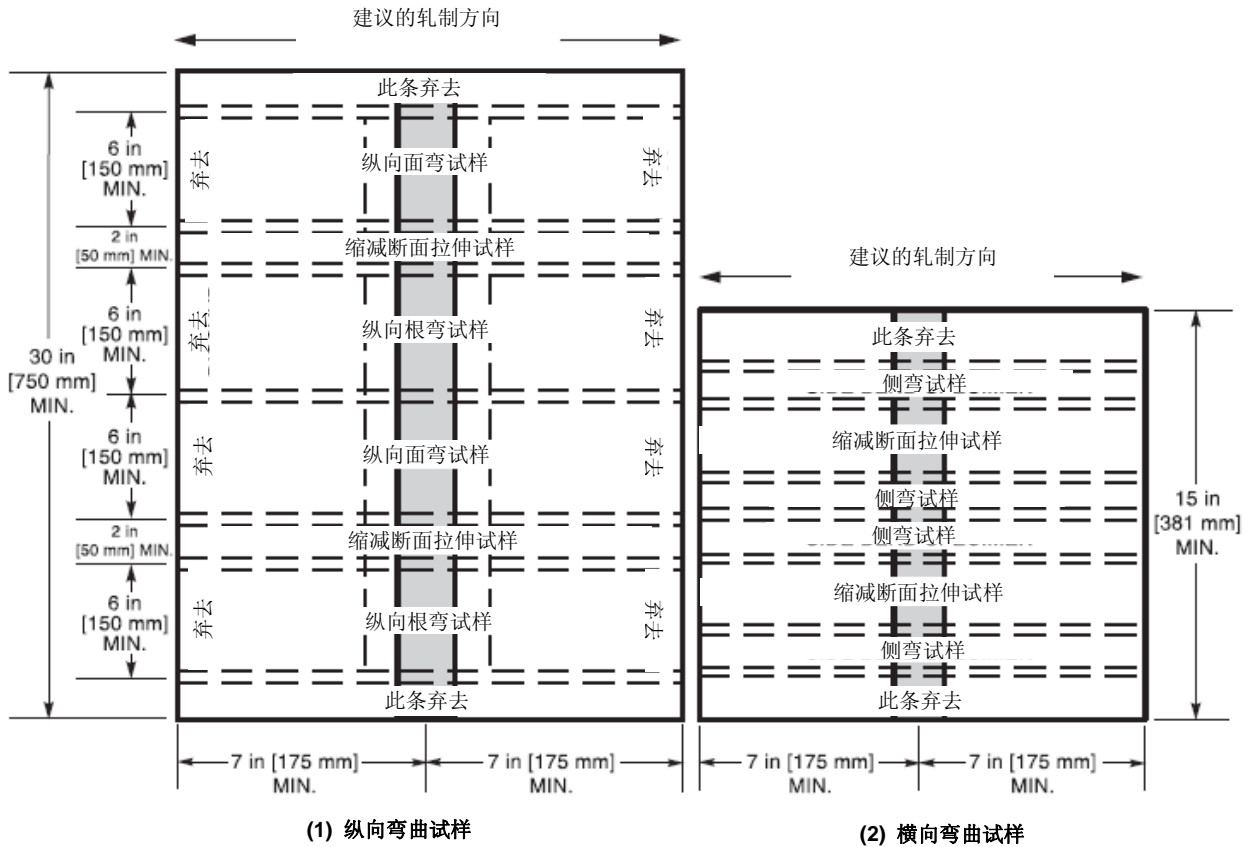


图 10.8 — 焊接方管上的试样位置



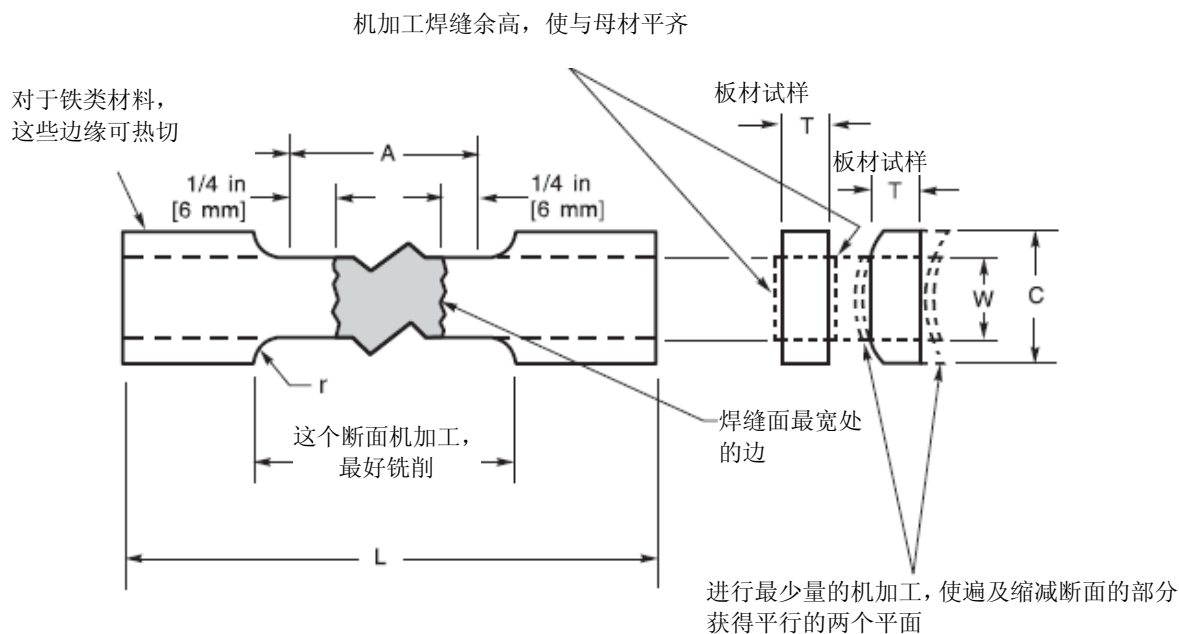
此处所示坡口形状仅用于对本图的说明。
试板的坡口形状必须符合正待评定的用于生产的坡口形状。

图 10.9 — 工艺评定 — 厚度为 1/8 in 至 3/8 in [3 mm to 10 mm] (含) 的焊接试板上试样位置



此处所示坡口形状仅用于对本图的说明。试板的坡口形状必须符合正待评定的用于生产的坡口形状。

图 10.10 — 工艺评定 — 厚度超过 3/8 in [10 mm] 及以上的焊接试板上的试样位置



尺寸					
试验板材 in [mm]			试验管材 s, in [mm]		
$t \leq 1$ [$t \leq 25$]	$1 < t < 1\text{-}1/2$ [$25 < t < 38$]	$1\text{-}1/2$ [$t \geq 38$]	直径 6 和 8 直径 2 和 3 [51 [152 和 205] 及以 和 76] 上的工件管材		
A-- 缩减断面的长度			焊缝最宽处最小值 + 1/2. 2-1/4 [+13. 57]		
L-- 总长度最小值 ^b			按试验设备要求		
W- 缩减截面宽度 ^{c, d}			按试验设备要求		
$1\text{-}1/2 \pm 0.01$ [38 \pm 0.3]	1 ± 0.01 [25 \pm 0.3]	1 ± 0.01 [25 \pm 0.3]	$1/2 \pm 0.01$ [13 \pm 0.3]	$3/4 \pm 0.01$ [19 \pm 0.3]	
C-- 夹紧段宽度 ^{d, e}			约 1[25] 约 1-1/4 [31]		
2 [51]	$1\text{-}1/2$ [38]	$1\text{-}1/2$ [38]			
T-- 试样厚度 ^{f, g}			在长度 A 范围内两平行平面的最大可能的厚度		
t^a	t^a	t/n^g			
r-- 转角处最小半径			1 in [25] 1 in [25]		
$1/2$ [13]	$1/2$ [13]	$1/2$ [13]			

^a t = 试板或管材厚度。

^b 如有可能，称心的情况是夹持段足够长，以使试样伸进夹头中的长度为夹持头长度的 2/3 或更长。

^c 缩减截面中的两个端部的宽度差不得超过 0.004 in [0.1 mm]，或者宽度同时由两端向中部逐渐减少，但是任何一个端部的宽度都不得比中部的宽度大 0.015 in [0.4 mm] 英寸。

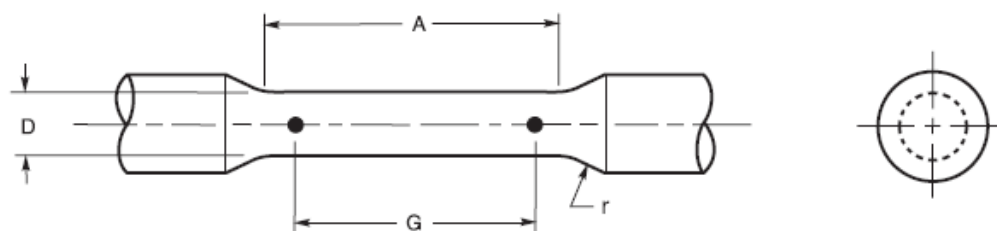
^d 如有需要，W 和 C 的宽度可以更窄些。在这种情况下，缩减断面的宽度应为被试材料所允许的宽度。如果材料宽度小于 W，则试样在全长范围内可两边平行。

^e 对标准板型试样，试样的端部必须对称于缩减截面的中心线，偏差在 0.25 in [6 mm] 以内，仲裁试验除外。在仲裁试验中，试样的端部必须对称于缩减截面的中心线，偏差在 0.10 in [2 mm] 以内。

^f 尺寸 t 为试样厚度，按适用的材料技术规范而定。除产品技术规定所允许以外，宽度为 1-1/2 in [38 mm] 的试样的最小标称厚度必须为 3/16 in [5 mm]。

^g 于对厚度超过 1-1/2 in [38 mm] 的试验板材，可以将试样切割成大致相等的最小数量 (n) 板条，每一根板条的厚度不超过 1-1/2 in [38 mm]。对每一板条进行试验并平均结果。

图 10.11 — 缩减断面拉伸试样



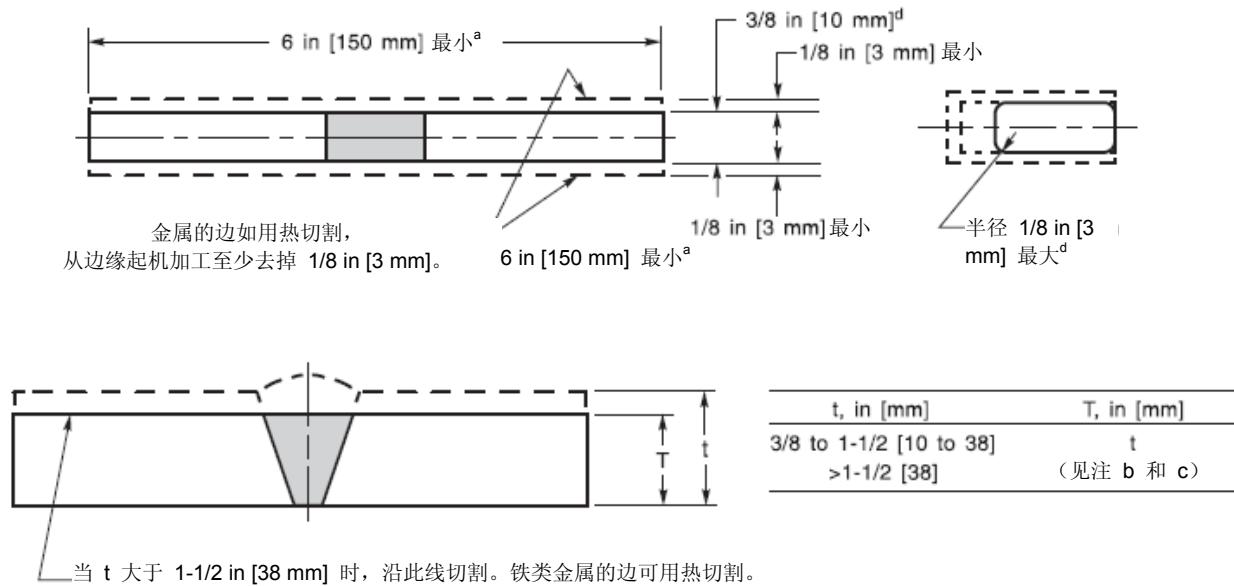
尺寸, in [mm]			
标称直径	标准试样	与标准试样成比例的小尺寸试样	
	0.500 [0.1], 圆形	0.350 [9], 圆形	0.250 [6], 圆形
G — 标距长度 ^a	2.000 ± 0.005 [50 ± 0.1]	1.400 ± 0.005 [35 ± 0.1]	1.000 ± 0.005 [25 ± 0.1]
D — 直径 ^b	0.500 ± 0.010 [0.1 ± 0.3]	0.350 ± 0.007 [9.0 ± 0.2]	0.250 ± 0.005 [6 ± 0.1]
r — 转角处最小半径	3/8 [10]	1/4 [6]	3/16 [5]
A — 缩减断面的长度最小值 ^{bc}	2-1/4 [58]	1-3/4 [44]	1-1/4 [32]

^a 标距长度和小圆角必须如图所示，而两端可为适应于试验机夹具的任何形状，但必须使荷载呈轴向。如端部由楔式夹钳夹持，最好使夹持部分足够长，以便试样伸进夹钳中的长度为夹钳长度的 2/3 或更长。

^b 缩减断面段可以由两端向中间呈平缓的斜坡，两端直径大于中间部位直径不超过 1%（控制尺寸）。

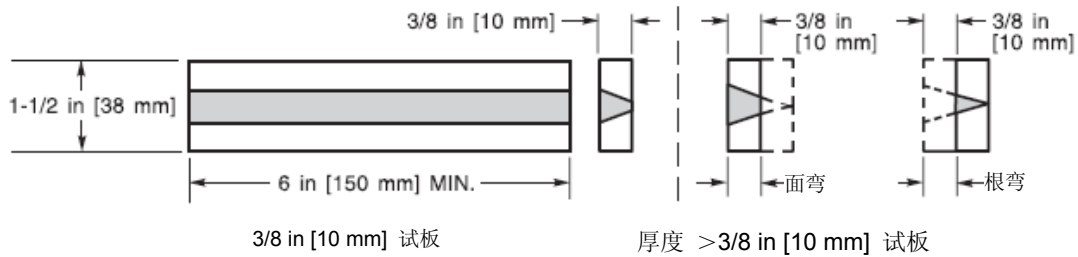
^c 若需要，缩减断面段的长度可以加长，以适应任何适于测量标距长度的伸长仪。测量伸长率用的基准标记仍应按指定的标距长度安排。

图 10.12 — 全焊缝金属拉伸试样

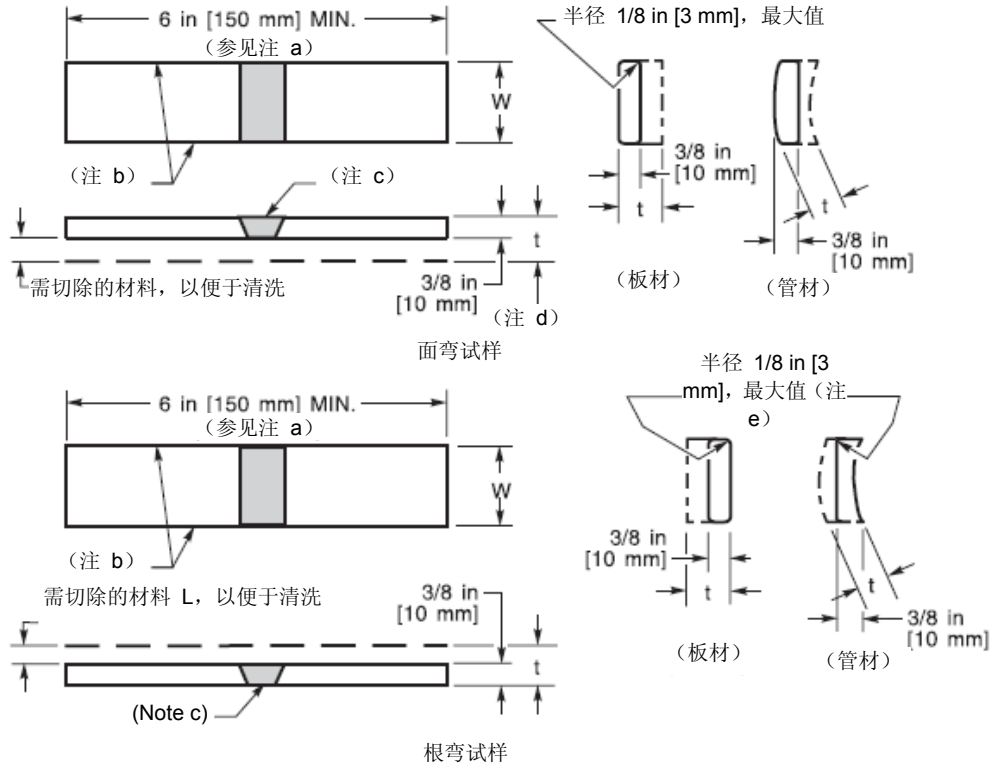


- ^a 当使用卷绕式弯曲装置或当试验钢材的屈服强度等于或大于 90 ksi [620 MPa] 时，试样应更长。
- ^b 对厚度超过 1-1/2 in [38 mm] 的试板，可将试样切割成大致相等的板条，其 T 在 3/4 in 和 1-1/2 in [19 mm 和 38 mm] 之间，并对每根板条作试验。
- ^c t = 板材或管材厚度。
- ^d M23 材料为 1/8 in [3 mm] 厚，所有焊缝采用 F23 焊缝金属。这些试样上的角半径最小为 1/16 in [2 mm] 。

图 10.13 — 侧弯试样



(A) 纵向弯曲试样



(B) 横向弯曲试样

尺寸	
试验焊件	试样宽度 (W) in [mm]
板材	1-1/2 [38]
试验管材直径为 2 in 和 3 in [51 mm 和 76 mm]	1 [25]
试验管材直径为 6 in 和 8 in [152 mm 和 203 mm]	1-1/2 [38]

母材厚度 in [mm]	T, in [mm]	
	M -No. 23, F-No. 23	所有其他金属
1/8-3/8 [3-10]	1/8 [3]	1
>3/8 [10]	1/8 [3]	3/8 [10]

^a 当使用卷绕式弯曲装置或当试验钢材的屈服强度等于或大于 90 ksi [620 MPa] 时, 试样应更长。

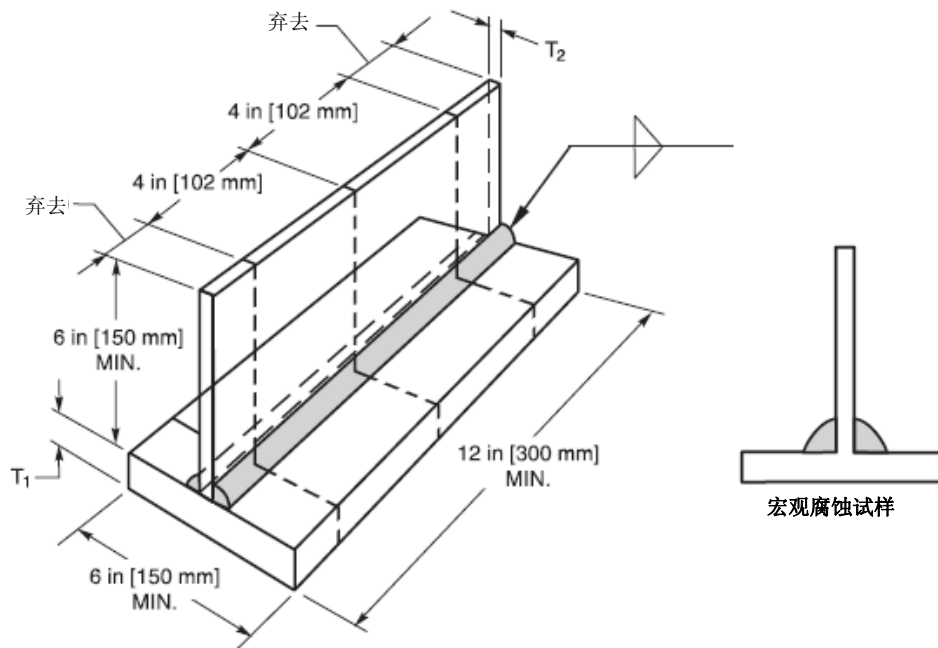
^b 此边可氧气切割或等离子切割, 用或不用机加工均可。

^c 焊缝余高和衬垫 (如有) 应进行机械移除, 使与试样表面平齐。如采用凹形衬垫, 可用机加工除去衬垫, 加工量不超过凹槽深; 在这种情况下, 完工试样的厚度必须为上述规定的厚度。切割的表面必须光滑且平行。

^d t = 板材或管材厚度。

^e 对 $T \leq 1/4$ in [6 mm], $R = 1/2T$ 为最大值

图 10.14 — 面弯和根弯试样



焊缝尺寸 in [mm]	T ₁ , 最小值 ^a in [mm]	T ₂ , 最小值 ^a in [mm]
3/16 [5]	1/2 [13]	3/16 [5]
1/4 [6]	3/4 [19]	1/4 [6]
5/16 [8]	1 [25]	5/16 [8]
3/8 [10]	1 [25]	3/8 [10]
1/2 [13]	1 [25]	1/2 [13]
5/8 [16]	1 [25]	5/8 [16]
3/4 [19]	1 [25]	3/4 [19]
>3/4 [19]	1 [25]	>3/4 [19]

^a 如生产中所用的最大板材厚度小于表中所示值, 可用生产中的最厚的板替代 T1 和 T2。

图 10.15 — 工艺评定用角焊缝完好性试验

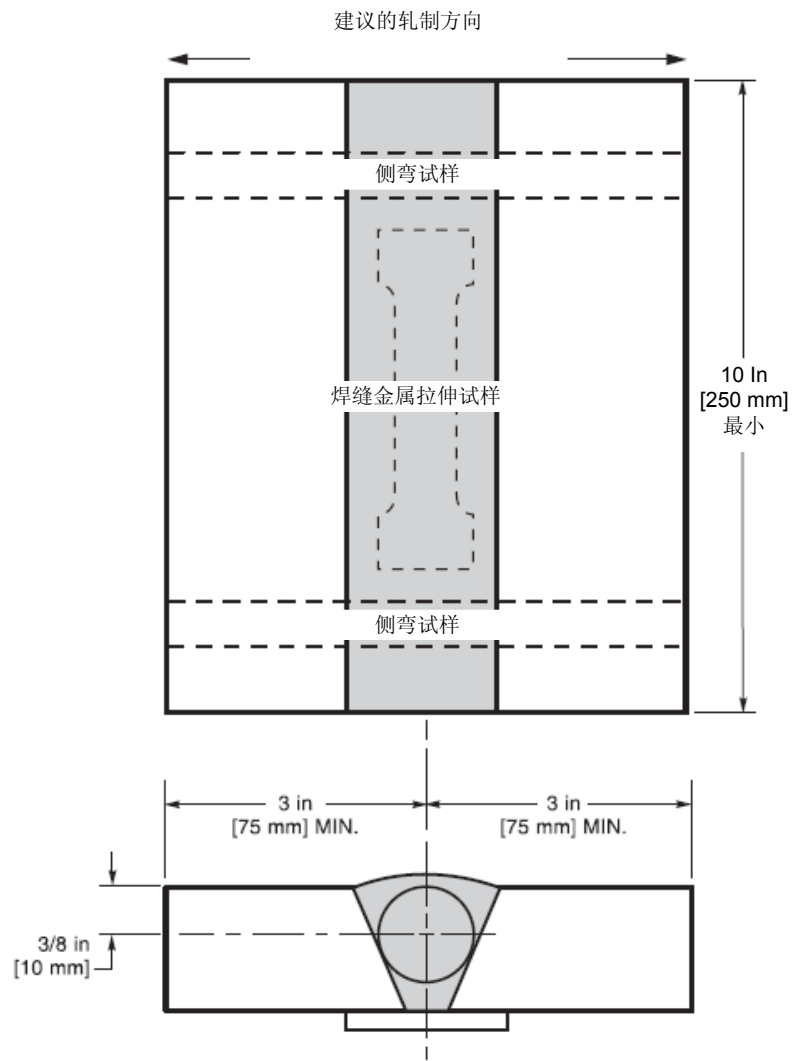
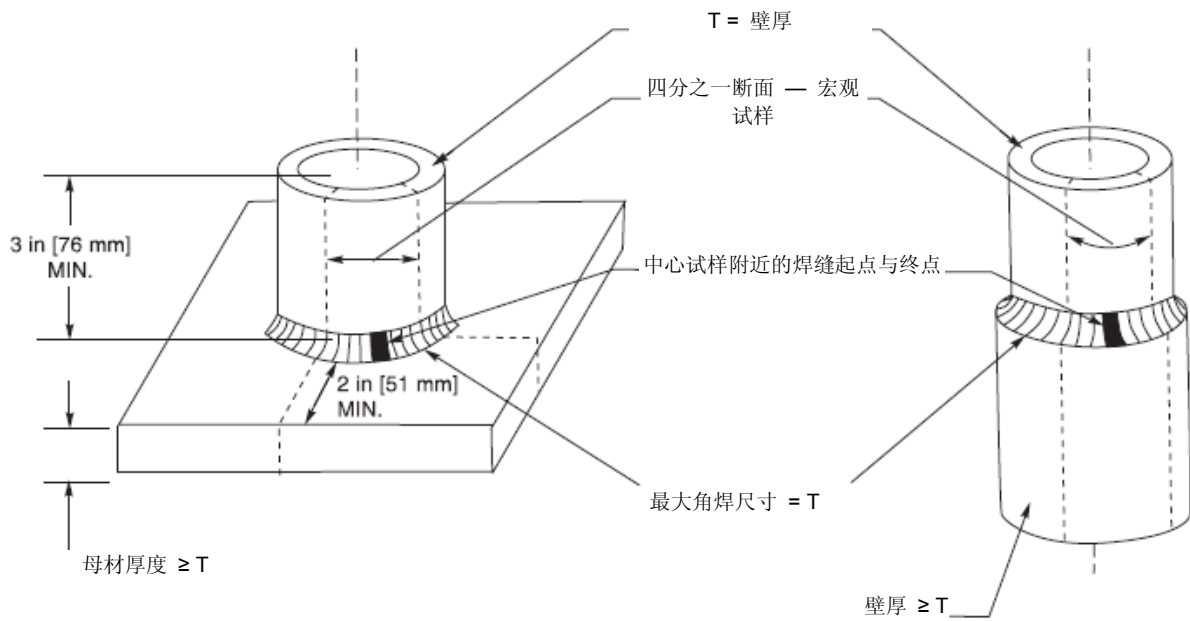


图 10.16 — 厚度 1 in [25 mm] 焊接试板上的试样位置 — 角焊缝工艺评定时验证焊接耗材用



注:

1. 有关位置要求, 参见表 10.4。
2. 需要的试样数量和类型见表 10.3。
3. 管壁必须有足够厚度以防焊穿。
4. 如下所示, 可使用板至板或管至管焊接。

图 10.17 — 工艺评定用管材角焊缝完好性试验

11. 焊工资格评定

11.1 概述

本条款中所规定的资格评定试验是专门用于确定焊工完成质量良好的焊接工作的能力。这些评定试验不得在实际工作中作为焊接指南。后者（实际工作）中应根据焊接工艺规程中的要求来执行焊接工作。

11.2 变量范围

表 11.1 中限制的任何更改应要求进行独立评定。

11.2.1 焊工应就所采用的各程序进行资格评定。

11.2.1.1 GMAW-S（短路模式）视为独立程序。

11.2.1.2 在与 12.2 中主要变量相同的情况下，并假设有足够的证据证明焊工已接受培训并已证明其具有合格的制品焊接能力，使用 GMAW、FCAW 或 GTAW 的合格焊工应视为可顺利完成相同的程序中的焊接操作。

11.3 要求的评定试验

11.3.1 板材和结构型材

11.3.1.1 手工焊接和半自动焊接的焊工资格评定试验应如下所示：

- (1) 11.4 要求的板材坡口焊缝评定试验
- (2) 11.6.1 要求的角焊缝评定试验

11.3.1.2 按照 10.6.1 的要求，完成一根符合 10.9 的要求的焊接工艺评定试验板材，焊工就可以通过评定。

11.3.2 圆管或方管

11.3.2.1 手工焊接和半自动焊接的焊工资格评定试验应如下所示：

- (1) 11.5 要求的圆管或方管对接接头的坡口焊缝评定试验
- (2) 11.4 要求的板材对接接头的坡口焊缝评定试验
- (3) 11.6.2 要求的角焊缝评定试验

11.3.2.2 按照 10.6.1 的要求，完成一根符合 10.9 的要求的焊接工艺评定管材（无衬垫），焊工就可以通过评定。焊工因此获得以该方法在工艺评定的试验位置焊接管材的资格。焊工具有资格的管材直径和厚度范围应按照表 11.3(2) 的规定。

11.4 板材的坡口焊缝资格评定试验

图 11.1 至 11.4 给出了坡口焊缝接头的建议设计图。也可采用其他接口设计。

11.5 圆管或方管的坡口焊缝评定试验

图 11.5 和 11.6 给出了接头细节。也可采用其他接口设计。

11.6 角焊缝评定试验（仅对角焊缝而言）

11.6.1 板材和结构型材。角焊缝的焊接资格评定，只需达到以下要求：

11.6.1.1 对于二面角 (Ψ) 小于 60° 的焊件之间的角焊缝，如图 5.4(A)，焊工应按 11.4 的

要求焊接一块坡口焊缝试验板材。这一评定对二面角 (Ψ) 不小于 60° 的接头也适用。

11.6.1.2 对于 60° (含) 以上, 但不超过 135° 的二面角 (Ψ) 接头, 焊工应根据合同商的选择, 按选项 1 或选项 2 的要求焊接一块, 如下所示:

- (1) 选项 1。按照图 11.7 焊接一块试验板材。
- (2) 选项 2。按照图 11.8 焊接一块完好性试验组件。

11.6.2 管材

角焊缝的焊接资格评定, 只需达到以下要求:

11.6.2.1 对于二面角 (Ψ) 小于 60° 的接头的角焊缝, 应按 11.5 的要求进行评定。这一评定对二面角 (Ψ) 不小于 60° 的接头也适用。

11.6.2.2 对于二面角 (Ψ) 在 60° (含) 以上的接头, 焊工应按照图 11.9 的要求焊接试验管材。

11.7 试验焊缝位置 (见表 11.4)

11.7.1 需要的试验组件及位置。表 11.4 通过试验组件和标准试验位置说明了试验类型。必须以这些试验类型来评定焊工在板材, 管材或箱形管的实际焊接中采用的组件类型和位置的操作资格。

11.7.2 标准位置。有关定义见 10.4。

11.7.3 特殊方向。在特殊方向上进行焊接的制造商, 可以为特定方向上的工作评定制作试验组件。除下面的情况外, 这样的评定只适用于实际进行过试验的位置:

11.8 母材

使用的母材应符合焊接工艺规程的要求。

11.9 接头焊接工艺规程

焊工应遵守与本文要求相一致的合格的焊接工艺规程的要求。待焊接位置通过评定后, 应在相同位置进行焊缝清洁。

11.10 试样

11.10.1 图 11.3 给出了以机械试验评定焊工是否合格而必须进行试验的试样的类型和数量, 还有在进行评定时使用的试验板材或管材的厚度范围。除了采用 GMAW (气体保护电弧焊, 短路过渡) 的焊接接头外, 根据合同商的选择可以用试验焊缝的射线照相试验代替机械试验。

11.10.2 按照图 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.8, 11.9 和 11.10 中所示, 切割试验板材或管材制作导向弯曲试样, 并且尽量使试样的截面成方形。根据图 10.13 或 10.14 中的相应要求使试样做好试验的准备。应遵循 11.11.1 中的试验方法。

11.10.3 按照图 11.7 的要求从试验组件上切割角焊缝破断试样和宏观腐蚀试样。

11.10.4 如果用射线照相试验代替规定的弯曲试验, 不必为了检查而将焊缝余高打磨光滑, 除非它的表面不规则或与母材的结合点会导致焊缝不连续性 (缺陷) 在射线照片中模糊不清。如果衬垫因射线照射而拆除, 应将根部打磨至与母材平齐。

11.11 试样的试验方法

11.11.1 根部弯曲试样, 焊缝面弯曲试样和侧面弯曲试样。使用轮廓如图 11.11, 11.12 或 11.13 中所示的装置来弯曲各个试样。装置的其他部分应完全符合相应图的要求。可采用任

何方便的方式移动与模体相关的压头。

11.11.1.1 将试样置于夹具的模体上，焊缝位于跨度中部。焊缝面弯曲试样的放置，应使焊缝面朝缺口方向。根部弯曲试样和角焊缝完好性试样的放置，应使焊缝根部朝缺口方向。侧面弯曲试样的放置，应使较大不连续性（缺陷）的那个面（如有的话）朝缺口方向。

11.11.1.2 压头用力使试样进入模体，直至试样成 U 形。试验后，焊缝和热影响区 (HAZ) 应在中心位置，并且完全在试样弯曲部分内。

11.11.1.3 若使用卷绕式弯曲装置（图 11.12），应将试样的一端牢牢夹住，防止它在弯曲过程中滑动。试验后，焊缝和热影响区应在中心位置，并且完全在试样弯曲部分内。当外滚筒自起始点起转了 180°，将试样从装置中取出。

11.11.2 角焊缝破断试验。对整个角焊缝进行目检，然后对 6 英寸 [150 mm] 长的试样加载，使焊缝根部处于受拉状态。试验区域内至少应有一个焊缝终点和起点。稳定地增加荷载，并重复进行，直至试样本身出现破断或弯曲。

11.11.3 宏观腐蚀试验。焊缝试样应有一个光面适合进行宏观腐蚀检查。使用适当的溶液侵蚀，使焊缝面轮廓清晰（详见附件 F）。

11.11.4 射线照相试验。射线照相试验工艺和技术应符合第 15 节的要求。板材试验中，将焊缝两端各 1-1/4 英寸 [32 mm] 长的部分排除在试验评估之外。对直径在 4 英寸 [102 mm] 及以上的焊接试验管材，应对至少一半的焊缝范围进行评定，此范围应包括所有焊缝位置。（比如，对 5G 或 6G 位置的焊接试验管材，应对焊缝的一面从顶部中心线到根部中心线进行射线照相试验。）对直径小于 4 英寸 [102 mm] 的焊接试验管材，应对整个管材 (100%) 进行射线照相试验。

11.12 要求的试验结果

11.12.1 目检。评定合格的焊缝试样应与表 17.1, 1 类的要求一致。

11.12.2 根部弯曲试验，焊缝面弯曲试验和侧面弯曲试验。应对弯曲试样的凸面进行目检，检查其不连续性（缺陷）。如果凸面没有超过以下尺寸的不连续性（缺陷），可认为通过评定：

11.12.2.1 1/8 英寸 [3 mm]，从表面任何方向上测量。

11.12.2.2 3/8 英寸 [10 mm] — 所有超过 1/32 英寸 [1 mm] 但不大于 1/8 英寸 [3 mm] 的不连续性（缺陷）的最大尺寸之和。

11.12.2.3 1/4 英寸 [6 mm] — 最大的角裂纹，除了当角裂纹是由看得见的焊渣或其他熔化性质的不连续性（缺陷）造成的时，应为 1/8 英寸 [3 mm]。角裂纹超过 1/4 英寸 [6 mm]、且不是由焊渣或其他熔化性质的不连续性（缺陷）造成的试样，应认为不合格。应使用新的试样更换原来做过试验的焊接件。

11.12.3 角焊缝破断试验。

11.12.3.1 为了通过目检，角焊缝的外观应相当整齐，没有焊瘤，裂纹和过多的咬边。焊缝表面不得有看得见的孔隙。

11.12.3.2 如果试样本身能平坦的弯曲，则通过试验。如果角焊缝破断，破断的表面应与接头根部完全熔合，并且没有大于 3/32 英寸 [2 mm] 的杂质或孔隙。在 6 英寸 [150 mm] 的试样上，所有杂质和孔隙的最大尺寸之和不得超过 3/8 英寸 [10 mm]。

11.12.4 宏观腐蚀试验。目检时，评定合格的宏观腐蚀试样应符合以下要求：

11.12.4.1 接头部分熔透坡口焊缝应有规定的有效焊缝尺寸。

11.12.4.2 角焊缝应熔合至接头根部，但不必超过根部。

11.12.4.3 最小的焊脚尺寸应满足规定的角焊缝尺寸的要求，但不得比规定值超过 1/8 英寸 [3 mm] 以上。

11.12.4.4 接头部分熔透坡口焊缝和角焊缝应满足以下条件：

- (1) 没有裂纹
- (2) 焊缝的相邻焊层之间及焊缝金属与母材之间必须完全熔焊
- (3) 焊缝外形与预期的情况一致，且没有图 6.2 禁止的变量值
- (4) 没有超过表 17.1 中 1 类允许范围的咬边

11.12.5 射线照相试验。经射线照相试验显示，评定的焊缝应与 17.3 的要求一致。

11.13 重新试验

如果焊接操作工没有达到一个或多个试验焊缝的要求，可以按照下述条件重新进行试验。

11.13.1 对焊工没能通过的焊缝类型，允许立刻进行每种两道焊缝的重新试验。所有重新试样均应满足规定的要求。

11.13.2 只要有证据表明焊接操作工接受了进一步培训或做了进一步练习，可以进行重新试验。这种情形下，应进行完整的重新试验（每种类型的一次试验焊缝）。

11.14 有效期

除非出现以下情况，否则本规范中要求的焊工的资格评定应被视为无限期有效：

11.14.1 焊工有 6 个月以上没有从事其雇主授予他资格的焊接工作。

11.14.1.1 在 11.14.1 中所规定的情况下，仅需对 3/8 英寸 [10 mm] 重新做资格评定试验。

11.14.2 存在质疑焊工能力的特殊原因。

11.15 记录

制造商应保存试验结果的记录，并供有关单位审查。

表 11.1
性能评定 — 基本变量限制

	焊工 ^{a, b}	焊接操作工	定位焊工
(1) 工艺 (GMAW-S 为单独工艺) 不合格	X	X	X
(2) 从黑色金属变更为有色金属或相反	X	X	
(3) 有色金属材料中 “M” 号发生变更 (涉及铝合金的更改除外)	X	X	X
(4) 高于 F 号 WPQR 焊条的 F 号 SMAW 焊条 (参见表 11.2)	X		X
(5) 如果焊条和防护介质组合不可用于评定测试的工艺	X	X	
(6) 位置不合格	X	X	X
(7) 直径或厚度不合格	X	X	
(8) 垂直焊接过程不合格 (上坡/下坡)	X		
(9) 遗漏保护气 (如果用于 WPQR 试验中)	X	X	
(10) 多焊条而非相反。		X	

^a 在焊工基本变量限制范围内, 使用 GMAW、FCAW 或 GTAW 的合格焊工应视为可顺利完成相同的程序中的焊接操作。

^b 焊工有资格通过完全熔透坡口焊缝试验进行塞焊、槽焊和堆焊。

表 11.2
焊工和定位焊工资格评定的焊条分类组别

F 号	AWS A5.1/A5.1M, A5.4/A5.4M 和 A5.5/A5.5M 焊条分类 ^a
F1	EXX20, EXX20-X, EXX24, EXX27-X, EXX28
F2	EXX12, EXX13, EXX13-X, EXX14
F3	EXX10, EXX10-X, EXX11, EXX11-X
F4	EXX15, EXX15-XX, EXX16, EXX16-XX, EXX18, EXX18-XX
F5	EXXX(X)-15, EXXX(X)-16, EXXX(X)-17

^a 表中分类代号中所用的字母“XX”代表从 F1 至 F4 的不同强度等级 (60ksi, 70ksi, 80ksi, 90ksi, 100ksi, 和 120ksi [414MPa, 483MPa, 551MPa, 620MPa, 690MPa, 和 827MPa]) 的堆焊金属。AWS A5.5/A5.5M, 焊条电弧焊用低合金钢焊条的规范, 要求如 EXX18-XX 的成分代号, 其中 “-XX”表示一种化学成分。

表 11.3
焊工和焊接操作工资格评定 — 试样数量与类型以及评定的厚度范围

1. 板材试验ⁱ

焊缝类型	焊接试验板材的厚度 (T), 英寸 [mm]	目检	试样数量					宏观腐蚀 厚度试验	评定, 英寸 [mm]
			弯曲试验 ^j			T 形接头 破断			
			面弯	根弯	侧弯				
坡口 ^g	T ≤ 3/8 [10]	是	1	1	—	—	—	1/8 [3]–2T ^c	
坡口 ^g	3/8 ≤ T < 3/4 [10 ≤ T < 19]	是	—	—	2	—	—	1/8 [3]–2T ^{c, d}	
坡口 ^g	3/4 [19] 或以上	是	—	—	2	—	—	1/8 [3]–无限制 ^c	
角焊缝 选项 1 ^{a, e}	3/16–1/2 [5–13]	是	—	—	—	1	1	1/8 [3]–无限制	
角焊缝 选项 2 ^{b, e}	3/8 [10]	是	—	2	—	—	—	1/8 [3]–无限制	

2. 管材试验

焊缝类型	外径, 英寸 [mm]	试样数量						宏观和 破断	评定的外径, 英寸 [mm]	评定的板材厚度和管壁厚度, 英寸 [mm]	
		所有位置 (5G 和 6G 除外)			仅 5G 和 6G 位置					最小值	最大值
		面弯	根弯	侧弯	面弯	根弯	侧弯				
坡口	<1 [25]	1	1	—	2	2	—	—	焊接尺寸, 最小值	T/2	2T ^C
坡口	1 至 ≤2-7/8 [25 至 ≤73]	1	1	—	2	2	—	—	≥1 [25]	T/2	2T ^C
坡口	2-7/8 [73] 以上	1	1	—	2	2	—	—	≥2-7/8 [73]	T/2	2T ^C
角焊缝 选项 3 ^f	<1 [25]	—	—	—	—	—	—	1	焊接尺寸, 最小值	1/8 [3]	无限制
角焊缝 选项 3 ^f	1 至 ≤2-7/8 [25 至 ≤73]	—	—	—	—	—	—	1	≥1 [25]	1/8 [3]	无限制
角焊缝 选项 3 ^f	2-7/8 [73]	—	—	—	—	—	—	1	≥2-7/8 [73]	1/8 [3]	无限制

^a 见图11.7。^b 见图 11.8。^c 表 11.4 中的评定位置, 也适用于厚度无限制的 1/8 英寸 [3 mm] 材料上的各种尺寸角焊缝。^d T 最大值, 是针对焊接操作工资格评定的。^e 表 11.4 中的评定位置, 也适用于外径为 2-7/8 英寸 [73 mm] 及以上的管材的角焊缝。^f 见图11.9。^g 板材的对焊接头坡口焊缝评定也适用于表 11.4 中的评定位置的箱形管 (反之亦然)。^h T=试样的厚度。ⁱ 评定焊接直径超过24 英寸 [610 mm] 的管材。^j 可以用对焊工或焊接操作工试验板做射线照相试验, 来代替弯曲试验 (见 11.11.4 和 12.7)。

表 11.4
焊工和焊接操作工资格评定 — 类型和位置限制^a

评定试验 ^b		评定的焊缝类型和位置 ^c			
		直径高于 24 英寸 [610 mm] 的板材， 结构型材、箱形管和管材	角焊缝	直径等于或低于 24 英寸 [610 mm] 的管材	角焊缝 ^e
焊缝类型	位置	坡口	角焊缝	坡口	角焊缝 ^e
板材 — 坡口	1G	F	F, H	—	F, H
	2G	F, H	F, H	—	F, H
	3G	F, V	F, V	—	F, V
	4G	F, OH	F, OH	—	F, OH
	2G, 3G 和 4G ^d	所有	所有	—	所有
板材 — 角焊缝 ^d	1F	—	F	—	F
	2F	—	F, H	—	F, H
	3F	—	F, V	—	F, V
	4F	—	F, OH	—	F, OH
	2F, 3F 和 4F	—	所有	—	所有
管材 — 坡口 (直径等于或低于24 英寸 [610 mm])	1G, 转动	F, H	F, H	F	F, H
	2G	F, H	F, H	F, H	F, H
	5G	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH
	6G	所有	所有	所有	所有
	2G 和 5G	所有	所有	所有	所有
管材 — 角焊缝 (直径等于或低于24 英寸 [610 mm])	1F, 转动	—	F	—	F
	2F/2FR	—	F, H	—	F, H
	4F	—	F, OH	—	F, OH
	5F	—	所有	—	所有

^a 关于评定的厚度和直径范围，见表 11.3。

^b 关于焊接试验位置，见图 10.3 至 10.6。

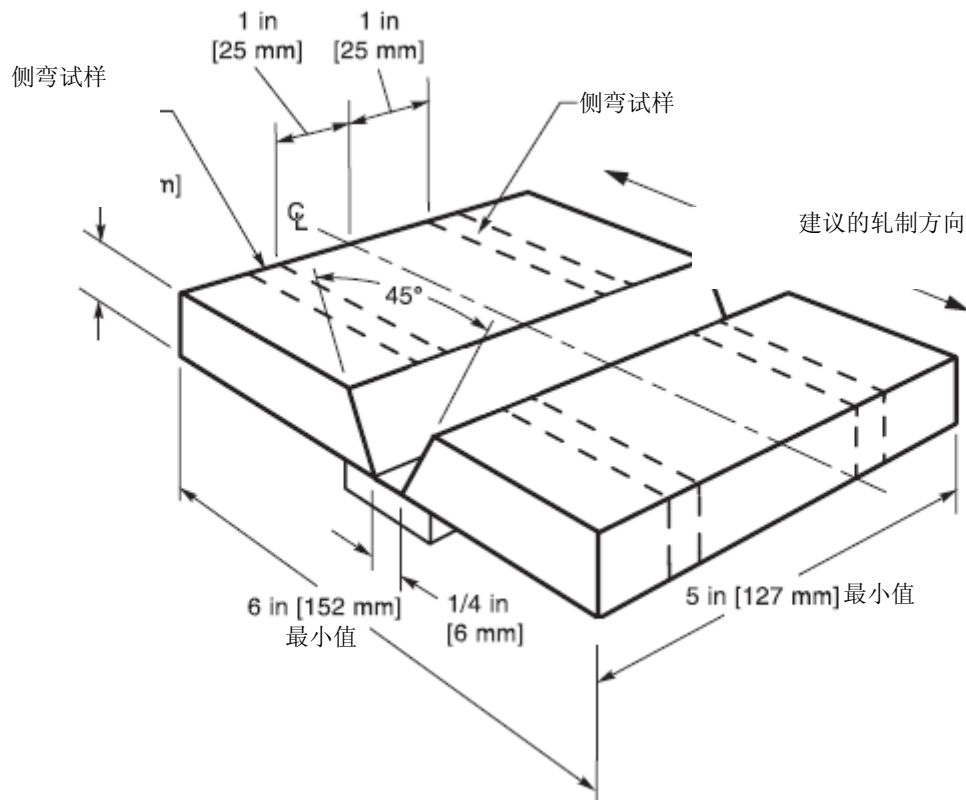
^c 关于焊接位置，见图 10.1 和 10.2: F=平焊; H=横焊; V=立焊; OH=仰焊。

^d 不适用于二面角小于 60° 的连接 (见 11.6.2.1 和 12.3.5.1)。

^e 包含承插焊管件。

表 11.5
管材焊缝最大余高

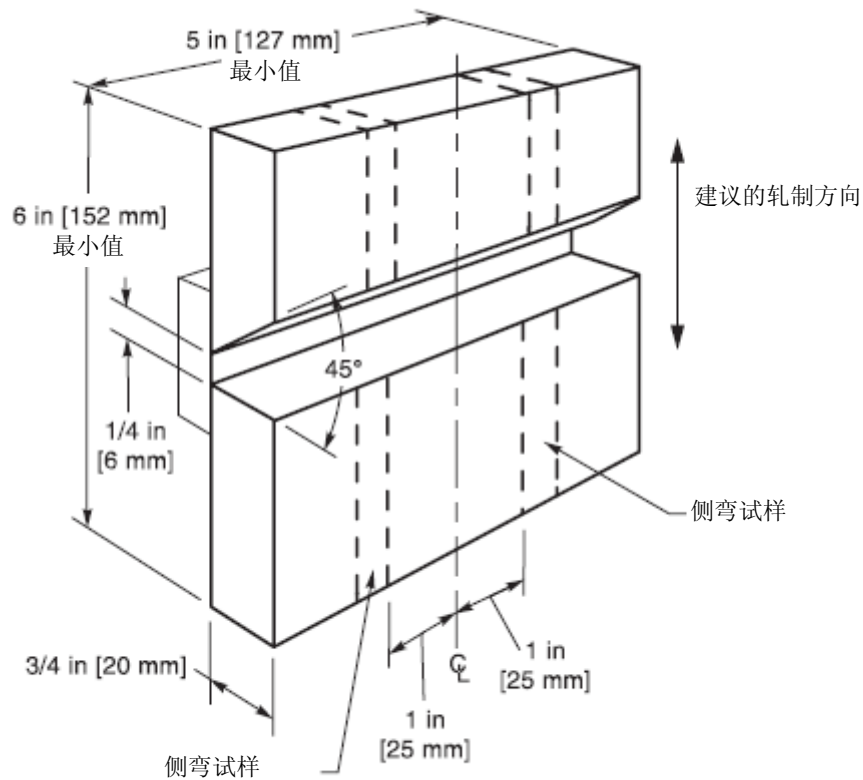
管壁厚度, 英寸 [mm]	最大焊缝余高, 英寸 [mm]
3/8 [10] 及以下	3/32 [2]
大于 3/8 小于等于3/4 [10 至 19]	1/8 [3]
大于 3/4 [19]	3/16 [5]



注:

1. 若试验采用射线照相试验, 试验区域不得有定位焊缝。
2. 衬垫厚度最小为1/4 英寸 [6 mm], 最大为3/8 英寸 [10 mm]; 若衬垫没有因为射线照相试验而被拆除, 衬垫宽度最小为 3 英寸 [75 mm], 否则应为最小1 英寸 [25 mm]。

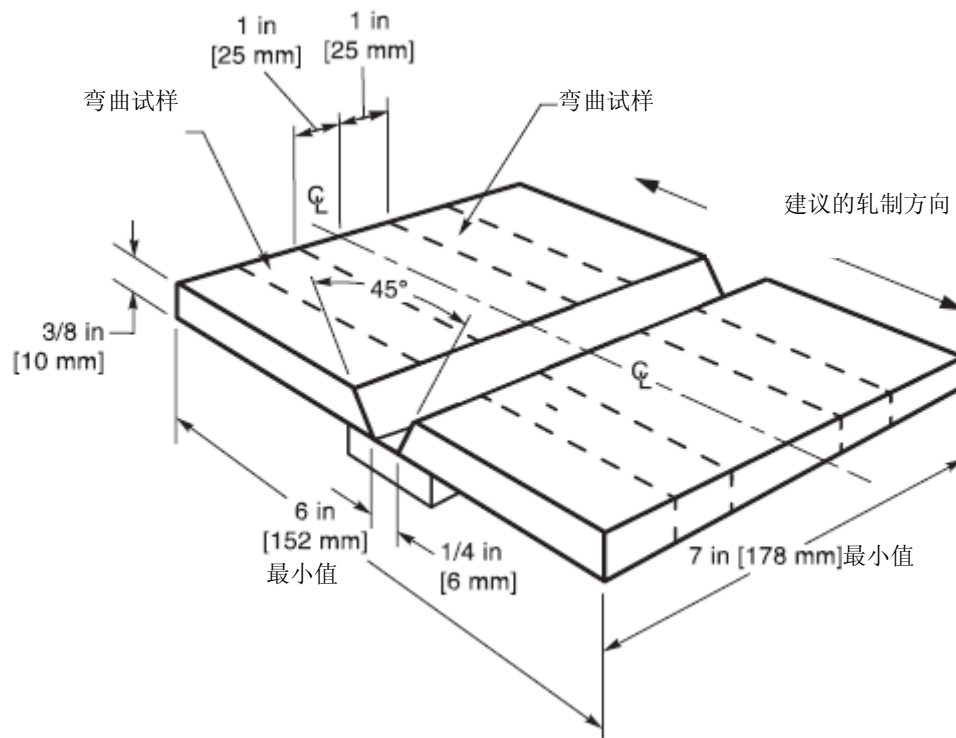
图 11.1 — 不限制厚度的试验板材 — 焊工资格评定用



注:

1. 若试验采用射线照相试验, 试验区域不得有定位焊缝。
2. 衬垫厚度最小为1/4 英寸 [6 mm], 最大为3/8 英寸 [10 mm]; 若衬垫没有因为射线照相试验而被拆除, 衬垫宽度最小为 3 英寸 [76 mm], 否则应为最小1 英寸 [25 mm]。

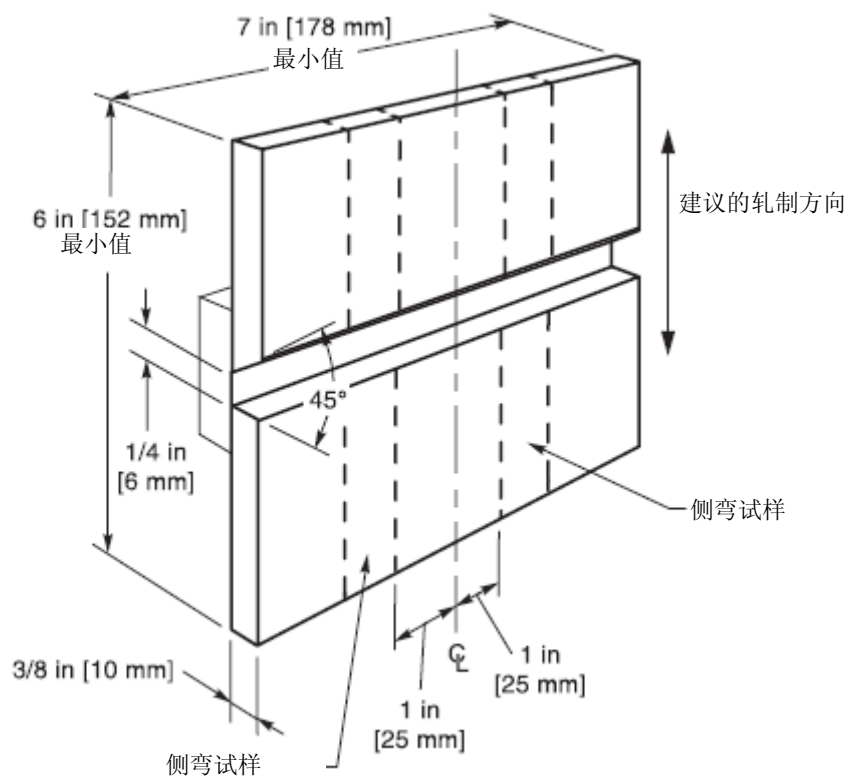
图 11.2 — 不限制厚度的横焊位置试验板材 — 焊工资格评定用



注:

1. 若试验采用射线照相试验, 试验区域不得有定位焊缝。
2. 衬垫厚度最小为1/4 英寸 [6 mm], 最大为3/8 英寸 [10 mm]; 若衬垫没有因为射线照相试验而被拆除, 衬垫宽度最小为 3 英寸 [75 mm], 否则应为最小1 英寸 [25 mm]。
3. 合适的试样尺寸见图 10.13 或 10.14。

图 11.3 — 限制厚度的试验板材 — 焊工资格评定用



注:

1. 若试验采用射线照相试验, 试验区域不得有定位焊缝。
2. 衬垫厚度最小为1/4 英寸 [6 mm], 最大为3/8 英寸 [10 mm]; 若衬垫没有因为射线照相试验而被拆除, 衬垫宽度最小为 3 英寸 [75 mm], 否则应为最小1 英寸 [25 mm]。
3. 合适的试样尺寸见图 10.13 或 10.14。

图 11.4 — 限制厚度的横焊位置试验板材 — 焊工资格评定用

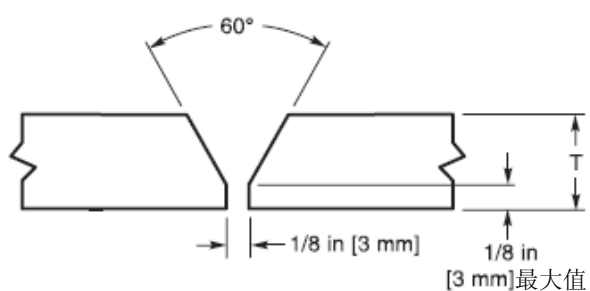


图 11.5 — 管材 (无衬垫) 对焊接头 — 焊工资格评定用

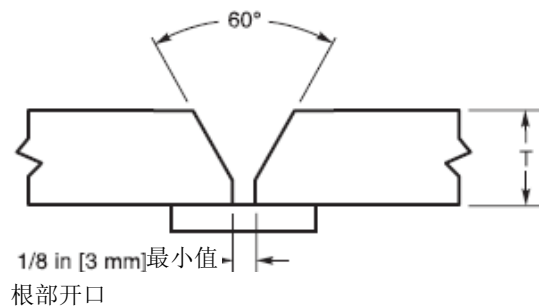
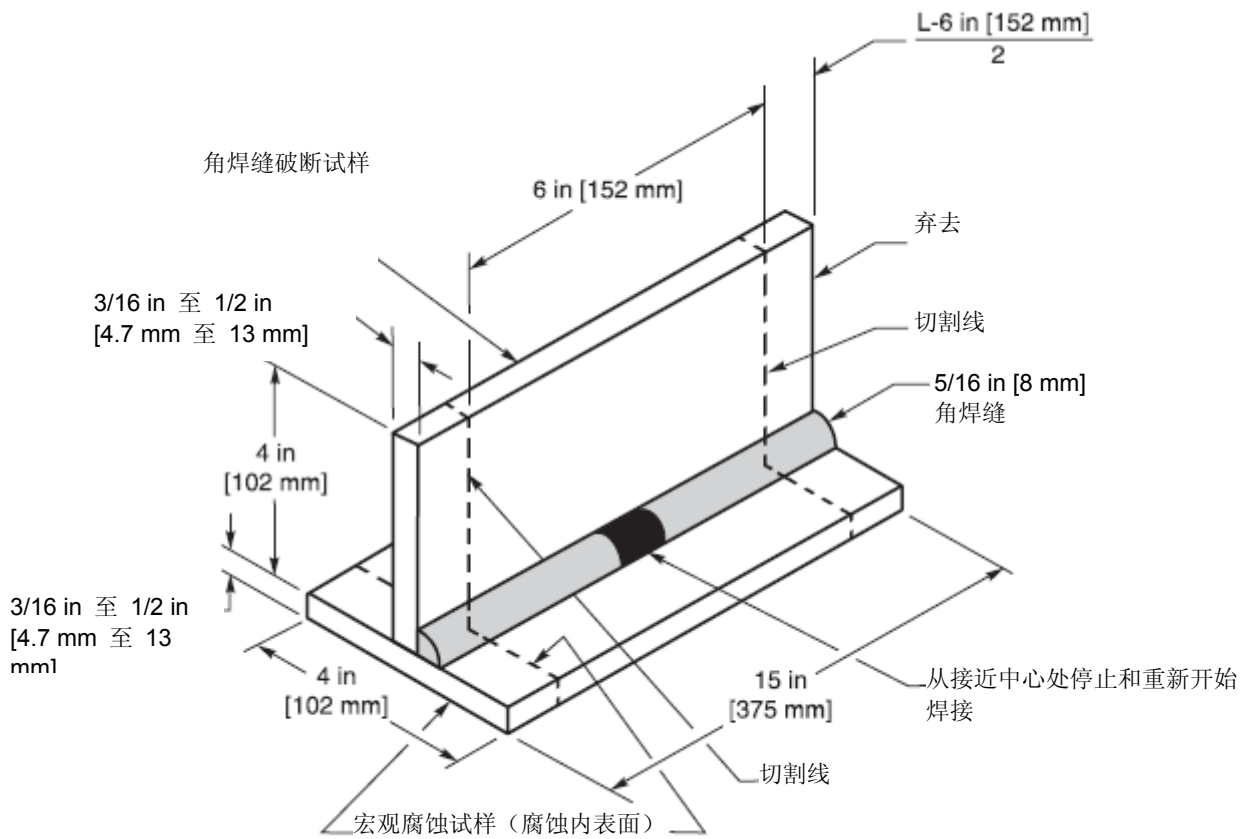


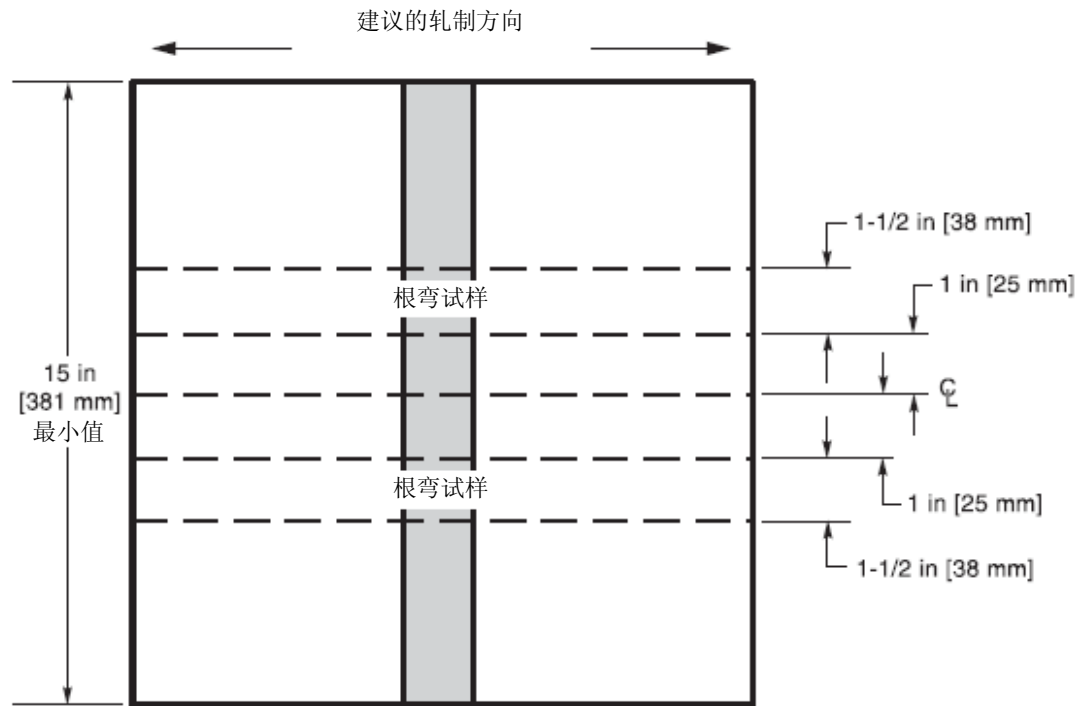
图 11.6 — 管材 (有衬垫) 对焊接头 — 焊工资格评定用



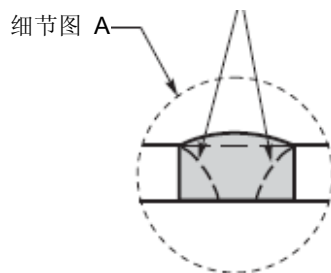
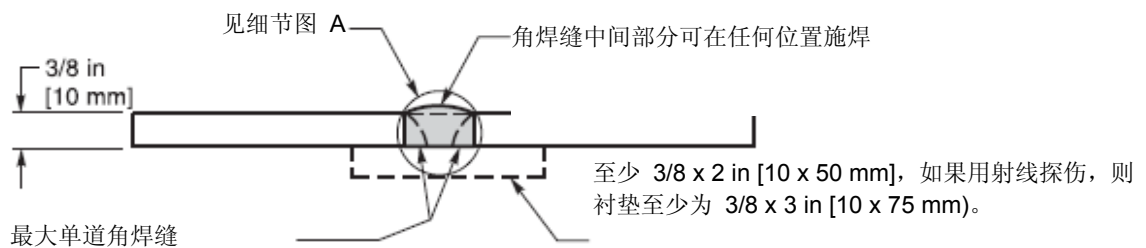
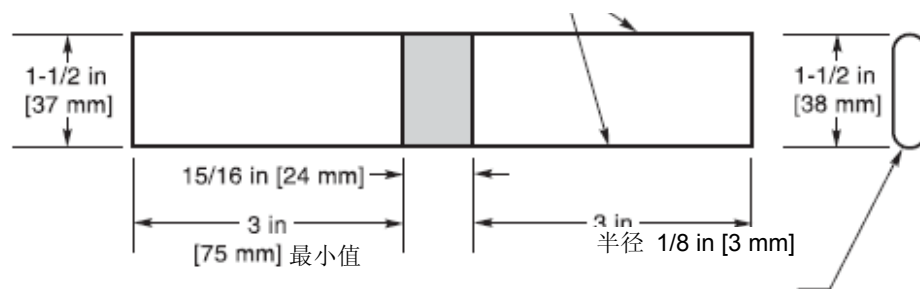
注:

1. L = 15 英寸 [375 mm]。
2. 板材的厚度和尺寸均为最小值。

图 11.7 角焊缝破断和宏观腐蚀试验板材—焊工和焊接操作工资格评定 — 选项 1



对于黑色金属材料，这些边可以热切割，并作机械加工或不机械加工。

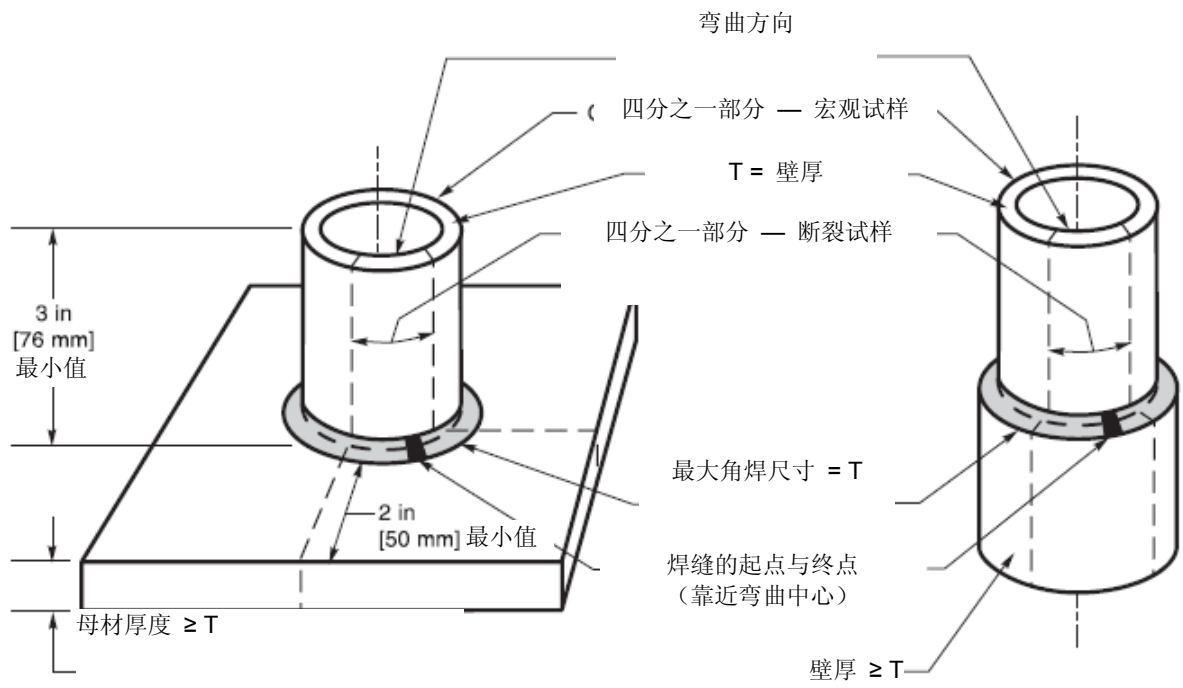


衬垫必须紧贴母材。

必须去除焊缝余高和衬垫，去除后的表面与母材齐平（6.4.3 和图 10.14，注 c）。如果至少留下 1/8 in [3 mm] 的厚度用机加工或打磨法清除，则对于黑色金属材料，可用热切割去除衬垫的大部分。

注：如下所示，可使用板至板或管至管焊接。

图 11.8 — 角焊缝根部弯曲试验板材—焊工和焊接操作工资格评定用（选项 2）



注：如下所示，可使用板至板或管至管焊接。

图 11.9 — 管材角焊缝—焊工和焊接操作工资格评定用（选项 3）

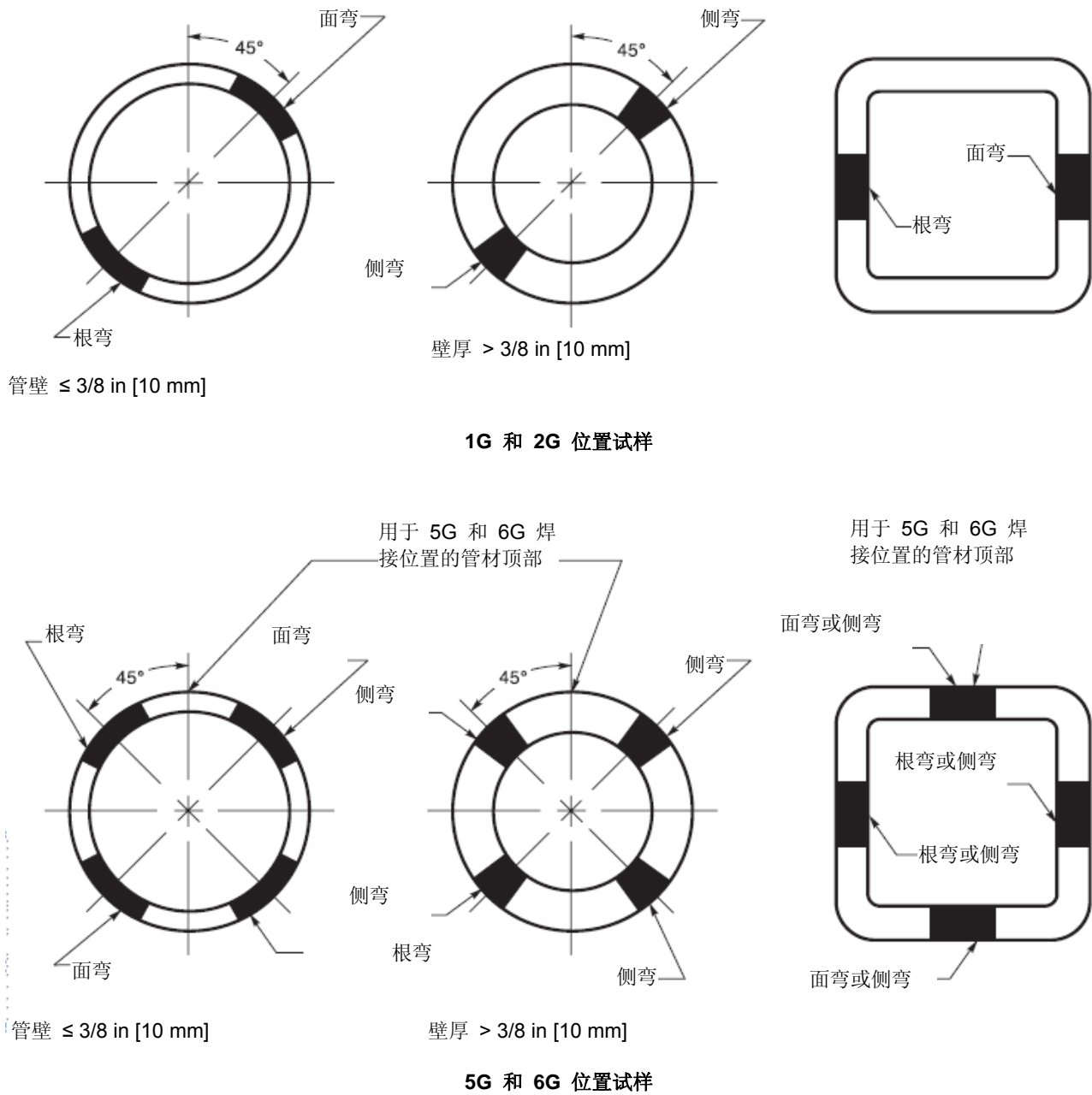
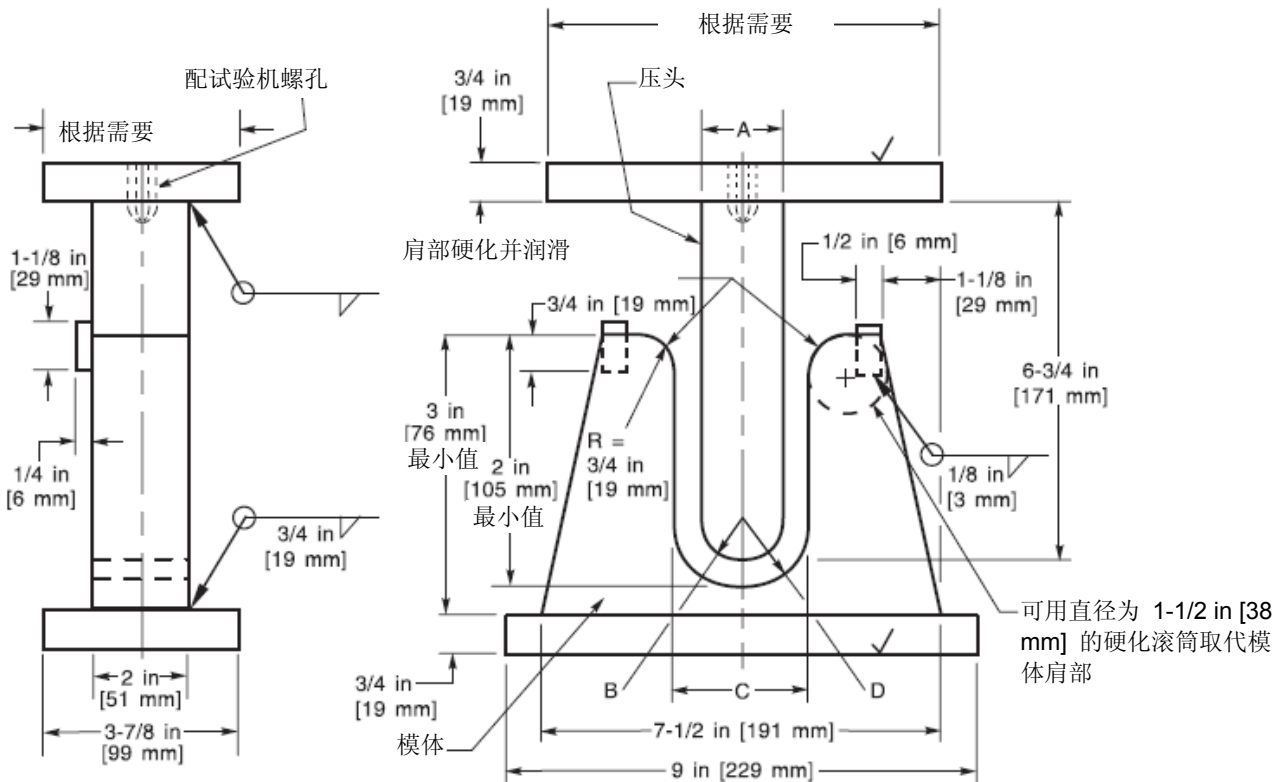


图 11.10 — 焊接试验圆管和方管上试样的位置—焊工资格评定

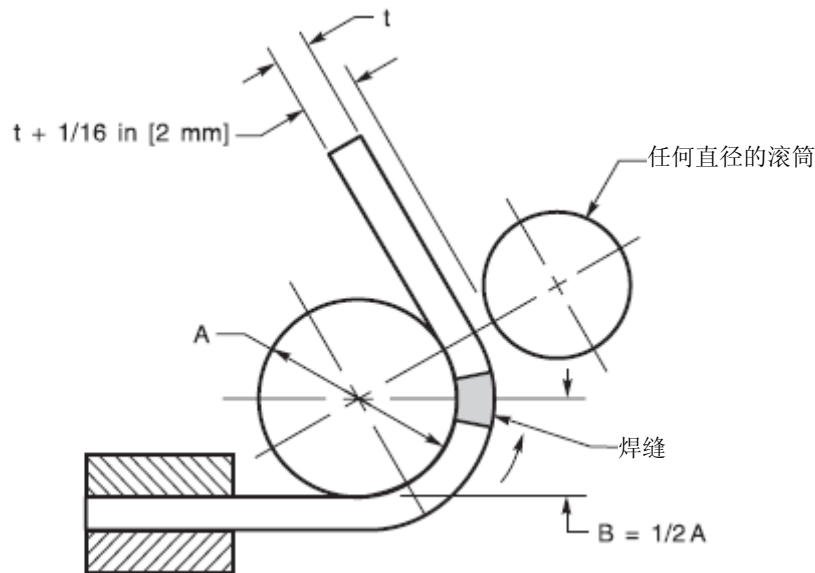


来源：改编自 ANSI/AWS B4.0-98，焊缝机械试验的标准方法，图A2，美国焊接协会

材料 ^a	试样厚度， 英寸 [mm]	A， 英寸 [mm]	B， 英寸 [mm]	C， 英寸 [mm]	D， 英寸 [mm]
M-No. 23 至 M-No. 2X， M-No. 2X 带 F-No. 23	1/8 [3] $t = 1/8 [3]$ 及以下	2-1/16 [53] $16-1/2t$	1-1/32 [26] $8-1/4t$	2-3/8 [60] $18-1/2t + 1/16 [2]$	1-3/16 [30] $9-1/4t + 1/32$
M-No.11; M-No.25 至 M-No.21, M-No.22 或 M-No.25; 屈服强度高于 90ksi [620 MPa] 的钢	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	2-1/2 [64] $6-2/3t$	1-1/4 [32] $3-1/3t$	3-3/8 [86] $6-2/3t + 1/8 [3]$	1-11/16 [43] $4-1/3t + 1/16 [2]$
7005 铝合金	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	3 [76] $8t$	1-1/2 [38] $4t$	3-7/8 [98] $10t + 1/8 [3]$	1-15/16 [49] $5t + 1/16 [2]$
屈服强度从 50ksi 至 90ksi [345 MPa 至 620 MPa] 的钢	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	2 [51] $5-1/3t$	1 [25] $2-2/3t$	2-7/8 [73] $7-2/3t$	1-7/16 [37] $3-5/16t$
所有其他材料	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	1-1/2 [38] $4t$	3/4 [19] $2t$	2-3/8 [60] $6t + 1/8 [3]$	1-3/16 [30] $3t + 1/16 [2]$

^a “X”代表 1, 2, 3, 或 5 (如适用)。

图 11.11 — 导向弯曲装置



来源：改编自 ANSI/AWS B4.0-98，焊缝机械试验的标准方法，图A3，美国焊接协会

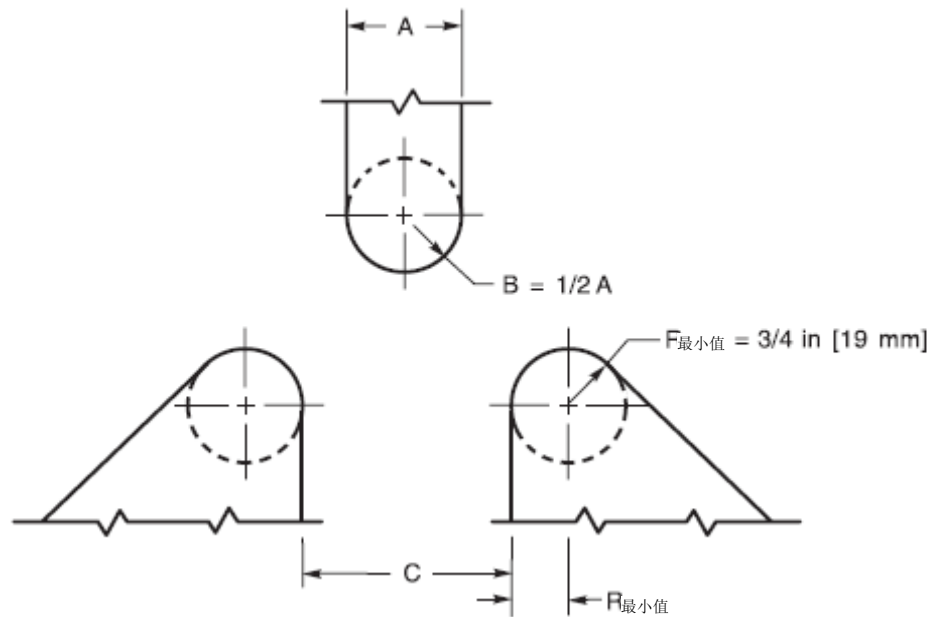
材料 ⁽¹⁾	试样厚度， 英寸 [mm]	A， 英寸 [mm]	B， 英寸 [mm]
M-No. 23 至 M-No. 2X， M-No. 2X 带 F-No. 23；铝合金	1/8 [3] $t = 1/8 [3]$ 及以下	2-1/16 [52] $16-1/2t$	1-1/32 [27] $8-1/4t$
M-No.11；M-No.25 至 M-No.21,M-No.22 或 M-No.25；屈服强度高于 90ksi [620 MPa] 的钢	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	2-1/2 [64] $6-2/3t$	1-1/4 [32] $3-1/3t$
7005 铝合金	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	3 [77] $8t$	1-1/2 [38] $4t$
屈服强度从 50ksi 至 90ksi [345 MPa 至 620 MPa] 的钢	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	2 [51] $5-1/3t$	1 [25] $2-2/3t$
所有其他材料	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	1-1/2 [38] $4t$	3/4 [19] $2t$

^a “X”代表 1, 2, 3, 或 5（如适用）。

注：

1. 未标明尺寸由设计者选择确定。基本问题是装置应有足够的刚性，这样装置的部件不会有弹性。
2. 应将试样的一端牢牢夹住，防止它在弯曲过程中滑动。
3. 当外滚筒自起始点起转了 180°，将试样从装置中取出。

图 11.12 — 卷绕式导向弯曲装置



来源：改编自 ANSI/AWS B4.0-98，焊缝机械试验的标准方法，图 A1，美国焊接协会

材料 ^a	试样厚度， 英寸 [mm]	A， 英寸 [mm]	B， 英寸 [mm]	C， 英寸 [mm]
M-No. 23 至 M-No. 2X， M-No. 2X 带 F-No. 23；铝合金	1/8 [3] $t = 1/8 [3]$ 及以下	2-1/16 [52] $16-1/2t$	1-1/32 [26] $8-1/4t$	2-3/8 [60] $18-1/2t + 1/16$
M-No.11; M-No.25 至 M-No.21, M-No.22 或 M-No.25; 屈服强度高于 90ksi [620 MPa] 的钢	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	2-1/2 [64] $6-2/3t$	1-1/4 [32] $3-1/3t$	3-3/8 [86] $6-2/3t + 1/8$
7005 铝合金	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	3 [76] $8t$	1-1/2 [38] $4t$	3-7/8 [98] $10t + 1/8$
屈服强度从 50ksi 至 90ksi [345 MPa 至 620 MPa] 的钢	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	2 [51] $5-1/3t$	1 [25] $2-2/3t$	2-7/8 [73] $7-2/3t$
所有其他材料	3/8 [10] $t = 3/8 [10]$ 及以下	1-1/2 [38] $4t$	3/4 [19] $2t$	2-3/8 [60] $6t + 1/8$

a “X”代表 1, 2, 3, 或 5 (如适用)。

注：

1. 当采用横向焊缝弯曲试样时，试验后，焊缝和热影响区应完全在试样的弯曲部分。
2. 可以采用硬化并润滑的肩部，或是可自由转动的硬化滚筒。
3. 肩部或滚筒应有最小 2 英寸 [51 mm] 的支承面供安放试样用。滚筒与装置根部相比应足够高，这样当压头在低位时，试样与滚筒脱离。
4. 压头应安装在合适的基础之上，有足够空间供试验设备的附属装置使用。设计的压头应有足够的刚性，可防止装置在做弯曲试验时发生偏转或方向偏离。压头本体的尺寸可小于表中 A 列的尺寸。
5. 如需要，可使滚筒或滚筒支架在水平方向上可调，这样可在同一装置上试验 t 厚度的试样。
6. 滚筒支架应安装在合适的基础上，基础的设计应能防止偏转或方向偏离，并且相对于压头，可保持滚筒的中心位置和对直。

图 11.13 — 导向弯曲滚筒试验装置

12. 焊接操作工资格评定

12.1 概述

本章节中所规定的资格评定试验是专门用于确定焊接操作工完成质量良好的焊接工作的能力。这些评定试验不得在实际工作中作为焊接指南。后者（实际工作）中应根据焊接工艺规程中的要求来执行焊接工作。

12.2 变量范围

表 11.2 中限制的任何更改应要求进行独立评定。

12.3 焊接操作工的资格评定要求

12.3.1 焊接操作工资格评定应使用符合经批准的焊接工艺规程的焊接接头设计。图 12.1 给出了一个关于板材坡口焊缝试验设计的建议。除 GMAW 短路过渡模式外，通过对坡口焊缝的 15 英寸 [380 mm] 的射线照相试验，可以确定焊接操作工是否合格。有关合格的材料厚度范围，见表 11.3。

12.3.2 通过完成一个满足要求的板材接头完全熔透坡口焊缝资格评定试验，焊接操作工获得表 11.2 和 11.3 中所列厚度的板材的方法和试验位置的资格。

12.3.3 通过完成一个满足要求的管材接头完全熔透坡口焊缝资格评定试验，焊接操作工获得对管材的方法和试验位置的资格。合格的管材直径和管壁厚度范围见表 11.3。这就使焊接操作工有资格如表 11.4 所示在板材或管材上焊接坡口焊缝和角焊缝。

12.3.4 除了在 1G 位置上具备资格的焊接操作工同样可以进行平焊和横焊位置上的板材角焊缝焊接，在 2G 位置上具备资格的焊接操作工同样可以进行平焊位置的坡口焊缝和平焊和横焊位置上的板材角焊缝焊接以外，具备 1G 位置（平焊）和 2G 位置（横焊）的板材焊接资格的焊接操作工将具有在评定位置上焊接直径超过 24 英寸 [610 mm] 的管材的资格。

12.3.5 角焊缝的焊接资格评定，只需达到以下要求：

12.3.5.1 要在二面角 (Ψ) 小于 60° 的部件之间进行角焊缝焊接，焊接操作工应按照 12.3.1 中的规定焊接一块坡口焊缝试验板材。

12.3.5.2 要焊接二面角 (Ψ) 等于或大于 60° 但不超过 135° 的接头，焊接操作工应按照承包商选择根据选项_1、选项 2 或选项 3 的要求焊接一个试验组件，具体要求如下：

- (1) 选项 1. 按照图 11.7 焊接一块 T 形试验板材。
- (2) 选项 2. 按照图 11.8 焊接一块完好性试验组件。
- (3) 选项 3. 按照图 11.9 焊接一块完好性试验组件。

12.3.6 焊接操作工的管材焊缝资格评定，见第 11 节。

12.4 母材

使用的母材应符合焊接工艺规程的要求。

12.5 接头焊接工艺规程

12.5.1 焊接操作工应按照焊接工艺规程规定的焊接工艺进行焊接。

12.5.2 待焊接位置通过评定后，应在相同位置进行焊缝清洁。

12.6 试样：数量、类型以及准备

试样的数量、类型以及准备，见 11.10。

12.7 试样的试验方法

试样和试验方法，见 11.11。

12.8 要求的试验结果

要求的试验结果，见 11.12。

12.9 重新试验

若焊工没有达到一个或多个试验焊缝的要求，允许在下面的条件下重新进行试验：

12.9.1 对焊工没能通过的焊缝类型，允许立刻进行每种两道焊缝的重新试验。所有试样都必须满足此类焊缝的所有要求。

12.9.2 只要有证据表明焊接操作工接受了进一步培训或做了进一步练习，可以进行重新试验。这种情形下，应进行完整的重新试验（每种类型的一次试验焊缝）。

12.10 有效期

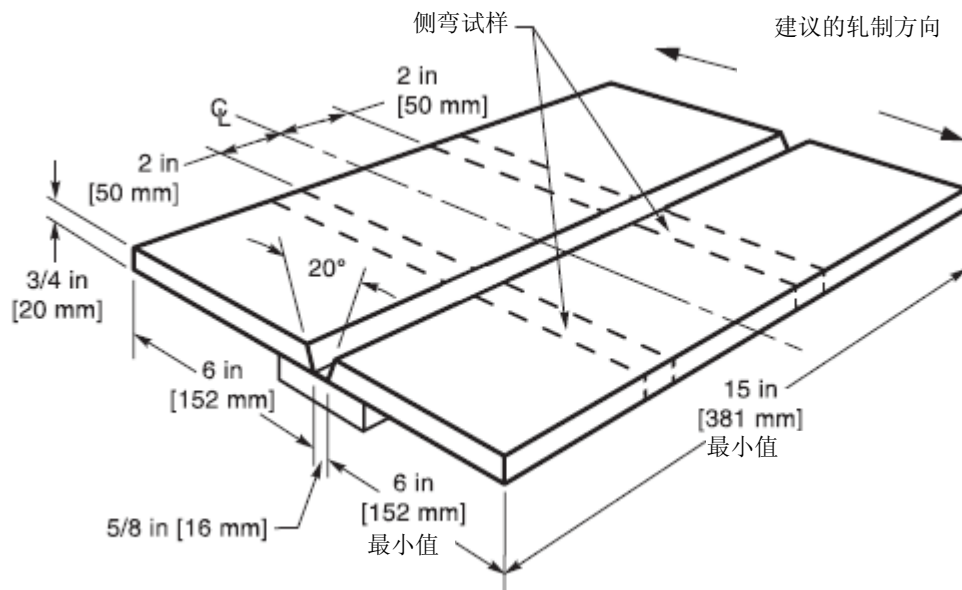
除非出现以下情况，符合条款 12 要求的焊接操作工的资格评定应被视为无限期有效：

12.10.1 焊接操作工有 6 个月以上没有使用其获得资格的焊接方法从事焊接工作。

12.10.2 存在质疑焊工能力的特殊原因。

12.11 记录

制造商应保存试验结果的记录，并供有关单位审查。



注:

1. 若试验采用射线照相试验, 试验区域不得有定位焊缝。
2. 可以用合格的坡口焊缝工艺的接头结构代替本图中的坡口结构。
3. 衬垫厚度最小为 3/8 英寸 [10 mm], 最大为 1/2 英寸 [13 mm]; 若衬垫没有因为射线照相试验而被拆除, 衬垫宽度最小为 3 英寸 [76 mm], 否则应为最小 1-1/2 英寸 [38 mm]。
4. 合适的试样尺寸见图 10.13 或 10.14。

图 12.1 — 不限制厚度的试验板材 — 焊接操作工资格评定用

13. 定位焊工资格评定

13.1 概述

13.3 中所述的资格评定试验是专门用于确定焊接操作工完成质量良好的焊接工作的能力。这些评定试验不得在实际工作中作为焊接指南。后者（实际工作）中应根据焊接工艺规程中的要求来执行焊接工作。

13.2 变量范围

表 11.2 中限制的任何更改应要求进行独立评定。

13.3 要求的评定试验

定位焊工可通过在试验板材的每一位置进行定位焊接来进行评定。定位焊工将在图 13.1 中所示角焊缝破断试样上进行长约 2 英寸 [51mm]，最大尺寸为 1/4 英寸 [6 mm] 的定位焊缝的焊接。

13.4 母材

使用的母材应符合焊接工艺规程的要求。

13.5 试样：数量、类型以及准备

按照图 13.1 的要求，将整个焊接组件作为一个试样进行试样焊接。

13.6 试样的试验方法

如图 13.2 所示，在试样上持续加力直到试样发生破断。可以用任何方便的方式加力。可以通过目检，检查焊缝表面和破断表面的缺陷。

13.7 要求的试验结果

13.7.1 定位焊缝的外观应光滑平整，无焊瘤、裂纹和超过 1/32 英寸 [1 mm] 的咬边。定位焊缝表面不得有看得见的孔隙。

13.7.2 定位焊缝的断裂面应熔敷至焊缝根部而不必超出其范围，而且母材上不应出现不完全熔敷也不应出现任何夹杂物或最大尺寸超过 3/32 英寸 [2 mm] 的孔隙。

13.7.3 通过角焊缝破断试验的定位焊工将有资格使用通过评定的焊接方法在评定的位置对所有类型的接头进行定位焊接。

13.8 重新试验

如果未能通过以上试验，定位焊工无需接受任何培训即可重新参加一次试验。

13.9 有效期

通过资格评定试验的定位焊工的资格被认为无限期有效，可以使用通过评定的焊接方法在评定的任一位置进行定位焊接，除非因特殊原因对该定位焊工的能力有质疑。在这种情况下，要求定位焊工根据规定的定位焊接试验焊接出完好的定位焊缝以证明自身的能力。

13.10 记录

制造商应保存试验结果的记录，并供有关单位审查。

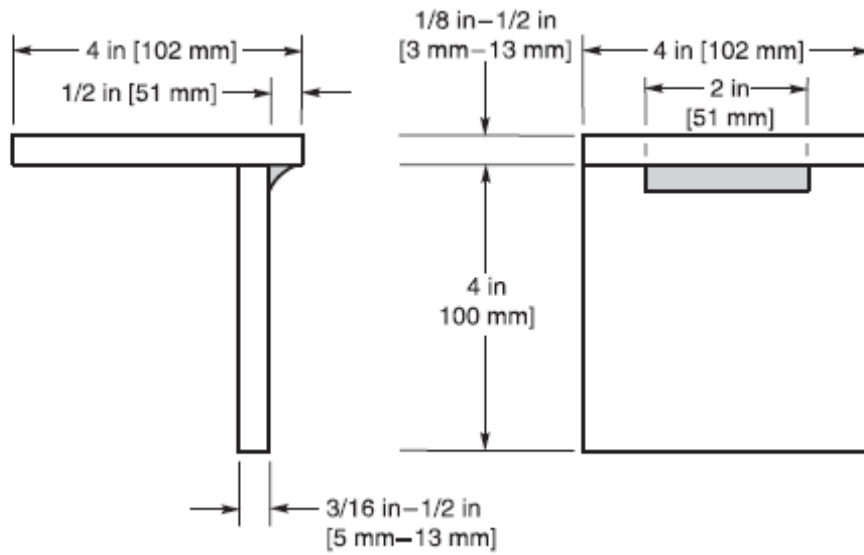


图 13.1 — 角焊缝破断试样 — 定位焊工资格评定用

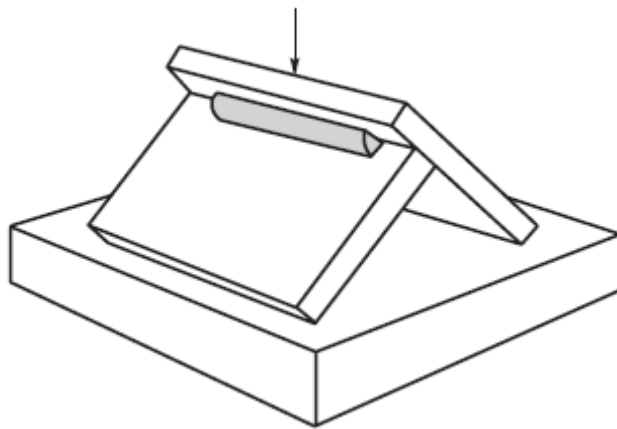


图 13.2 — 试样破断的方法 — 定位焊工资格评定用

14. 检验 — 一般要求

14.1 制造商的责任

进行焊接操作的公司应负责检验。

14.2 指定检验员（生产检验员）

14.2.1 指定检验员是由公司授权进行焊接操作与完工焊缝检查的个人。检查可以是，也可以不是这个人唯一的职责，且一经公司指定，焊工或焊接操作工就可以担任指定检验员。

14.2.2 指定检验员应接受过足够的培训，有资格履行规定的职责。应有书面文件证明指定检验员接受过相关培训。除了目检，检验员评定应符合 14.8。

14.3 焊接检查

指定检验员要确保完焊接按照下述要求完成：

(1) 符合 5.4，以及所有相关图纸与规范的要求。

(2) 使用符合 5.5 要求的焊接材料。

(3) 满足条款 6 的工艺要求。

(4) 符合根据条款 7 和条款 8 的要求免除评定的，或根据条款 10 的要求进行评定的焊接工艺规程的书面要求。

(5) 应当聘用已通过条款 11,12 或 13 中资格评定的焊工、焊接操作工或定位焊工。

14.4 焊缝尺寸和位置

指定检验员应确保所有焊缝的尺寸、位置和长度均满足规定的要求。未经工程师的许可不得增加未规定的焊缝。

14.5 完工焊缝的目检

指定检验员应按照 17.2 的要求对所有的完工焊缝进行目检。

14.6 文件

指定检验员应对所有通过验收焊缝提供证明文件（单个焊缝或组件）。

14.7 监造检验

监造检验和测试是采购商的权利，采购商可以行使这种权利，或在合同中提出放弃独立的监造，或者约定检验和监造两者均必须由公司完成。代表承包商就指定的合同文件和规范范围内所有检验和质量方面事务履行职责的正式指定人员。

14.7.1 监造检验员应按照下述要求工作，但不限于下述要求：

14.7.1.1 监造检验员有权确定所有的制作焊接均按照本规范的要求或这些要求之外的合同文件进行。

14.7.1.2 如有可能，应向监造检验员提供全套的详细图纸，标明要焊接的焊缝尺寸、类型和位置。该检验员还应向监造检验员提供相关合同文件，说明要制作、装配或修理的产品的材料和质量要求。

14.7.1.3 应在需要检验和监造作业开始之前通知监造检验员。

14.7.2 材料的检验。监造检验员必须证实只有符合本规范要求材料才可以使用。

14.7.3 焊接工艺评定和设备的检验

14.7.3.1 监造检验员应明确所有的焊接工艺都免除评定并包含在焊接工艺规程中，或按照条款 10 中的焊接工艺评定进行评定。

14.7.3.2 监造检验员应检验加工所用的焊接设备，并确认其符合 6.1.2 的要求。

14.7.4 焊工、焊接操作工和定位焊工的检验

14.7.4.1 监造检验员应只允许按照条款 11, 12 或 13 的要求通过资格评定的焊工、焊接操作工和定位焊工进行焊接操作。

14.7.4.2 当焊工、焊接操作工或定位焊工的工作质量表现出低于本规范的要求时，监造检验员可以要求焊工、焊接操作工或定位焊工通过一种简单的测试（例如，角焊缝破断试验），或按与重新试验相关的子条款进行完整的资格重新评定，来证明其具有加工完好焊缝的能力。

14.7.4.3 任何已经通过资格评定的焊工或焊接操作工，在其评定合格的焊接方法中已中断操作 6 个月以上，监造检验员应要求他们重新进行资格评定。

14.7.4.4 监造检验员可要求对已发现不符合规范或不符合经批准图纸的焊缝进行修理。

14.7.5 工作的检验和记录

14.7.5.1 监造检验员应切实查明所有焊缝的尺寸、长度和位置均符合本规范和设计详图的要求，决无未经工程师同意而增加的未规定的焊缝。

14.7.5.2 监造检验员应切实查明只有那些满足 9.1 的要求或按照条款 10 的要求通过评定的焊接方法才能被使用。

14.7.5.3 监造检验员应明确焊条只用于适当位置，且焊接电流和极性符合焊条有关分类的型号。

14.7.5.4 监造检验员应每隔一段适当的时间就要观察每个焊工、焊接操作工和定位焊工的焊接技术和操作，以确保其符合本规范的有关要求。

14.7.5.5 监造检验员应每隔一段适当的时间，检查所进行的工作是否满足本规范的要求。焊缝的尺寸和外形应使用合适的量具测量。焊缝和母材上的裂纹以及其他不连续性（缺陷）的视觉检验应采用强光、放大镜以及其他有助于这种检验的手段。

14.8 人员资格评定

无损试验人员（目检除外）的资格评定应符合美国无损试验协会推荐惯例 SNT-TC-1A 之后书面惯例或其他经一致同意惯例的要求。

14.8.1 QC1 要求的免除。14.8 条款项下的无损试验人员无须根据 AWS QC1 的规定进行评定或进行认证。

15. 无损试验 (NDE) 一般要求

15.1 无损试验

在 AWS B1.10M/B1.10，焊缝无损试验指南的最新版中阐明了每一种方法的局限性及补充使用。AAR MSRP C-III，附录 T 可用为本章节中有关无损试验工艺、技术和人员资格评定要求的可选方案。

15.1.1 经无损试验为不满足本规范要求的焊缝应通过 6.5 中规定的方法进行修理。

16. 无损试验方法

16.1 坡口焊缝的射线照相试验

如果使用射线照相试验，则工艺和技术应符合下列要求以及 17.3 中规定的验收标准：

16.1.1 一般要求

16.1.1.1 对焊接头。如果合同文件要求进行焊缝的射线照相试验时，则应使用 16.1.1.2 中规定的工艺和标准指导该类检测。此处所列的要求专门用于 X 射线源或 γ 射线源对板材、型材和棒材对焊接头坡口焊缝的检测。除非本规范中另有规定，否则检测方法应符合 ASTM E94, 射线照相试验指南，ASTM E747，射线照相中双线像质器的设计、制造和材料组别分类的标准方法和 ASTM E1032，焊件射线照相试验的标准方法的规定。

16.1.1.2 变更。检测工艺、设备和验收标准中的变更可由制造商和采购商商定。这些变更包括下述内容（但不仅限于此）：

- (1) 角焊缝、T 形和角接焊缝的射线照相试验；
- (2) 射线源到底片距离的改变；
- (3) 使用非通用的底片；
- (4) 非通用透度计的使用（包括底片侧透度计和线型透度计）；
- (5) 射线照相试验 6 英寸 [152 mm] 以上厚度的材料；
- (6) 底片类型，黑度；
- (7) 曝光、显影以及读片技术的变更；
- (8) 使用数字化射线照相技术；
- (9) 对铸件的维修焊缝进行射线照相试验。

16.1.2 射线照片的检测、报告和处理

16.1.2.1 制造商应提供强度不同的适当照明装置（取景器），便于对光斑或隐蔽性光斑进行检查。取景器应提供一种方法，对检查过程中的光斑大小进行调节。取景器的 H&D 密度为 4.0，足以为射线照相提供适当照明。

16.1.2.2 制造商负责为业主开展射线照相试验，对其焊缝进行验收之前，包括维修前任何不合格品在内的所有射线照片及其报告均应提交至监造检验员。

16.1.2.3 制造商为业主所做的焊缝射线照相试验的整套射线照片，包括返修前不合格焊缝的任何射线照片，完工时必须提交给业主。当 (1) 整套射线照相底片已经提交给业主，或 (2) 制造商完成工作满一年，并有业主事先书面通知时，必须确认制造商不在负有保存射线照片的责任。

16.1.3 焊缝的可验收性。射线照相试验出的具有图 16.1, 16.2, 16.3, 16.4 和 16.5 所不允许的不连续性（缺陷）的焊缝应按照 6.5 进行修理。

16.2 坡口焊缝的超声波试验

如果使用超声波试验，则工艺和技术应符合 AWS D1.1/D1.1M，坡口焊缝的超声波试验 (UT)。作为选项，可使用满足 AWS D1.1/D1.1M，焊缝超声波试验的替代技术，或 ASME 锅

炉和压力容器规范，章节 V 最新版本的附件中要求的书面工艺。超声波试验的缺陷尺寸评估应以 16.2.5 为准。验收标准应以 17.4 为准。如果合同要求对铝制品进行超声波试验，则应规定试验工艺和验收标准。

16.2.1 一般要求

16.2.1.1 规定的工艺与标准适用于对厚度在 5/16 英寸和 8 英寸 [7.9 mm 和 200 mm] 之间，包括这两个厚度在内的坡口焊缝和热影响区 (HAZ) 进行的超声波试验（如使用）。

16.2.1.2 本子条款中未涉及试验工艺，设备及验收标准的变更，可以在工程师同意后使用。这样的变更包括其他的厚度、焊缝几何形状、换能器尺寸、频率、耦合剂、涂漆表面、试验技术等。这些经同意的变更应记在合同记录中。

16.2.2 超声波试验 (UT) 操作人员要求

16.2.2.1 为了满足 14.8 的要求，超声波试验人员的评定应包括一次专门的操作考试，内容应以本规范要求为基础。这一考试应要求超声波试验人员证明其具有应用本规范规定准确探测和处理缺陷的能力。

16.2.2.2 在检测之前，应向超声波试验人员提供、或使他们有途径得到有关焊缝接头的几何形状、材料厚度和用以制作该焊件的焊接方法等相关资料。并应向超声波试验人员通报任何后续的焊缝返修的情况。

16.2.3 母材。这些工艺不得用于母材采购的试验。但是，与焊接有关的、在邻近（焊缝的）母材中出现的、按本规范条款为不合格的不连续性（开裂、层状撕裂、分层等），应报告工程师处理。

16.2.4 试验范围

16.2.4.1 除规定作局部试验或抽检外，本规范要求进行超声波试验的焊缝接头必须全长度检测。

16.2.4.2 当规定作局部检测时，应在合同文件中清晰地标明待检测的焊缝部位和长度，或者待检测焊缝的类别。

16.2.4.3 当规定作抽检时，应注明在焊缝规定长度内，每一标明范围的待检测焊接接头上确定检测部位的数目。每一抽检应至少包括 4 英寸 [102 mm] 长的焊缝。当抽检显示有拒收的不连续性（缺陷）时，应仔细检查这些不连续性（缺陷）的范围。抽检部位应邻近或靠近最先检测出不连续性（缺陷）处。如果增加的两个抽检部位中有一个显示有需要返修的缺陷，则必须对原抽检部位所代表的整个焊段进行超声波试验。

16.2.5 超声波试验缺陷尺寸评估

16.2.5.1 缺陷的长度应根据该工艺进行确定。各不连续性（缺陷）应根据表 17.2 中所规定的其已标明级别和长度确定验收或拒收。

16.2.5.2 对于各拒收不连续性（缺陷），应在焊缝不连续性（缺陷）段的整体长度上进行标记。应在就近的母材上注明不连续（缺陷）距表面深度和类型。

16.2.5.3 超声波试验出的不可验收焊缝应通过本规范 6.5 中所允许的方法进行返修。已修理部位应再次进行超声波试验，并将结果填入原始表格（如有）中或填入附加报告中。

16.2.5.4 对重新测试的经修理焊缝区域的评估应以另起一行的形式填入报告中。如果使用原始报告表，应在指示编号前加注“R1, R2...Rn”。如果使用高高表，则应在报告编号前加注 R。

16.2.6 报告的编制和处理

16.2.6.1 超声波检验员应在检查时填写一份报告表格，明确标明检验工作的内容与部位。对于合格焊缝的报告表格，仅需包括证实焊缝合格的足够材料、检验员签名，以及焊缝合格的结论。此表格的样本见附件 D，表格 D-7。

16.2.6.2 制造商为采购商作超声波试验的焊缝进行验收之前，所有与焊缝有关的报告表格，包括列有返修前不合格质量的内容，必须提交检验员。

16.2.6.3 制造商为采购商作的焊缝超声波试验的全套完工报告表格，包括列有返修前不合格质量的内容，必须于完工前交付业主。当 (1) 整套超声波试验报告已经提交给业主，或 (2) 制造商完成工作满一年，并有业主事先书面通知时，必须确认制造商不在负有保存超声波试验报告的责任。

16.3 焊缝的液体渗透试验

如果使用液体渗透试验，则检测应符合满足 ASTM E165，液体渗透试验方法操作规程要求的书面工艺，并且检测应根据 17.2 中验收标准的相关部分进行评估。对于铝焊接焊缝，多道焊焊缝的中间部分不得采用液体渗透试验。

16.4 焊缝的磁粉试验

如果使用磁粉试验，则检测应符合满足 ASTM E709，磁粉试验惯例要求的书面工艺，并且检测应根据 17.2 中验收标准的相关部分进行评估。

图 16.1, 16.2 和 16.3 的符号说明

不连续性（缺陷）的尺寸

B = 射线照相不连续性（缺陷）的最大可容许尺寸。

L = 射线照相不连续性（缺陷）的最大尺寸。

L' = 相邻不连续性（缺陷）的最大尺寸。

C = 沿孔隙或熔焊型不连续性（取决于较大的不连续性缺陷）边缘之间的纵轴或相交焊接一边的纵轴测量所得的最小间隙。

C₁ = 平行于焊缝纵轴测量所得的板材或管材自由边相邻最近或环形焊缝纵向焊缝交叉部分相邻最近的不连续性（缺陷）之间的最小可容许距离。

W = 相邻不连续性（缺陷）中的最小尺寸。

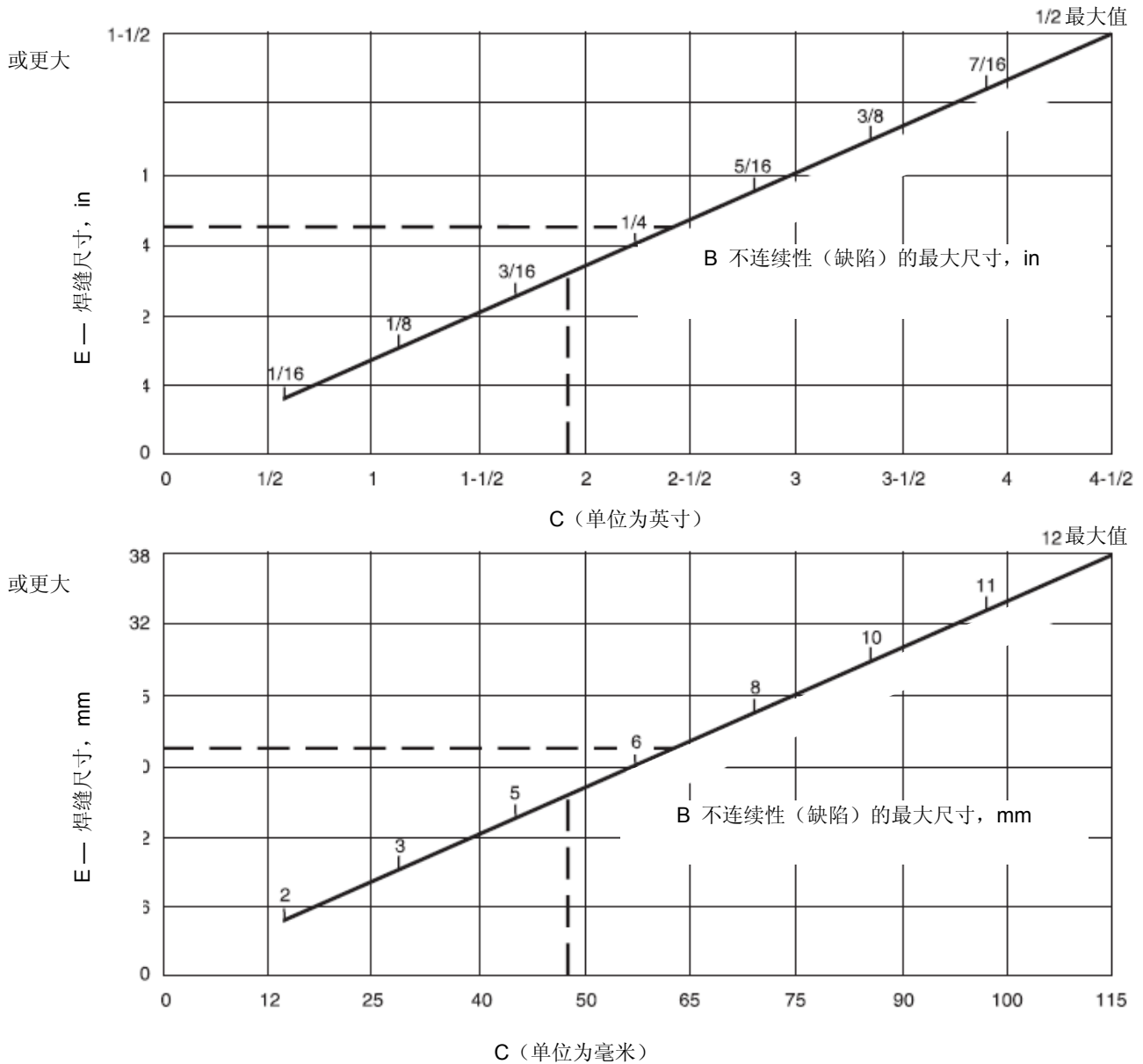
材料尺寸

E = 焊接尺寸。

T = CJP 坡口焊缝的板材或管材厚度。

不连续性（缺陷）的定义

- 条状不连续性的最大尺寸 (L) 应高于最小尺寸的 3 倍。
- 块状不连续性的最大尺寸 (L) 应小于或等于最小尺寸的 3 倍。
- 簇群应定义为一组不对齐的、尺寸不可验收的独立相邻不连续性（缺陷），间隔小于最大独立相邻不连续性（缺陷）(L') 的最小可容许 (C)，但是簇群中所有不连续性（缺陷）的最大尺寸 (L) 总和等于或小于最大可容许独立不连续性（缺陷）尺寸 (B)。这些簇群应视为用于评估最小间距的尺寸为 L 的独立不连续性（缺陷）。

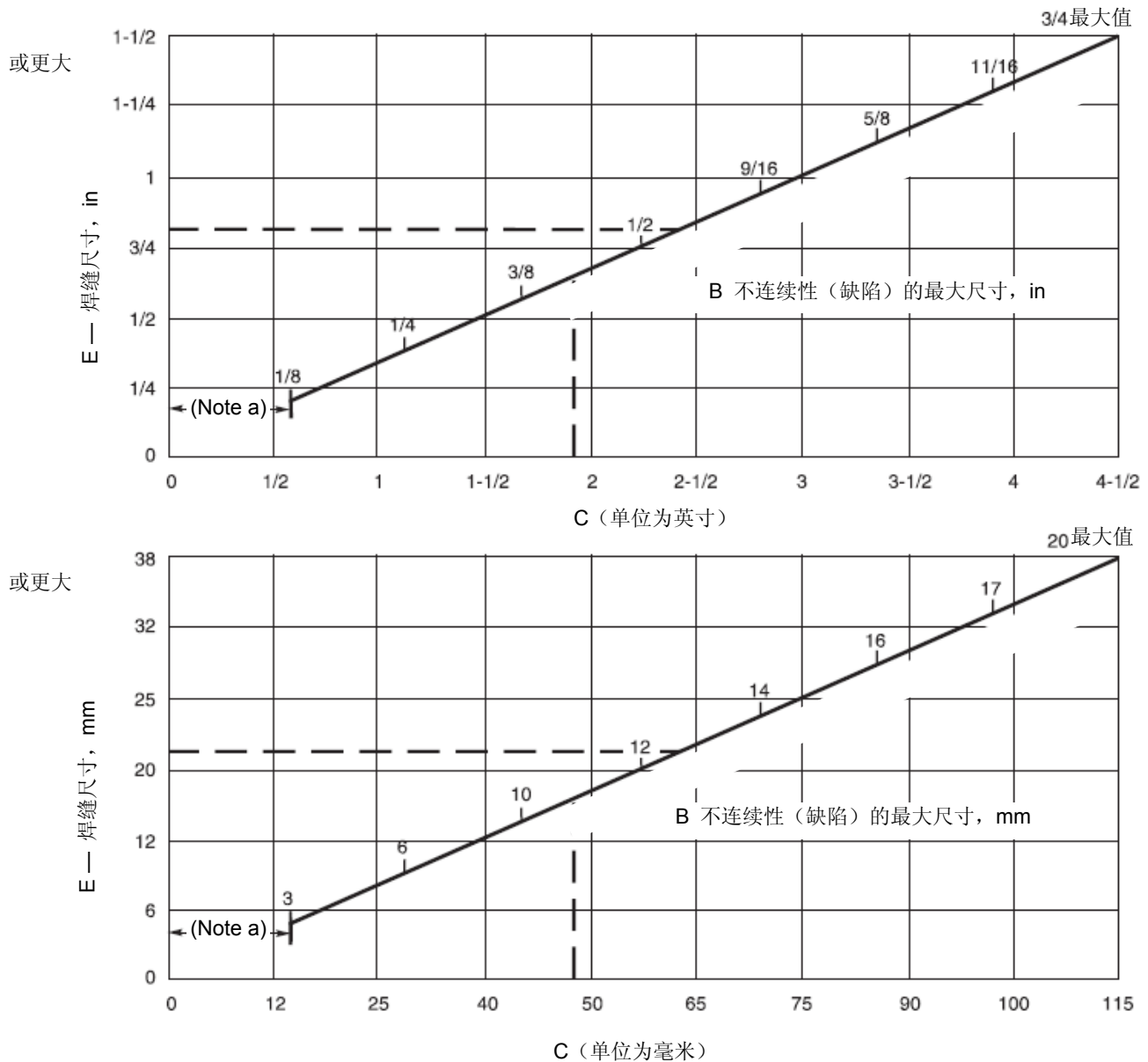


注:

1. 为确定任何接头或焊接尺寸所允许的不连续性 (尺寸) 的最大尺寸, 将 E 水平投至 B。
2. 为确定任何尺寸大于或等于 3/32 英寸 [2.5 mm] 的不连续 (缺陷) 边缘间的最小可容许间隙, 将 B 垂直投至 C。
3. 相关定义, 参见 142 页的符号说明。

来源: AWS D1.1/D1.1M:2006, 钢结构焊接规范, 图 6.4, 美国焊接协会。

图 16.1 — 周期性加载非管件拉伸焊缝处不连续性的焊缝质量要求
(孔隙和熔焊型不连续性限制)



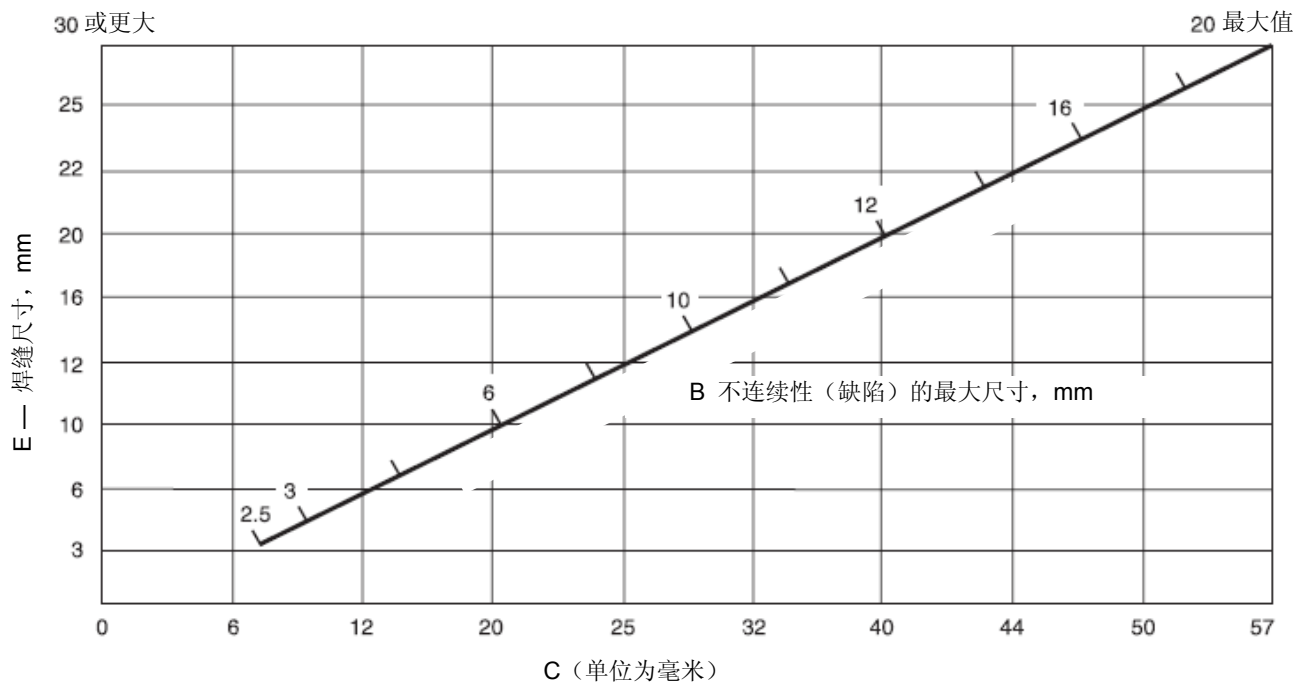
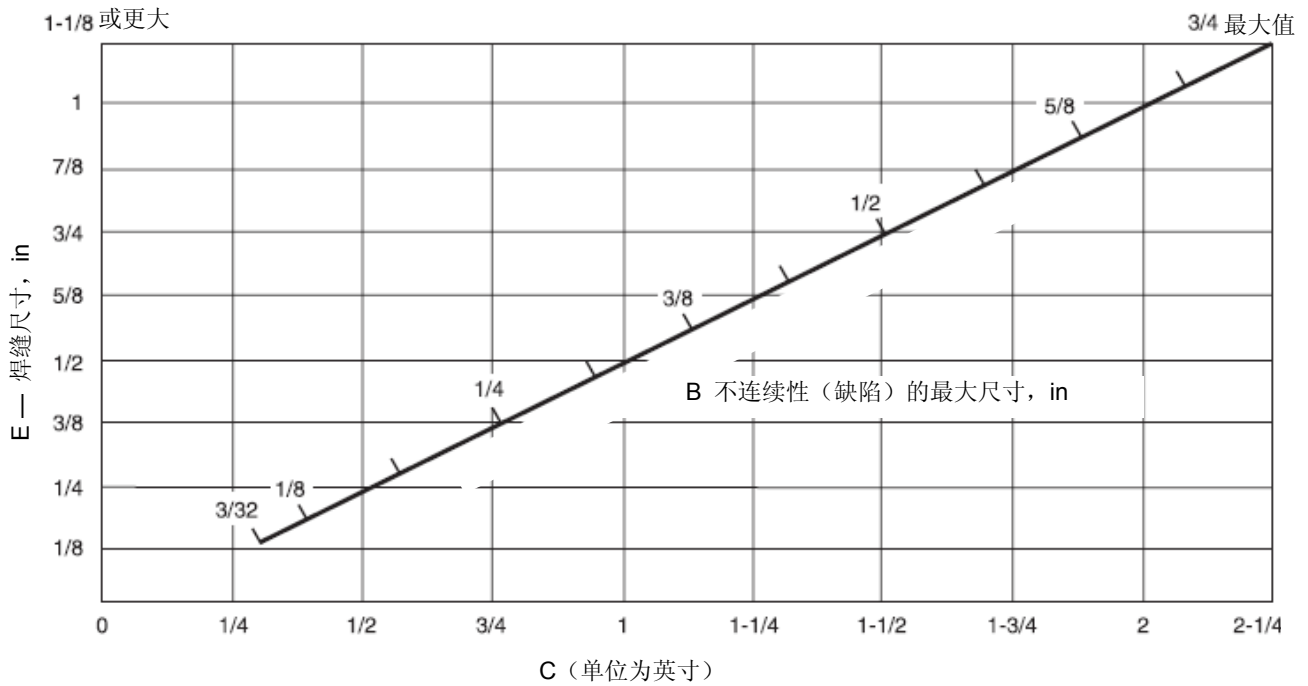
^a 距板材一边该距离内的不连续性 (缺陷) 的最大尺寸应为 1/8 英寸 [3 mm], 但是 1/8 英寸 [3 mm] 的不连续性 (缺陷) 距离该边应为 1/4 英寸 [6 mm] 以上。位于该距离内且尺寸小于 1/8 英寸 [3 mm] 的不连续性 (缺陷) 的总和不得超过 3/16 英寸 [5 mm]。除非不连续性 (缺陷) 距离小于 2L (L 为较大不连续性缺陷的长度), 否则 1/16 英寸 [2 mm] 至小于 1/8 英寸 [3 mm] 的不连续性 (缺陷) 不得限制于其他位置; 在这种情况下, 不连续性 (缺陷) 应测量为等于不连续性 (缺陷) 和间距总长的长度, 并如图 16.2 进行评估。

注:

1. 为确定任何接头或焊接尺寸所允许的不连续性 (尺寸) 的最大尺寸, 将 E 水平投至 B。
2. 为确定任何尺寸的不连续 (缺陷) 边缘间的最小可容许间隙, 将 B 垂直投至 C。
3. 相关定义, 参见 142 页的符号说明。

来源: AWS D1.1/D1.1M:2006, 钢结构焊接规范, 图 6.5, 美国焊接协会。

图 16.2 — 周期性加载非管件压焊焊缝处不连续性的焊缝质量要求
(孔隙和熔焊型不连续性限制)



注:

1. 为确定任何接头或焊接尺寸所允许的不连续性 (尺寸) 的最大尺寸, 将 E 水平投至 B。
2. 为确定任何尺寸大于或等于 3/32 英寸 [2 mm] 的不连续 (缺陷) 边缘间的最小可容许间隙, 将 B 垂直投至 C。
3. 相关定义, 参见 142 页的符号说明。

来源: AWS D1.1/D1.1M:2006, 钢结构焊接规范, 图 6.6, 美国焊接协会。

图 16.3 — 管状接头 RT 所测条状不连续性焊缝质量要求

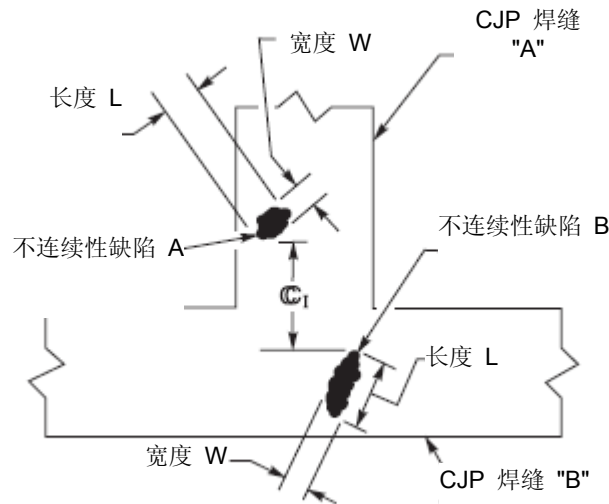


图 6.6、案例 I, II, III, 和 IV 的图注

焊缝 A = 纵向管材 CJP 坡口焊缝

焊缝 B = 管材环形 CJP 坡口焊缝

不连续性缺陷 A = 焊缝 A 处的环形或条状不连续性缺陷

不连续性缺陷 B = 焊缝 B 处的环形或条状不连续性缺陷

L 和 W = 不连续性缺陷 A 的最大尺寸和最小尺寸

L' 和 W' = 不连续性缺陷 B 的最大尺寸和最小尺寸

E = 焊接尺寸

Ci = 相邻最近不连续性缺陷边缘之间平行于焊缝 A 纵轴的最短距离

案例 I 不连续性（缺陷）限制^a

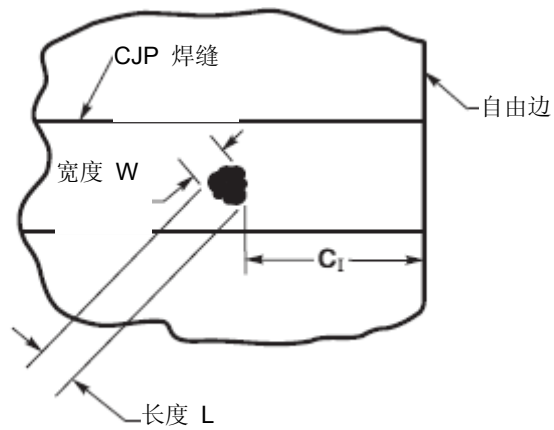
不连续性（缺陷）尺寸	限制	条件
L	$< E/3, \leq 1/4$ 英寸 [6 mm]	$E \leq 2$ 英寸 [51 mm]
	$\leq 3/8$ 英寸 [10 mm]	$E > 2$ 英寸 [51 mm]
Ci	$\geq 3L$	(A) 一处环形不连续性（缺陷），其他未环形或条状 ^a (B) $L \geq 3/32$ 英寸 [2.5 mm]

^a 条状不连续性（缺陷）可位于纵向焊缝或交叉焊缝中。该图显示了位于交叉焊缝中的不连续性 B。

案例I – 焊缝交叉处不连续性

来源: AWS D1.1/D1.1M:2006, 钢结构焊接规范, 图 6.6, 美国焊接协会。

图 16.3 （续）— 管状接头 RT 所测条状不连续性焊缝质量要求



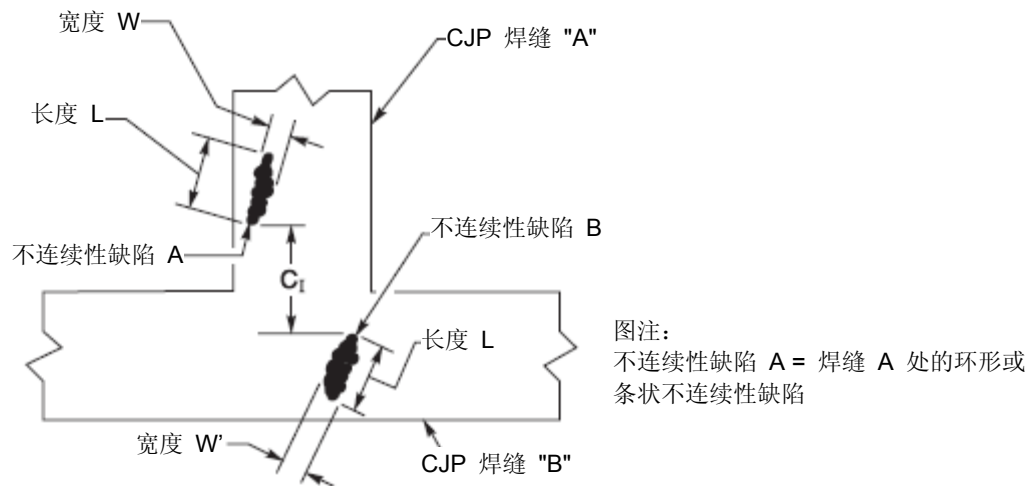
案例 II 不连续性限制

不连续性 (缺陷) 尺寸	限制	条件
L	$< E/3, \leq 1/4$ 英寸 [6 mm]	$E \leq 2$ 英寸 [51 mm]
	$\leq 3/8$ 英寸 [10 mm]	$E > 2$ 英寸 [51 mm]
C_I	$\geq 3L$	$L \geq 3/32$ 英寸 [2.5 mm]

案例 II CJP 坡口焊自由边处不连续性

来源: AWS D1.1/D1.1M:2006, 钢结构焊接规范, 图 6.6, 美国焊接协会。

图 16.3 (续) — 管状接头 RT 所测条状不连续性焊缝质量要求



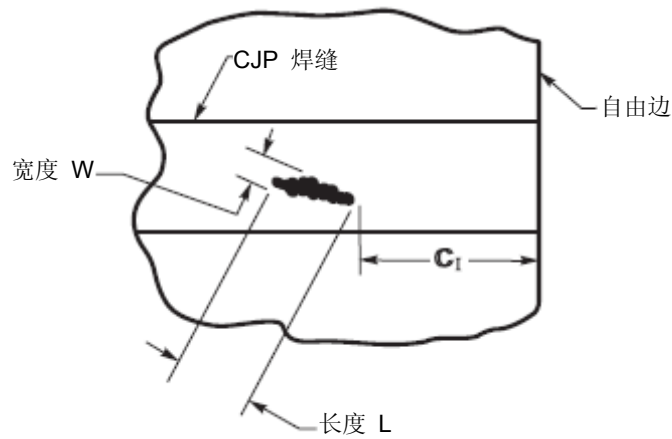
案例 III 不连续性限制

不连续性（缺陷）尺寸	限制	条件
L	$\leq 2E/3$	$L > 3W$
C_I	$\geq 3L$ 或 $2E$ （取决于较大者）	$L \geq 3/32$ 英寸 [2.5 mm]

案例III 焊缝交叉处不连续性

来源：AWS D1.1/D1.1M:2006，钢结构焊接规范，图 6.6，美国焊接协会。

图 16.3 （续）— 管状接头 RT 所测条状不连续性焊缝质量要求



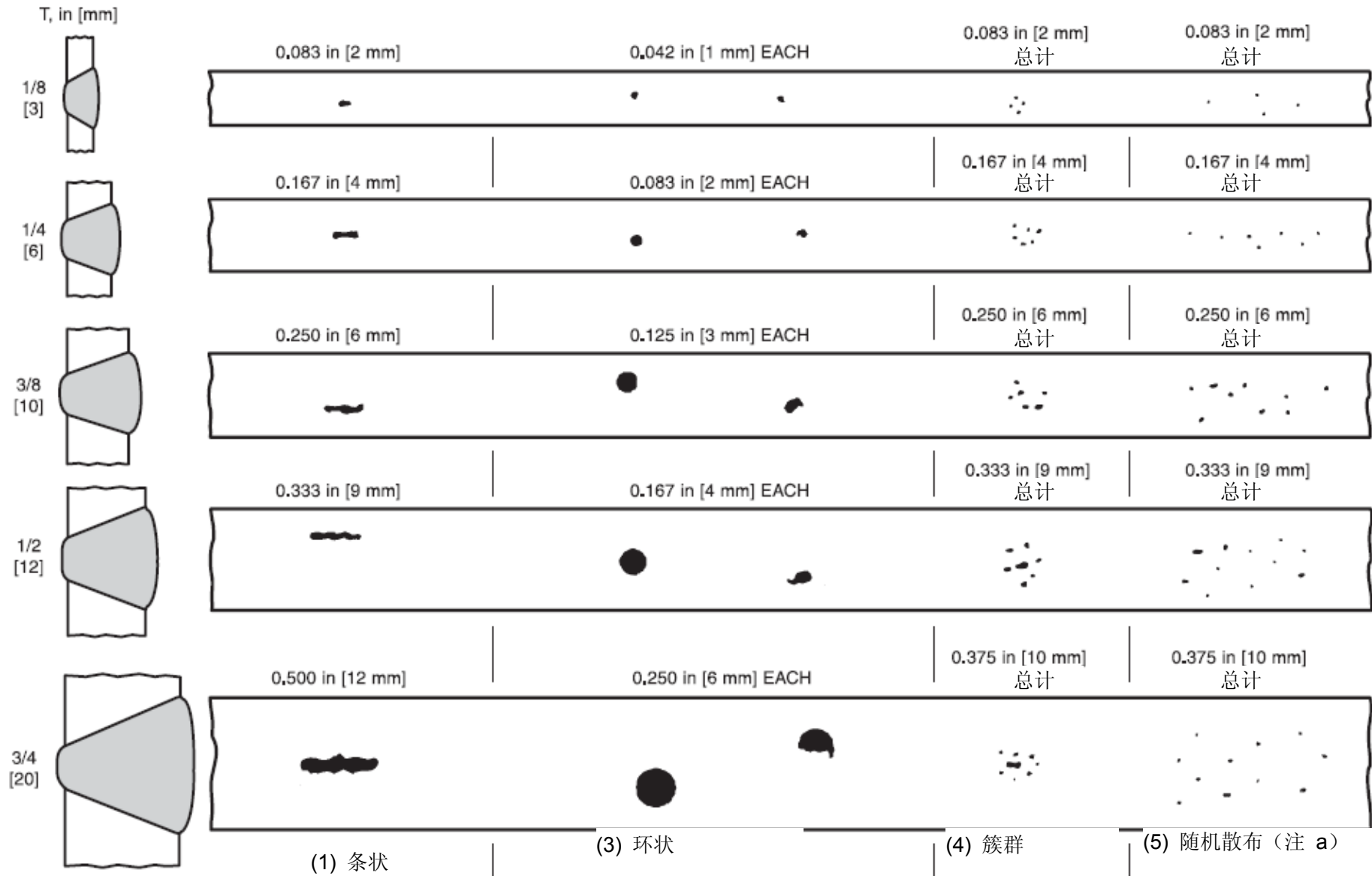
案例 IV 不连续性限制

不连续性 (缺陷) 尺寸	限制	条件
L	$\leq 2E/3$	$L/W > 3$
C_1	$\geq 3L$ 或 $2E$ (取决于较大者)	$L \geq 3/32$ 英寸 [2.5 mm]

案例 IV CJP 坡口焊自由边处不连续性

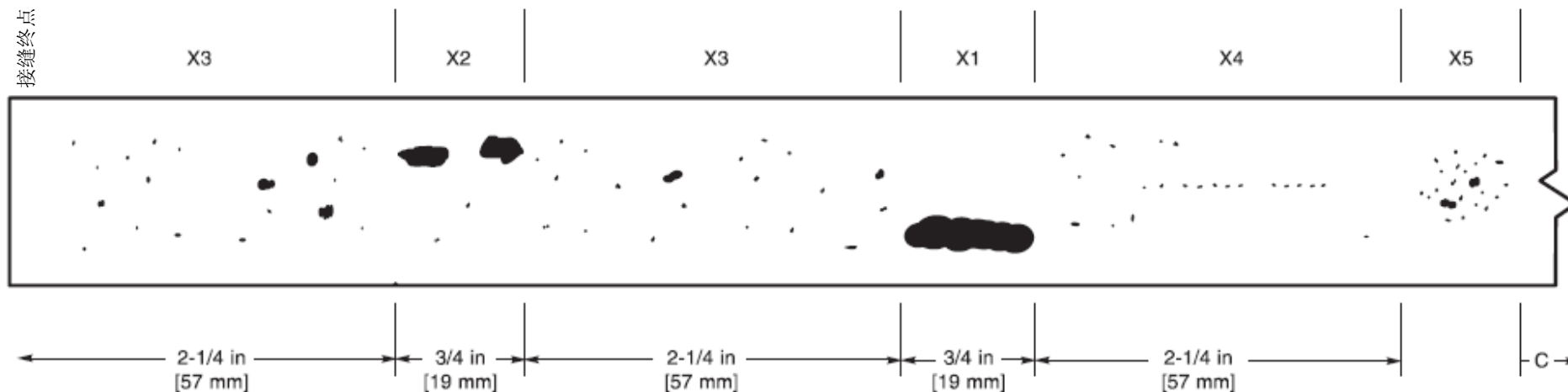
来源: AWS D1.1/D1.1M:2006, 钢结构焊接规范, 图 6.6, 美国焊接协会。

图 16.3 (续) — 管状接头 RT 所测条状不连续性焊缝质量要求



^a独立于 (1) 和 (3)。虽然未显示, 还可与 (1) 或 (3) 相结合。

图 16.4 最大可验收 RT 图像



1. C—不连续性边缘之间的最大允许间隙为 $3/32$ 英寸 [2.5 mm] 或更大（按照图 16.3）。以更大的相邻不连续性为准。
2. X1— $1-1/8$ in. [30 mm] 厚度焊缝的最大允许条状不连续性（见图 16.3）。
3. X2—图 16.3 允许的长度范围内出现的多个不连续性可以视为一个不连续性进行处理。
4. X3—X4—小于 $3/32$ in. [2.5 mm] 的块状不连续性。
5. X5—簇群中的块状不连续性。最大尺寸为 $3/4$ 英寸 [20 mm] 的簇群，对于其中的所有孔隙，应如图 16.3 所示的 $3/4$ 英寸 [20 mm] 长不连续性（缺陷）按照要求进行处理。
6. 说明：块状和条状不连续性如图所示予以接受。所有不连续性均应位于尺寸限制范围内，并满足不连续性或焊缝端部之间的最小间隙要求。

来源：AWS D1.1/D1.1M:2006，钢结构焊接规范，图 6.3，美国焊接协会。

图 16.5 — 尺寸大于或等于 $1-1/8$ 英寸 [30 mm] 的焊缝 RT 过程中随机可接受不连续性的典型示例

17. 验收标准

17.1 临时焊缝

将清除的焊缝不受目视检查验收标准的约束。如果焊缝被清除，表面应处理成原表面平齐。

17.2 目视验收标准

17.2.1 焊缝不得有裂纹（参见 8.7.1 侧架立柱导向磨耗板）。

17.2.2 不得有不完全熔合。

17.2.3 弧坑（参见表 17.1）

17.2.4 焊缝型面应满足 6.4 中的要求。

17.2.5 咬边和孔隙应符合表 17.2 中所示适用等级的限制。

17.2.6 角焊缝尺寸小于规定尺寸的值不得超过 1/32 英寸 [1 mm]，除非角焊缝尺寸大于 3/16 英寸 [5 mm] 时，可以比规定尺寸小 1/16 英寸 [2 mm] 至焊缝长度的 10%。

17.2.7 涉及结构件功能、检查或腐蚀保护的区域不允许存在飞溅。

17.3 射线照相试验验收标准

17.3.1 除目检外，需进行射线检测的焊缝应无任何裂纹、不完全熔合。CJP 焊缝应无任何不完全熔透焊缝。

17.3.2 如果检测表明，单个不连续性(缺陷)（夹钨被看作是孔隙）的最大尺寸大于图 16.1，16.2 或 16.3（如适用）中所容许的尺寸或其尺寸大于图 16.4 或 16.5（如适用）中所规定的尺寸，则该焊缝为不合格焊缝。

17.4 超声波试验验收标准

如果焊缝在经超声波试验后满足表 17.3 中的验收标准，则焊缝可验收。

17.5 液体渗透试验验收标准

采用液体渗透试验的焊缝应在 17.2 中验收标准相关部分的基础上进行评估。

17.6 磁粉试验验收标准

采用磁粉试验的焊缝应在 17.2 中验收标准相关部分的基础上进行评估。

表 17.1
焊缝弧坑限制

材料	焊缝类型和尺寸	可容许弧坑深度
钢	角焊 < 3/16 英寸 [5 mm]	1/32 英寸 [1 mm] (最大) ^a
	角焊 3/16 英寸 [5 mm] 或更大	1/16 英寸 [2 mm] (最大) ^a
	坡口焊 < 1/2 英寸 [13 mm]	1/32 英寸 [1 mm] (最大) ^a
	坡口焊 1/2 英寸 [13 mm] 或更大	1/16 英寸 [2 mm] (最大) ^a
铝	角焊或坡口焊 — 所有尺寸	无 — 所有弧坑应填满

^a 超出该极限的弧坑深度应进行填满

表 17.2
咬边和孔隙限制

质量水平		
	等级 1 ^a	等级 2 ^b
咬边:	小于 1/64 英寸 [0.5 mm]	1/32 英寸 [1 mm] (最大) ^c
孔隙:	每 4 英寸 [102 mm] 的焊缝上不超过 1 个孔隙。孔隙直径不超过 3/32 英寸 [2 mm]。	任何单个孔隙直径不超过 3/32 英寸 [2 mm]。焊缝的任何线性尺寸 [25 mm] 焊缝上的孔隙直径总和不超过 3/8 英寸 [10 mm]。每 12 线性尺寸 [300 mm] 上的孔隙直径总和不超过 3/4 英寸 [20 mm]。

^a 所有 1 级焊缝应在图纸中标明。

^b 除非图纸上另有规定，否则所有其他焊缝应视为 2 级焊缝。

^c 在任何情况下，咬边不应超过材料厚度的 12-1/2% (1/8)。

^d 如果工程师未对焊缝进行归类，则咬边和孔隙限制应根据等级 1 质量水平。

表 17.3
超声波试验合格 — 拒收标准

焊缝厚度（单位为 [mm]）和探头角度

缺陷严重性	5/16 至 3/4 [8 至 19]	>3/4 至 1-1/2 [>19 至 38]	>1-1/2 至 2-1/2 [>38 至 64]	>2-1/2 至 4 [>64 至 100]	>4 至 8 [>100 至 200]
等级	70°	70°	70°	60°	45°
A	≤+5	≤+2	≤-2	≤+1	≤+3
	+6	+3	-1	+2	+4
			0	+3	+5
					-3
					0
					+2
					-5
					-2
					+1
C	+7	+4	+1	+6	-2 to
			+2	+4	+7
				+5	+2
					+2
					+4
					+2
					+2
					+2
D	≥+8	≥+5	≥3	≥+6	≥+8
					≥+3
					≥+3
					≥+5
					≥+3
					≥+3
					≥+4

注：

1. B 级和 C 级缺陷应至少隔开 2L（L 为缺陷较大者的长度），但下述情况除外：当两个或更多个此类缺陷不是隔开至少 2L，而是这些缺陷的联合长度与它们之间的总和等于或小于 B 级或 C 级规定的缺陷最大容许长度时，则这种缺陷必须被视为单个的合格缺陷。
2. B 级和 C 级缺陷距离承受主要拉应力的焊缝端部的长度严禁小于 2L（L 为缺陷长度）。

A 级（大缺陷）

任何这类指示应拒收（不论其长度如何）。

B 级（中缺陷）

任何长度大于 3/4 英寸 [19 mm] 的这类指示应拒收。

C 级（小缺陷）

任何长度大于 2 英寸 [51 mm] 的这类指示应拒收。

D 级（细小缺陷）

任何这类指示，不论其在焊缝中的长度或部位，应判定合格。

扫描水平

声程，英寸 ^a [mm ^a]	零基准线以上，dB
≤ 2-1/2 [64]	14
> 2-1/2 ~ 5 [>64-127]	19
> 5 ~ 10 [>127-254]	29
> 10 ~ 15 [>254-381]	39

a 该栏指声程距离，而不是材料厚度。

18. 金属板焊接要求

本条款适用于厚度小于 1/8 英寸 [3 mm] 的母材焊接。条款 5 – 7 的规定适用于这些材料，以下注明时除外。

18.1 焊接接头设计

18.1.1 概述。可以采用图 18.1 - 18.8 中所示的波口焊、电弧点焊、电弧缝焊、搭焊、T 型焊或填角焊、单面喇叭形或单面 V 形波口焊，执行焊接连接。

18.1.2 直坡口。堆焊接口应当使用直坡口，最好是在处于水平位置时执行焊接。焊缝根部间隙情况应当与图 18.1 所示相同。

18.1.3 电弧点焊。应当在合适位置上，按照图 18.2 所示，电弧点焊缝通过一倍或两倍厚度的母材固定到支撑件上。对于厚度小于 0.028 英寸 [0.5 mm] 的板材，图 18.3 所示的垫圈应当用于防止烧结。焊接金属在支撑结构件上的直径应当至少为 3/8 英寸 [10 mm]。

电弧点焊缝中心到板材任何一边的最小距离应当如下：

$$e_{min} = \frac{P}{0.5F_u t} \text{ for } \frac{F_u}{F_y} \geq 1.15$$

或

$$e_{min} = \frac{P}{0.45F_u t} \text{ for } \frac{F_u}{F_Y} < 1.15 \quad \text{但小于 } 1.5d$$

(参见图 18.4)

其中

- P = 电弧点焊或电弧槽焊传输的力
 F_u = 母材规定的最小极限抗拉强度 (ksi)
 F_Y = 母材规定的屈服强度
 t = 母材厚度, 不包括单片的涂层厚度或双片母材的组合厚度
 e_{min} = 从电弧点焊缝或电弧槽焊缝中心到顶板的最小距离

注: 仅美国标准用公式。在最终计算后, 将 e_{min} 转换为公制单位。

18.1.4 单面喇叭形坡口焊缝。最小长度应为 3/4 英寸 [19 mm] (参见图 18.7), 图纸上另有规定或部件尺寸注明时除外。

18.1.5 塞焊和槽焊缝。有效面积应当是接合面的平面上孔或槽的最小面积。

18.1.6 填料。仅在安装公司工程师和业主工程师批准时, 方可使用填料。所用的填料应当符合 5.4.3 的要求。

18.2 板材焊接的接缝和工艺评定。

符合 AWS B2.1/B2.1M 规定的厚度小于 1/8 英寸 [3 mm] 的母材接缝和焊接工艺规范被视为符合本规范。应当根据 18.2.1 鉴定所有其他案例。

18.2.1 焊接工艺规范要求。如果表 18.1 中列出的过程和重要变量出现任何变更, 则必须重新鉴定焊接工艺规范。

18.2.1.1 鉴定电弧焊接工艺规范的试验次数、试验方法和所需结果。

(1) 坡口焊和角焊

(a) 应当对待试验材料的两块矩形件进行焊接, 矩形件宽度和长度必须至少为 4 英寸 [102 mm]。焊缝长度应当至少为 4 英寸 [102 mm] (参见图 18.11)。焊接件和试验应当符合表 18.2。

(b) 焊缝应当满足 17.2 的目视检查要求, 仅咬边不得超过较薄构件的 0.15 倍厚度时除外。

(c) 在接缝试验完成后, 应当使它们往回弯曲, 弯曲轴必须与焊缝的轴平行 (参见图 18.9)。如果仅从一侧焊接接合, 则焊缝根部应当处于弯曲表面上。

(d) 如果在弯曲后没有明显的裂缝, 仅焊缝前部和后部 0.5 英寸 [13 mm] 除外, 则认为焊缝合格。

(e) 母材上的裂缝不是焊缝不合格的原因。

(2) 电弧点焊。公司应当针对通过电弧点焊到支撑件上的每个单倍和双倍厚度的板, 制定焊接工艺规范。应当对两个焊接的组件执行试验。应当按照图纸 18.2 所示, 夹住首个宽度为 2-1/2 英寸 [64 mm] 或更高的多个矩形件。随后, 焊工应当根据程序鉴定完成所需直径的电弧点焊缝, 所产生裂纹的直径必须小于 3/8 英寸 [10 mm]。点焊缝的焊疤应填料, 并

且至少配备 1/32 英寸 [1 mm] 的加固。

(a) 焊缝外观应当符合 17.2 的要求。

(b) 在焊缝冷却后，应当按照图纸 18.10 所示，用垂直重复敲击板的伸出部分直到不再出现故障为止。应当测量剩余焊疤的直径，确保符合图 18.2 所示的所需最小直径。如果没有达到此最小直径，或者焊缝不合格，则应当调整焊接电流，并且重复试验到符合所有要求为止。

(c) 评定单片板或多片板和支撑件之间的电弧点焊需要评定要试验的位置。

(d) 如果以下任何一项重要变量的变更超过 18.2.1.4 的要求，则需要重新评定：

对于所有焊接工艺，母材、焊缝尺寸、填料金属、“F”数量或焊接位置出现变更。

(2) 对于金属气体保护焊或药芯焊丝弧焊，焊接电流、保护气体或焊丝馈送速度。

(3) **螺柱焊。**在评定必须压挤通过钢板进入结构件的螺柱时，钢板应当紧靠结构件放置。应当采用 6.13 的质量要求。

表 18.1
焊接工艺规范包含的重要和次要变量^a
FCAW、GMAW、GTAW 和 SMAW（参见 18.2.1）

需要重新评定的重要变量变更：	工艺			
	FC AW	GMAW	GTAW	SMAW
接头设计				
(1) 以下任何一种类型的接缝设计类型变更为另一种：	X	X	X	X
(a) 直坡口或 V 形坡口				
(b) 角焊缝				
(c) 单面喇叭形或 V 形焊缝				
(2) 导致下列情况的坡口接头设计变更：	X	X	X	X
(a) 焊缝根部间隙增加到 25% 以上				
(b) 漏掉衬底材料或背面焊缝，而非增加				
(c) 增加或漏掉可熔性填充物				
(d) 漏掉或纳入间隔垫条				
(e) 漏掉而非包括清根				
(3) 对于塞焊缝和槽焊缝：	X	X	X	X
(a) 规定槽宽度或孔直径降低到小于带孔或槽的材料厚度的 +0.25 英寸 [+6.35 mm]				
(b) 槽或孔的深度变更（材料厚度）超过 50%				
(c) 规定衬底母材的厚度降低超过 50%				
母材				
(4) 一种材料编号更改为另一种材料编号或更改为没有列出的母材，仅在经装配公司工程师检验确认未列出的母材的机械性能处于相同范围内且化学成分处于相同范围内时除外	X	X	X	X
(5) 涂料类型的种类变更，或者添加涂装材料到母材上，而非减少（注：不可将防溅化合物视作涂装材料。）	X	X	X	X
(6) 母材厚度的变更超过 50%	X	X	X	X
填充金属				
(7) 条分类变更（例如从 E7018-1 更改为 E7018）	X	X	X	X
(8) 钨极类型变更到符合 AWS A5.12M/A5.12	—	—	X	—
(9) 焊条的直径变更	X	X	X	X
(10) 填丝的直径变更超过 1/16 英寸 [1.6 mm]	—	—	X	—
(11) 添加或取消填充金属	—	—	X	—

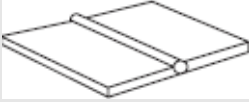
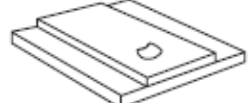
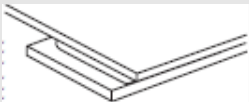
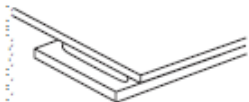
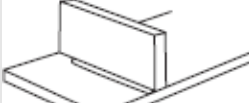
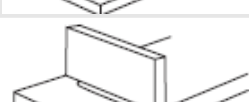


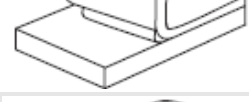
表 18.1 (续)
焊接工艺规范包含的重要和次要变量^a
FCAW、GMAW、GTAW 和 SMAW (参见 18.2.1)

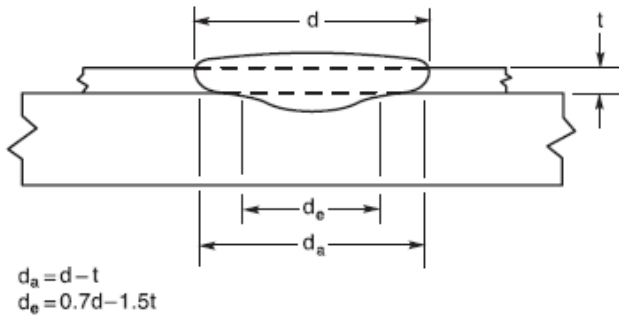
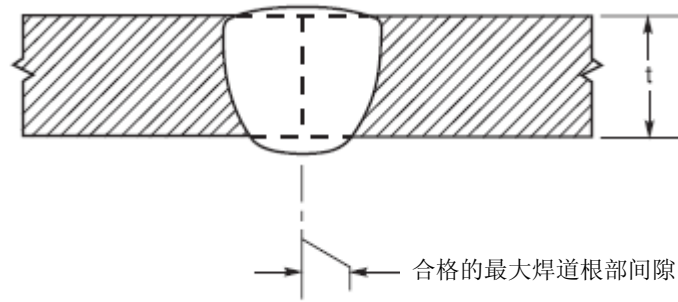
需要重新评定的重要变量变更:	工艺			
	FC AW	GMAW	GTAW	SMAW
工艺参数				
(12) 电流或极性变更	X	X	X	X
(13) 电流值或电压的变更超过 25%	X	X	X	X
(14) 评定的平均行走速度变化超过 25% — 仅适用于铝	X	X	X	X
(15) 金属传输模式变更	—	X	—	—
保护气体				
(16) 从一种气体更改为其他气体或气体混合物, 或者按照气体混合的规定成分百分比更改	X	X	X	—
(17) 漏掉而非包括背面气体	X	X	X	—
预热和焊层间温度				
(18) 温度降低超过 50°F [28°C], 但是温度不低于 32°F [0°C]	X	X	X	X
(19) 如果预热温度为 32°F [0°C] 或更低, 则试验温度为最低预热温度。	X	X	X	X
(20) An increase of more than 50°F [28°C]	X	X	X	X
技术				
(21) 图 10.1 和 10.2 列出的焊接位置变更, 表 11.4 批准时除外				
(22) 在垂直焊接时, 正在焊接的任何焊道从向上更改为向下, 或从向下更改为向上	X	X	X	X

^a X = 重要变量。

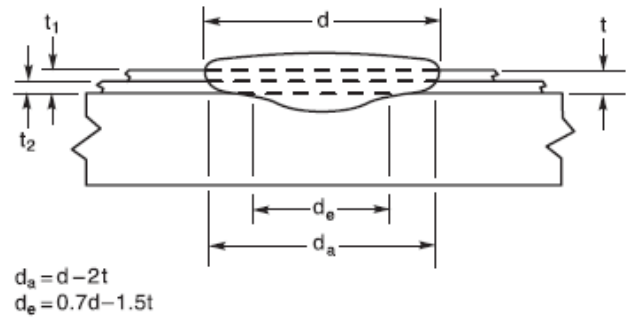
表 18.2
工艺评定试验

每个焊接位置、厚度和
焊接类型所需的试验次
数^a

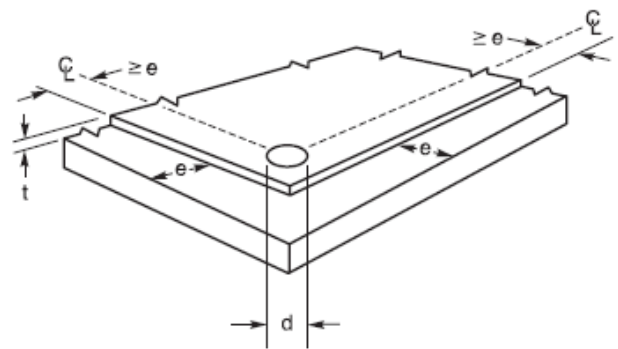
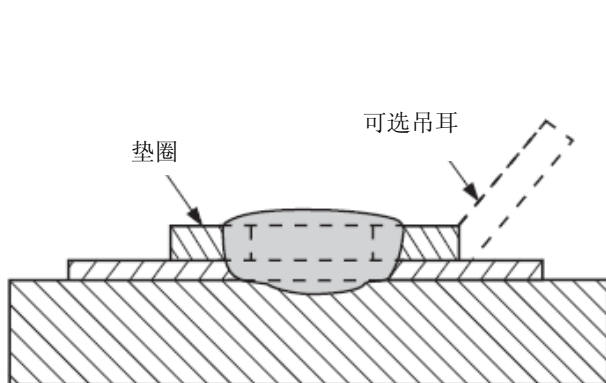
试验组件如下所示:	受试焊接接头类型	试验类型	评定:
	在任何位置上, 直角或 V 形坡口对接焊缝, 板至板	2	弯曲试验 直角和 V 形坡口对接接头, 板至板
	电弧点焊 — 钢板至支撑构件	2	扭转试验 电弧点焊缝和电弧缝焊缝 — 钢板至支撑构件
	角焊搭接接头	2	弯曲试验 角焊搭接接头 — 任何位置上板至板或板至支撑构件
	角焊搭接接头 — 钢板至支撑构件	2	弯曲试验 角焊搭接接头 — 钢板至支撑构件
	角焊 T 形接头 — 钢板至钢板	2	弯曲试验 角焊 T 形接头或搭接接头 — 钢板至钢板或钢板至支撑构件
	T 形接头中的角焊缝 — 薄钢板对支撑构件	2	弯曲试验 角焊 T 形接头或搭接接头 — 钢板至支撑构件
	斜喇叭形 — 钢板至钢板	2	弯曲试验 斜喇叭坡口焊缝 — 钢板至钢板或钢板至支撑构件, V 形喇叭坡口焊缝 — 钢板至钢板
	斜喇叭形 — 钢板至支撑构件	2	弯曲试验 斜喇叭坡口焊缝 — 钢板至支撑构件
	斜 V — 钢板至钢板	2	弯曲试验 V 形喇叭坡口焊缝 — 薄钢板对薄钢板, 斜喇叭坡口焊缝 — 薄钢板对薄钢板以及薄钢板对支撑构件

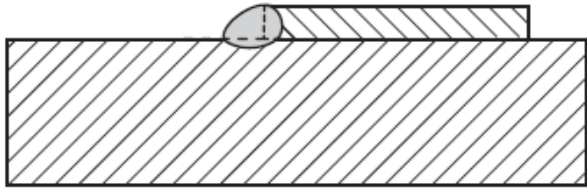


(A) 钢板单倍厚度



(B) 钢板双倍厚度

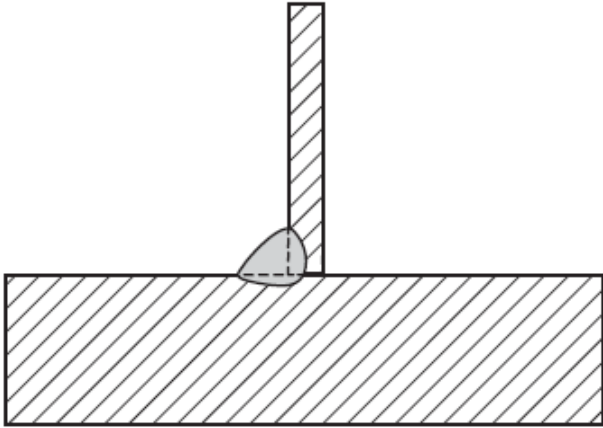




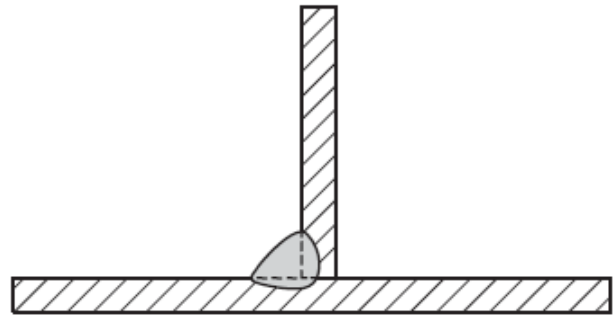
(A) 板至结构件



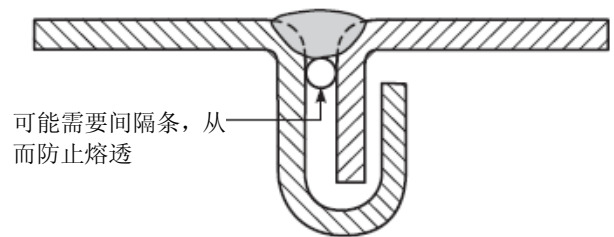
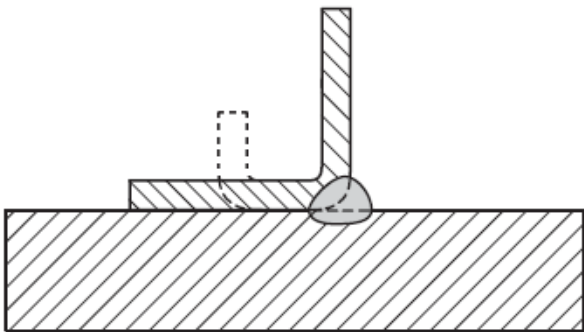
(B) 板至板

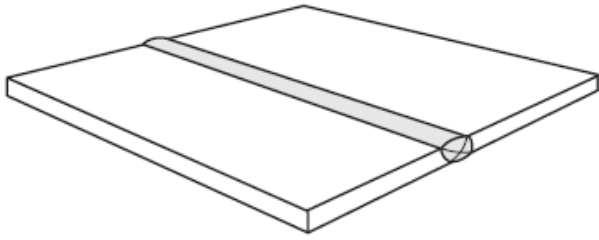


(A) 板至结构件

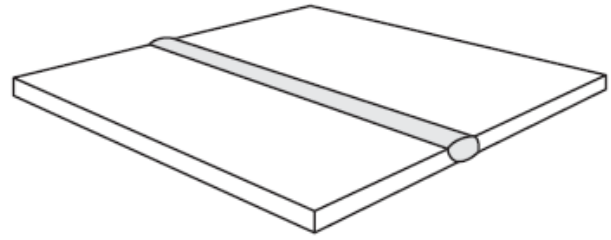


(B) 板至板

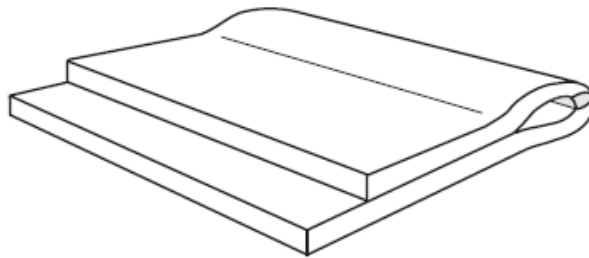




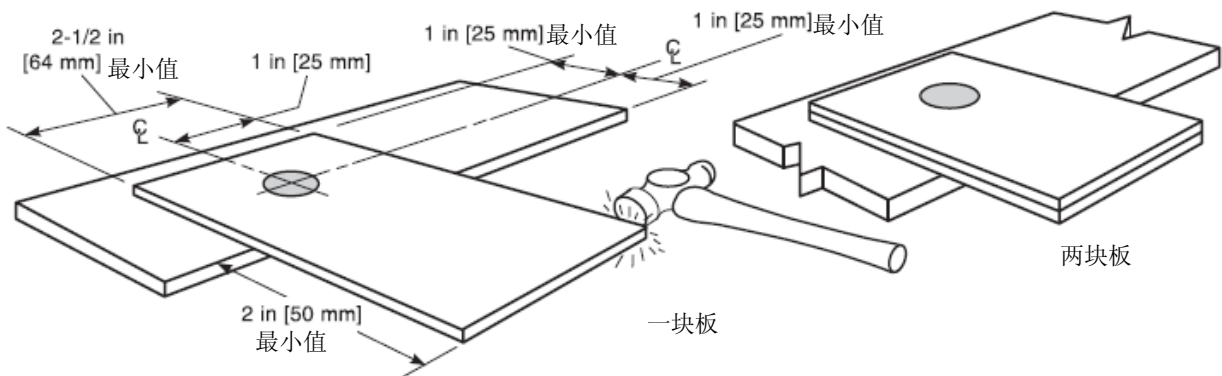
(A) 从两侧焊接的直坡口对接接头

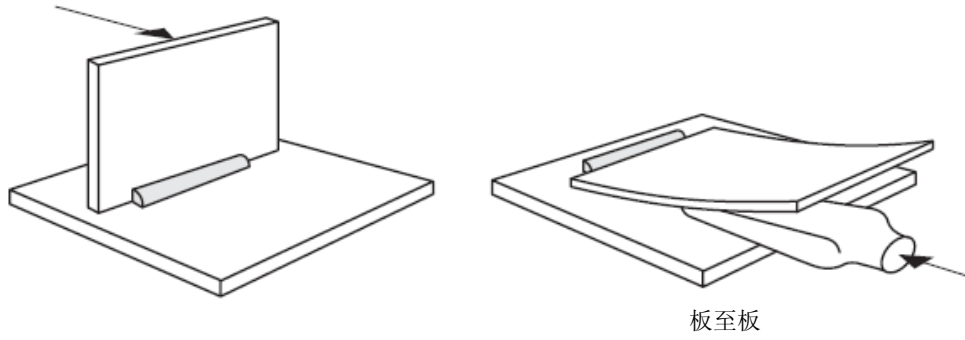


(B) 从一侧焊接的直坡口对接接头

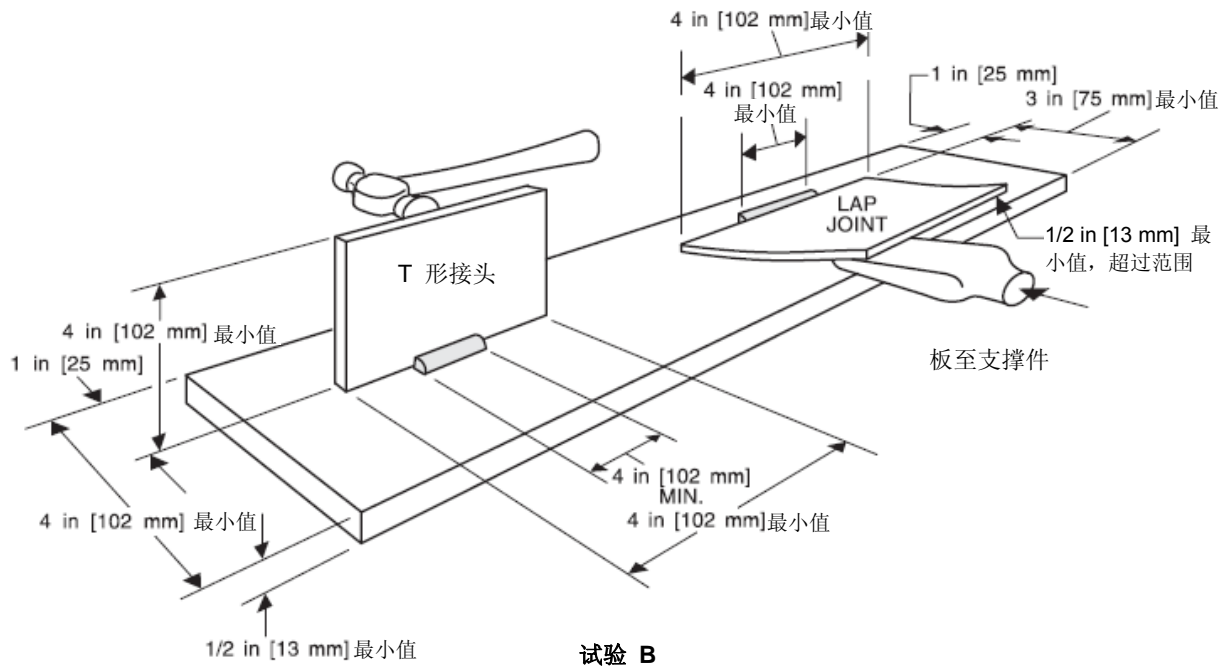


(C) 弯曲结束后的焊接接头

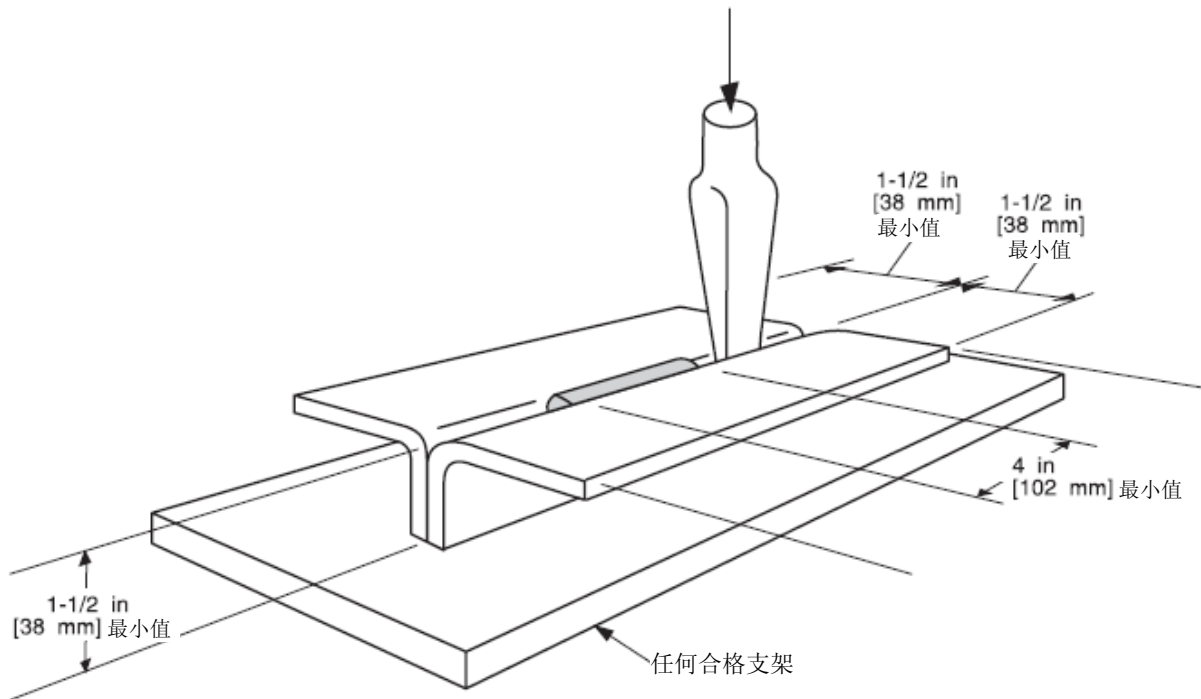




试验 A



试验 B



19. 焊工、焊接操作员和点焊工资格评定—碳钢、低合金钢和不锈钢板

如果对厚度小于 1/8 英寸 [3 mm] 的母材执行焊接，以下评定要求适用：

19.1 概述。

此处所述的资格评定试验是专门用于确定自动焊工完成质量良好的焊接工作的能力。应当根据程序规范的要求，执行表 19.2 中显示的评定试验，并且以与附录 D 中格式 D4 相同的格式记录。在实际施工期间，这些试验不可用作指南。

19.2 变量范围。

焊工应当需要胜任要采用的每项过程，并且可应变表 19.1 中列出的每项过程的任何变量变更。

19.2.1 焊工资格评定应当采用合格的焊接工艺规范。试验组件的数量和类型、试验方法以及试验结果应当符合表 19.2。

19.2.2 根据基于工艺评定记录的表 19.1 中参数内的焊接过程，成功完成工艺评定的焊工应被视为合格。

19.2.3 关于合格标准，请参见 18.2 的子条款。

19.3 重复试验

19.3.1 如果焊工、焊接操作工、电焊工没有符合一项或多项焊接试验的要求，可以允许重复试验。执行重复试验应当包括焊工、焊接操作员或点焊工未通过试验的每种试件。建议在重复试验前执行另外的备案培训。

19.3.2 一旦主管明显地发现执行试验的焊工、焊接操作员或点焊工不具备达到合格结果的所需技能，则可以在试验的任何阶段终止操作试验。

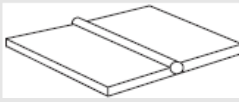
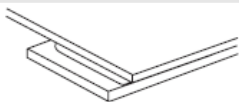


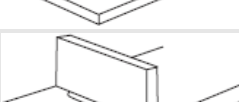

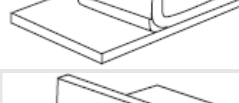
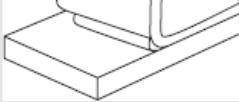
19.4 有效期。

资格评定应被视为无限期保持有效，除非：(1) 焊工、焊接操作员或电焊工没有参与给定的焊接过程，对此焊工的有效期不超过六个月；或 (2) 具有怀疑焊工、焊接操作工或点焊工的某些特定原因。

表 19.1
焊工资格评定的变量范围
FCAW、GMAW、GTAW 和 SMAW (参见 19.2)

需要重新评定的重要变量变更：	工艺			
	FC AW	GMAW	GTAW	SMAW
接头设计				
(1) 以下任何一种类型的接缝设计类型变更为另一种：	X	X	X	X
(a) 坡口焊缝				
(b) 填角、塞或槽焊缝				
(c) 单面喇叭形或 V 形焊缝				
(2) 漏掉而非添加衬底材料	X	X	X	X
母材				
(3) 从黑色金属更改为有色金属或从有色金属更改为黑色金属	X	X	X	X
(4) 有色金属材料中“M”号发生变更（涉及铝合金的更改除外）	X	X	X	X
(5) 母材厚度的变更比批准厚度高 50% 以上	X	X	X	X
(6) 涂层钢板到涂层钢板变化或涂层钢板变换为不同涂层的钢板	X	X	X	X
填充金属				
(7) 电极“F”编号更改为高于“F”的编号，与表 11.2 所列相同	—	—	—	X
(8) 钨极类型变更到符合 AWS A5.12M/A5.12	—	—	X	—
(9) 电极的直径变更超过 1/32 英寸 [0.8 mm]	X	X	X	X
(10) 填丝的直径变更超过 1/32 英寸 [0.8 mm]	—	—	X	—
(11) 添加或取消填充金属	—	—	X	—
工艺参数				
(12) 金属传输模式变更	—	X	—	—
保护气体				
(13) 从氩气含量超过 85% 的气体更改为氩气含量 85% 的气体，或反之	—	X	—	—
技术				
(14) 漏掉而非包括清根	X	X	X	X
(15) 焊接位置变更，表 19.2 允许时除外	X	X	X	X
(16) 在垂直焊接时，正在焊接的任何焊道从向上更改为向下，或从向下更改为向上	X	X	X	X

表 19.2
焊工资格评定试验
(见条款 18, 了解试验和验收)

试验组件如下所示:	类型:		评定:		试验次数	试验类型
	焊接接头	焊接位置	焊接位置	焊接接头类型		
	坡口接头, 板至板	F H V OH	F F, H F, V F, OH	所有坡口接头	2	弯曲试验
	角焊搭接接头 — 板至板	F H V OH	F F, H F, V F, OH	所有角焊接头	2	弯曲试验
	角焊搭接接头 — 钢板至支撑构件	F H V OH	F F, H F, V F, OH	所有角焊接头	2	弯曲试验
	角焊 T 形接头— 钢板至钢板	F H V OH	F F, H F, V F, OH	所有角焊接头	2	弯曲试验
	T 形接头中的角 焊缝 — 薄钢板 对支撑构件	F H V OH	F F, H F, V F, OH	所有角焊接头	2	弯曲试验
	斜喇叭形 — 钢 板至钢板	F H V OH	F F, H F, V F, OH	所有斜喇叭形坡口和斜 V 形坡口接头	2	弯曲试验
	斜喇叭形 — 钢 板至支撑构件	F H V OH	F F, H F, V F, OH	所有斜喇叭形坡口和斜 V 形坡口接头	2	弯曲试验
	斜 V — 钢板至 钢板	F H V OH	F F, H F, V F, OH	所有斜喇叭形坡口和斜 V 形坡口接头	2	弯曲试验

20. 金属板的焊接技术和工艺

20.1 待焊接表面应平滑、均匀且不含任何翘片、热裂、裂纹或其他将对焊缝质量或强度产生不利影响的缺陷。

20.2 此外, 待焊接表面与邻近焊缝的表面必须没有疏松或厚的氧化皮、焊渣、锈、潮气、油脂或其他妨碍正常焊接或产生有害烟雾的外来物质。

20.3 承受剧烈钢丝刷洗、较薄防锈涂层、镀锌涂层或防溅剂的轧屑可能会依然存在。

20.3.1 当表面潮湿或暴露在雨水、冻雨、雪或强风环境中, 则不得执行焊接。另外, 对于碳钢和低合金钢母材, 环境温度和母材温度应当至少为 32°F [0°C]。若要焊接铝制母材, 环境温度和母材温度应当至少为 50°F [10°C]。

20.3.2 如果温度低于 6.1.3 和 6.1.4 需要的值，则应当预热，以便达到最低母材温度。在焊接前若无充分预热，环境温度应当不低于 50°F [10°C]。

20.4 应对接头详图进行安排以便提供最佳焊接位置（有关焊接位置的定义，参见图 10.1 和 10.2）。

21. 金属板焊接用焊接程序评定和设备检查

21.1 监造检验员可以确定，尽量根据条款 9、18.2.1 或 18.2.2 评定所有焊接程序，并且纳入到焊接工艺规范中。

21.2 监造检验员应检验加工所用的焊接设备，并确认其符合 6.1.2 的要求。

21.3 对于厚度为 1/8 英寸 [3 mm] 及更大的材料，监造检验员应只允许按照条款 11，12 或 13 的要求通过资格评定的焊工、自动焊工和定位焊工进行焊接操作。对于厚度小于 1/8 英寸 [3 mm] 的材料，条款 19 和 20 的要求应当适用。

22. 焊缝详情 – 金属板

厚度低于 1/8 英寸 [3 mm] 的材料应当符合对厚度为 1/8 英寸 [3 mm] 及以上的材料列出的要求，下面注明时除外：

22.1 坡口焊缝（对焊接头）

坡口焊缝根部间隙应当满足图 18.1 的要求。

22.2 填角焊缝

构成 T 形或搭接接头的填角焊缝根部间隙不得超过较薄件厚度的 0.5 倍

23. 金属板焊接质量 一目视检查合格标准

咬边的累计长度不得大于 $L/8$ ，其中 L 为焊缝的指定长度或圆周（采用电弧点焊缝时），前提是焊缝金属和母材之间存在熔焊。咬边深度不在检查范围内，无需进行测量。致使形成小孔的熔融现象属于不合格。

附录 A（规范性附录） 替代母材规格（钢）

本附录是标准 AWS D15.1/D15.1M:2012《车辆和机车焊接规范》的一部分，还包括用于本标准的强制性要求。

本附录提供 AWS B2.1/B2.1M 中可能包含或不包含的铁路工业所用钢的材料编号和组号。

表 A.1
母材规格指数 (钢)

标准	母材规格	材料编号	分组编号	类型、牌号或合金	UNS 编号	母材类型
ASTM	A27	1	1	牌号 U		
ASTM	A27	1	1	牌号 60		
ASTM	A27	1	2	牌号 65		
ASTM	A27	1	2	牌号 70		
ASTM	A47	2C	4	牌号 32510		
ASTM	A47	2C	4	牌号 35018		
ASTM	A48	2A	4	等级 20		
ASTM	A48	2A	4	等级 25		
ASTM	A48	2A	4	等级 30		
ASTM	A48	2A	4	等级 35		
ASTM	A48	2A	4	等级 40		
ASTM	A48	2B	—	等级 45		
ASTM	A48	2B	—	等级 50		
ASTM	A48	2B	—	等级 55		
ASTM	A159	2A	4	牌号 1800		
ASTM	A159	2A	4	牌号 2500		
ASTM	A159	2A	4	牌号 3000		
ASTM	A159	2A	—	牌号 3500		
ASTM	A159	2A	—	牌号 4000		
ASTM	A197	2C	4	牌号 4000		
ASTM	A220	2D	4	牌号 40010		
ASTM	A220	2D	4	牌号 45006		
ASTM	A220	2D	4	牌号 45008		
ASTM	A220	2E	4	牌号 50005		
ASTM	A220	2E	4	牌号 60004		
ASTM	A436	2F	—	全部		
ASTM	A439	2G	—	全部		
ASTM	A602	2E	4	全部		
ASTM	A659	1	1	—		
ASTM	A744	8	1	TP304L	S30403	注 a
ASTM	A744	8	1	TP316L	S30603	注 a
ASTM	A744	8	1	TP317L	S30703	注 a
ASTM	A744	8	1	TP321	S32103	注 a
ASTM	A744	8	1	TP347	S34703	注 a
AAR	M201	1	1	牌号 A		
AAR	M201	1	2	牌号 B		
AAR	M201	1	3	牌号 B+		
AAR	M201	1	4	牌号 C		
AAR	TC128	1	3	牌号 B		

附录 B（资料性附录） 填充金属分类

本附录不是标准 AWS D15.1/D15.1M:2012 车辆和机车铁路焊接规范的一部分，仅用于参考。

表 B.1 所示焊接电极和焊条的“F”好主要取决于其可用特性，这些特性基本以给定填充金属和工艺决定焊缝合格。进行分组以尽量降低焊接程序和性能评定的数量（如果可进行逻辑分组）。分组并不意味着一个分组内的填充金属任意地替代使用于评定试验中的金属，该评定试验未考虑母材和填充金属在冶金性能、焊后热处理、设计和服务要求以及机械性能方面的兼容性。

表 B.1
评定用焊接电极和焊条分组

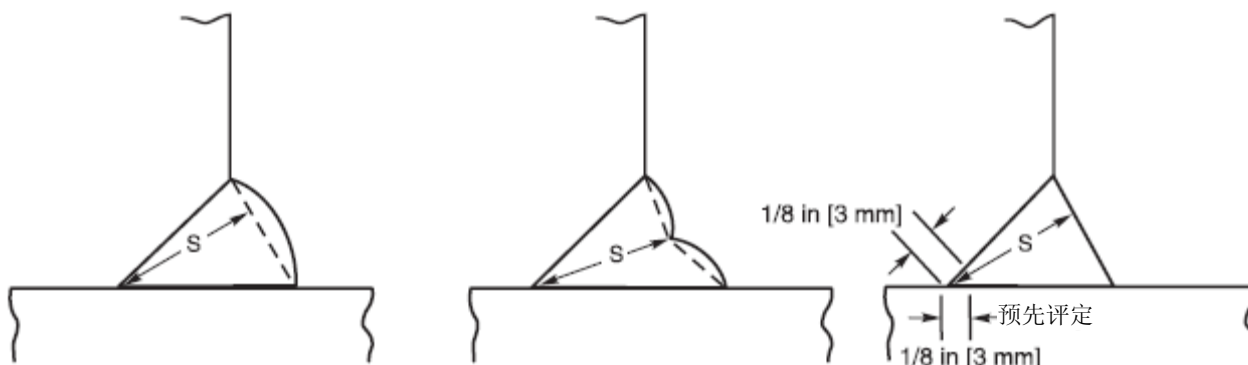
F 编号	AWS 规范	AWS 分类
钢和钢合金		
1	A5.1/A5.1M	EXX20, EXX22, EXX24, EXX27, EXX28
1	A5.4/A5.4M	EXXX(X)-26
1	A5.5/A5.5M	EXX20-X, EXX27-X
2	A5.1/A5.1M	EXX12, EXX13, EXX14, EXX19
2	A5.5/A5.5M	E(X)XX13-X
3	A5.1/A5.1M	EXX10, EXX11
3	A5.5/A5.5M	E(X)XX10-X, E(X)XX11-X
4	A5.1/A5.1M	EXX15, EXX16, EXX18, EXX18M, EXX48
4	A5.4/A5.4M 非奥氏体和成对物	EXXX(X)-15, EXXX(X)-16, EXXX(X)-17
4	A5.5/A5.5M	E(X)XX15-X, E(X)XX16-X, E(X)XX18-X, E(X)XX18M, E(X)XX18M1
5	A5.4/A5.4M 奥氏体和成对物	EXXX(X)-15, EXXX(X)-16, EXXX(X)-17
6	A5.2/A5.2M	所有分类
6	A5.9/A5.9M	所有分类
6	A5.17/A5.17M	所有分类
6	A5.18/A5.18M	所有分类
6	A5.20/A5.20M	所有分类
6	A5.22/A5.22M	所有分类
6	A5.23/A5.23M	所有分类
6	A5.25/A5.25M	所有分类
6	A5.26/A5.26M	所有分类
6	A5.28/A5.28M	所有分类
6	A5.29/A5.29M	所有分类
6	A5.30/A5.30M	INMs-X, IN5XX, IN3XX(X)
铝和铝合金		
21	A5.3/A5.3M	E1100
21	A5.3/A5.3M	E3003
21	A5.10/A5.10M	ER1100
21	A5.10/A5.10M	R1100
21	A5.10/A5.10M	ER1188
21	A5.10/A5.10M	R1188
22	A5.10/A5.10M	ER5183
22	A5.10/A5.10M	R5183
22	A5.10/A5.10M	ER5356
22	A5.10/A5.10M	R5356
22	A5.10/A5.10M	ER5554
22	A5.10/A5.10M	R5554

表 B.1 (续)
评定用焊接电极和焊条分组

F 编号	AWS 规范	AWS 分类
铝和铝合金 (续)		
22	A5.10/A5.10M	ER5556
22	A5.10/A5.10M	R5556
22	A5.10/A5.10M	ER5654
22	A5.10/A5.10M	R5654
23	A5.3/A5.3M	E4043
23	A5.10/A5.10M	ER4010
23	A5.10/A5.10M	R4010
23	A5.10/A5.10M	ER4043
23	A5.10/A5.10M	R4043
23	A5.10/A5.10M	ER4047
23	A5.10/A5.10M	R4047
23	A5.10/A5.10M	ER4145
23	A5.10/A5.10M	R4145
23	A5.10/A5.10M	ER4643
23	A5.10/A5.10M	R4643
24	A5.10/A5.10M	ER4009
24	A5.10/A5.10M	R4009
24	A5.10/A5.10M	R4011
24	A5.10/A5.10M	R-206.0
24	A5.10/A5.10M	R-C355.0
24	A5.10/A5.10M	R-A356.0
24	A5.10/A5.10M	R-357.0
24	A5.10/A5.10M	R-A357.0
25	A5.10/A5.10M	ER2319
25	A5.10/A5.10M	R2319

附录 C (资料性附录) 有效焊接尺寸 — 特殊案例

本附录不是标准 AWS D15.1/D15.1M:2012 车辆和机车铁路焊接规范的一部分，仅用于参考。



C1. 组合局部渗透坡口焊缝和填角焊缝

有效焊缝尺寸 (S) 是从焊缝根部到设计焊缝表面的最小距离，根据 7.1.1 需要减少 1/8 英寸 [3 mm]，凹面较少。

C2. 斜 T 形接头中角焊缝的有效焊缝尺寸

表 C.1 显示了 60° 至 135° 二面角范围内的等效焊脚尺寸因素，假设不存在焊缝根部间隙。对于尺寸为 1/16 英寸 [2 mm] 或更大但不超过 3/16 英寸 [5 mm] 的焊缝根部间隙，可以直接加至焊脚尺寸。如下例所示，可使用给定二面角对应的等效焊脚尺寸因数来计算斜接头中角焊缝所需的焊脚尺寸。

示例：

(美国常用单位)

给定值：斜 T 形接头角度：75°，焊缝根部间隙：1/16 英寸

要求值：强度等同于尺寸为 5/16 英寸的 90° 填角焊缝

步骤：(1) 表 7.2 中对 75° 给出的系数为 0.86

(2) 斜接头的同等支脚尺寸 w，
无焊缝根部间隙：

$$w = 0.86 \times 0.313 = 0.269 \text{ 英寸}$$

(3) 带根部间隙：

$$0.063 \text{ 英寸}$$

(4) 斜填角焊缝的所需支脚尺寸 w：[(2) + (3)]

$$w = 0.332 \text{ 英寸}$$

(5) 舍入到实际尺寸：

$$w = 3/8 \text{ 英寸}$$

示例：

(公制单位)

给定值：斜 T 形接头角度：75°，焊缝根部间隙：2 mm

要求值：强度等同于尺寸为 8.0 mm 的 90° 填角焊缝

步骤：(1) 表 7.2 中对 75° 给出的系数为 0.86

- (2) 斜接头的同等支脚尺寸 w ，无焊缝根部间隙： $w = 0.86 \times 8.0 = 6.9 \text{ mm}$
- (3) 带根部间隙： 2 mm
- (4) 斜填角焊缝的所需支脚尺寸 w ： [(2) +(3)] 8.5 mm
- (5) 舍入到实际尺寸： $w = 9.0 \text{ mm}$

对于拥有相等测定焊脚 (W) 的角焊缝，焊缝根部距离图解焊缝 (t_n) 表面的距离可按照下列公式计算：

对于焊缝根部间隙 $> 1/16$ 英寸且 $< 3/16$ 英寸 [$> 2 \text{ mm}$ 且 $< 5 \text{ mm}$]，使用

$$E = \frac{W - R}{2 \sin \frac{\Psi}{2}} \quad (\text{Eq. 1})$$

对于焊缝根部间隙 $< 1/16$ 英寸 [2 mm]，使用： $R = 0$

其中角焊缝测定焊脚 (W) 是焊缝表面距离相对焊趾的垂直距离，(R) 是零件之间的焊缝根部间隙（参见图 5.4）。可接受的焊缝根部间隙如 6.3 所定义。

表 C.1
斜 T 形接头角焊缝等效焊脚尺寸系数

二面角 Ψ	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°	95°	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°
等效焊脚尺寸系数 (参见条款 B2)	0.71	0.76	0.81	0.86	0.91	0.96	1.00	1.03	1.08	1.12	1.16	1.19	1.23	1.25	1.28	1.31

**附录 D（资料性附录）
报告样本格式**

本附录不是标准 AWS D15.1/D15.1M:2012 车辆和机车铁路焊接规范的一部分，仅用于参考。

预评定焊接工艺规范 (WPS)

材料规格 _____

焊接工艺 _____

手动或机器 _____

焊接位置 _____

填充金属规格 _____

填充金属分类 _____

通量 _____

焊接金属等级* _____

保护气体 _____ 流速 _____

单根或多根焊道 _____

单电弧或多电弧 _____

焊接电流 _____

极性 _____

焊接过程 _____

根部处理 _____

预热和焊层间温度 _____

焊后热处理 _____

焊接程序 _____ 无 _____

*仅在填充金属没有 AWS 分类时适用

焊接程序

焊道编号	焊条尺寸	电气特性		行走速度	接头详情
		电流 (安培)	电压 (伏特)		

由于 AWS D15.1:(____) (年份)《车辆和机车的铁路焊接规范》中给定变量限制范围内的制造顺序、安装、焊道尺寸等,该工艺可能会有所不同。

过程编号 _____

制造商或承包商 _____

版本号 _____

授权人 _____

格式 D-1

日期 _____

工艺评定记录 (PQR)

工艺规范

材料规格 _____

焊接工艺 _____

手动或机器 _____

焊接位置 _____

填充金属规格 _____

填充金属分类 _____

焊接金属等级* _____

保护气体 _____ 流速 _____

单根或多根焊道 _____

单电弧或多电弧 _____

焊接电流 _____

焊接过程 _____

预热温度 _____

焊后热处理 _____

焊工姓名 _____

*在填充金属没有 AWS 分类时适用

目视检查

外观 _____

咬边 _____

管道多孔 _____

试验日期 _____

见证人 _____

坡口焊缝试验结果

抗拉强度, psi

1. _____

2. _____

导向弯曲试验 (2 个根部弯曲、2 个表面弯曲或 4 个侧弯曲)

根部

表面

1. _____ 1. _____

2. _____ 2. _____

射线-超声波检验

射线试验报告编号 _____

超声波试验报告编号 _____

角焊缝试验结果

最小尺寸的多焊道 _____

最大尺寸的单焊道 _____

宏观腐蚀

宏观腐蚀

1. _____ 2. _____ 1. _____ 3. _____

3. _____ 2. _____

所有焊缝金属张力试验

抗拉强度, psi _____

屈服点/强度, psi _____

2 英寸时伸长率, % _____

实验室试验编号 _____

焊接程序

焊道编号	焊条尺寸	电气特性		行走速度	接头详情
		电流 (安培)	电压 (伏特)		

由于 AWS D15.1:() (年份)《车辆和机车的铁路焊接规范》中给定变量限制范围内的制造顺序、安装、焊道尺寸等,该工艺可能会有所不同。

过程编号 _____

制造商或承包商 _____

版本号 _____

授权人 _____

格式 D-1

日期 _____

预评定焊接工艺规范 (WPS)

材料规格 _____

焊接工艺 _____

手动或机器 _____

焊接位置 _____

填充金属规格 _____

填充金属分类 _____

通量 _____

焊接金属等级* _____

保护气体 _____ 流速 _____

单根或多根焊道 _____

单电弧或多电弧 _____

焊接电流 _____

极性 _____

焊接过程 _____

根部处理 _____

预热和焊层间温度 _____

焊后热处理 _____

焊接程序 _____ 无 _____

*仅在填充金属没有 AWS 分类时适用

焊接程序

焊道编号	焊条尺寸	电气特性		行走速度	接头详情
		电流 (安培)	电压 (伏特)		

由于 AWS D15.1:(____) (年份)《车辆和机车的铁路焊接规范》中给定变量限制范围内的制造顺序、安装、焊道尺寸等,该工艺可能会有所不同。

过程编号 _____

制造商或承包商 _____

版本号 _____

授权人 _____

格式 D-3

日期 _____

焊工和焊接操作员资格评定记录

焊工或焊接操作员姓名 _____ 标识号 _____

焊接工艺 _____ 手动 _____ 半自动 _____ 机器 _____

(平整、水平、架空或垂直—如果处置, 则注明是否朝上或朝下。)

符合工艺规格编号 _____

材料规格 _____

直径和壁厚(若管道) — 否则注明接头厚度 _____

厚度范围评定 _____

填充金属

规范编号 _____ 分类 _____ F 编号 _____

描述填充金属(如果 AWS 规范没有包含) _____

使用背垫条吗? _____

填充金属直径及商标名称 _____ 气体金属电弧或药芯焊丝弧焊用埋弧焊或气体通量

目视检查

外观 _____ 咬边 _____ 管道多孔 _____

导向弯曲试验结果

类型	结果	类型	结果

试验执行人 _____

实验室试验编号 _____

执行标准 _____

试验日期 _____

角焊缝试验结果

外观 _____

角焊缝尺寸 _____

断裂试验根部渗透 _____

宏观腐蚀 _____

(描述试样任何裂缝或破裂的位置、性质以及尺寸)

试验执行人 _____

实验室试验编号 _____

执行标准 _____

试验日期 _____

射线试验结果

胶卷标识	结构	备注	胶卷标识	结构	备注

试验见证人 _____

实验室试验编号 _____

执行标准 _____

试验日期 _____

制造商或承包商 _____

授权人 _____

格式 D-4

日期 _____

焊缝的射线探伤报告

项目 _____

质量要求—剖面编号 _____

汇报给 _____

焊缝位置和标识草图

技术

射源 _____
胶卷至射源 _____
曝光时间 _____
屏幕 _____
胶卷类型 _____

(填写所有受到射线探伤的接头的长度、宽度和厚度)

[illegible]

射线照片_____

解释人_____

试验日期_____

格式 D-5

制造商或承包商_____

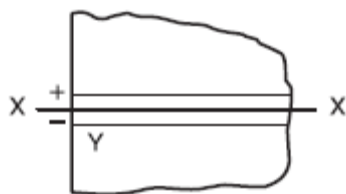
授权人_____

日期_____

焊缝位置和标识草图

焊缝的射线探伤报告

项目 _____ 报告编号 _____



焊缝标识 _____

材料厚度 _____

焊缝接头 AWS _____

焊接工艺 _____

质量要求—剖面编号 _____

备注 _____

焊线编号	标识号	转换角	源自表面	焊脚*	分贝				不连续性				不连续性评估	备注	
					指示级	基准级	减弱系数	指示额定值	长度	角度距离（良好焊道）	距“A”表面的深度	距离			
												从 X 开始			从 Y 开始
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															

我们在此署名声明，本记录中的陈述正确，并且根据 AWS D15.1: (_____) (年份) 车辆和机车的铁路焊接规范的要求对试验焊接进行准备和试验。

试验日期 _____

制造商 _____

检验人 _____

授权人 _____

格式 D-7

日期 _____

超声波装置合格证

超声波装置 序列号 日期
 型号
 探测装置 类型 检验人
 尺寸 MHz
 频率 ASNT 级

表格数据					
编号	a dB 读数	b % 刻度	c 校正读数	d dB 误差	e 总 dB 误差
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					

从 b 栏中找出平均 % 显示值, 这与前三个和后三个表格数据无关。将该百分比用作 %₂, 从而计算校正读数 c。

通过使 dB 读数 a 减去校正读数, 确立 dB 误差 d。从最接近 0.0 的表数据 dB 误差 d 开始, 累计加上 dB 误差 d 值和减去, 小计输入在 e 栏中 (总 dB 误差)。

在平均 % 线上下垂直移动, 找到最大的垂直范围 (在该范围内, 上部和底部的总 dB 误差保持在或低于 2 dB)。对垂直空间移动次数计数, 减去一, 使得数乘以六。该 dB 值是装置的可接受范围。

为了获得图形上的合格范围, 应当按照下述, 使格式 D-10 结合 D-8a 一同使用:

- (1) 使水平偏差上的累积 dB 误差 "e" 值与 dB 读数值 "a." 重合。
- (2) 确立一条曲线, 通过这一系列点。
- (3) 在该曲线上垂直定位 2 dB 高水平窗, 从而使得最长部分完全包含在 2 dB 误差高度内。
- (4) 该窗长度代表装置的可接受 dB 量程。

$$dB_2 = 20 \times \log (\%_2 \div \%_1) + dB_1$$

%2 (平局值) _____ %

总评定范围 _____ dB 至 _____ dB = _____ dB

总误差 _____ dB

总评定范围 _____ dB 至 _____ dB = _____ dB

总误差 _____ dB

格式 D-8a

注:

1. 若要获得额定值 “d”
 - (A) 仪器采用增益控制时, 使用公式 $a - b - c = d$ 。
 - (B) 仪器采用减弱控制时, 使用公式 $b - a - c = d$ 。
 - (C) 加或减信号必须附有 “d” 数字, 除非 “d” 等于零。
2. 距 X 的距离用作描述在与焊缝基准线垂直方向上焊缝不连续性的位置。加或减信号必须附有该数字, 仅在该数字等于零时除外。
3. 距 Y 的距离用作描述在与焊缝基准线平行方向上焊缝不连续性的位置。通过测量从焊缝的 “Y” 端到所述不连续起始处的距离, 方可获得该数字。
4. 对重新测试的经修理焊缝区域的评估应以另起一行的形式填入报告表中。如果使用原先的报告格式, 则 Rn 应置于指数前面。如果使用其他格式, 则应在报告编号前加注 R 编号。

*使用支脚 I、II 或 III。格式 D-8a (续)

格式 D-8a (续)

超声波装置合格证

超声波装置	序列号	日期
型号 UT77	00006	10-23-99
探测装置	类型	检验者
尺寸 1" 直径	BT	I.C.BLIPS
频率 2.25		ASNT 级 II

平局值
78%--

表格数据					
编号	a dB 读数	b % 刻度	c 校正数值	d dB 误差	e 总 dB 误差
1	6	69	7.1	-1.1	-2.3
2	12	75	12.4	-0.4	-1.2
3	18	75	18.3	-0.3	-0.8
4	24	77	24.1	-0.1	-0.5
5	50	77	30.1	-0.1	-0.4
6	36	77	36.1	-0.1	-0.3
7	42	77	42.1	-0.1	-0.2
8	48	78	48.0	-0.0	-0.1
9	54	77	54.1	-0.1	-0.1
10	60	78	60.0	0.0	0.0
11	66	79	65.9	+0.1	+0.1
12	72	80	71.8	+0.2	+0.3
13	78	81	77.7	+0.3	+0.6
14	84	86	83.1	+0.9	+1.5
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					

从 b 栏中找出平均 % 显示值, 这与前三个和后三个表格数据无关。将该百分比用作 %₂, 从而计算校正读数 c。

通过使 dB 读数 a 减去校正读数, 确立 dB 误差 d。从最接近 0.0 的表数据 dB 误差 d 开始, 累计加上 dB 误差 d 值和减去, 小计输入在 e 栏中 (累计 dB 误差)。

在平均 % 线上下垂直移动, 找到最大的垂直范围 (在该范围内, 上部和底部的累计 dB 误差保持在或低于 2 dB)。对垂直空间移动次数计数, 减去一, 使得数乘以六。该 dB 值是装置的可接受范围。

为了获得图形上的合格范围, 应当按照下述, 使格式 D-10 结合 D-8a 一同使用:

(1) 将集体分贝误差 "e" 数值垂直地作用于与分贝读数 "a" 一致的水平偏差。

(2) 确立一条曲线, 通过这一系列点。

(3) 在该曲线上垂直定位 2 dB 高水平窗, 从而使得最长部分完全包含在 2 dB 误差高度内。

(4) 该窗长度代表装置的可接受分贝量程。

$$dB_2 = 20 \times \log (\%_2 \div \%_1) + dB_1$$

%2 (平局值) **78** %

总评定范围 **12** dB 至 **78** dB = **66** dB

总误差 **1.7** dB

总评定范围 **10** dB 至 **80** dB = **70** dB

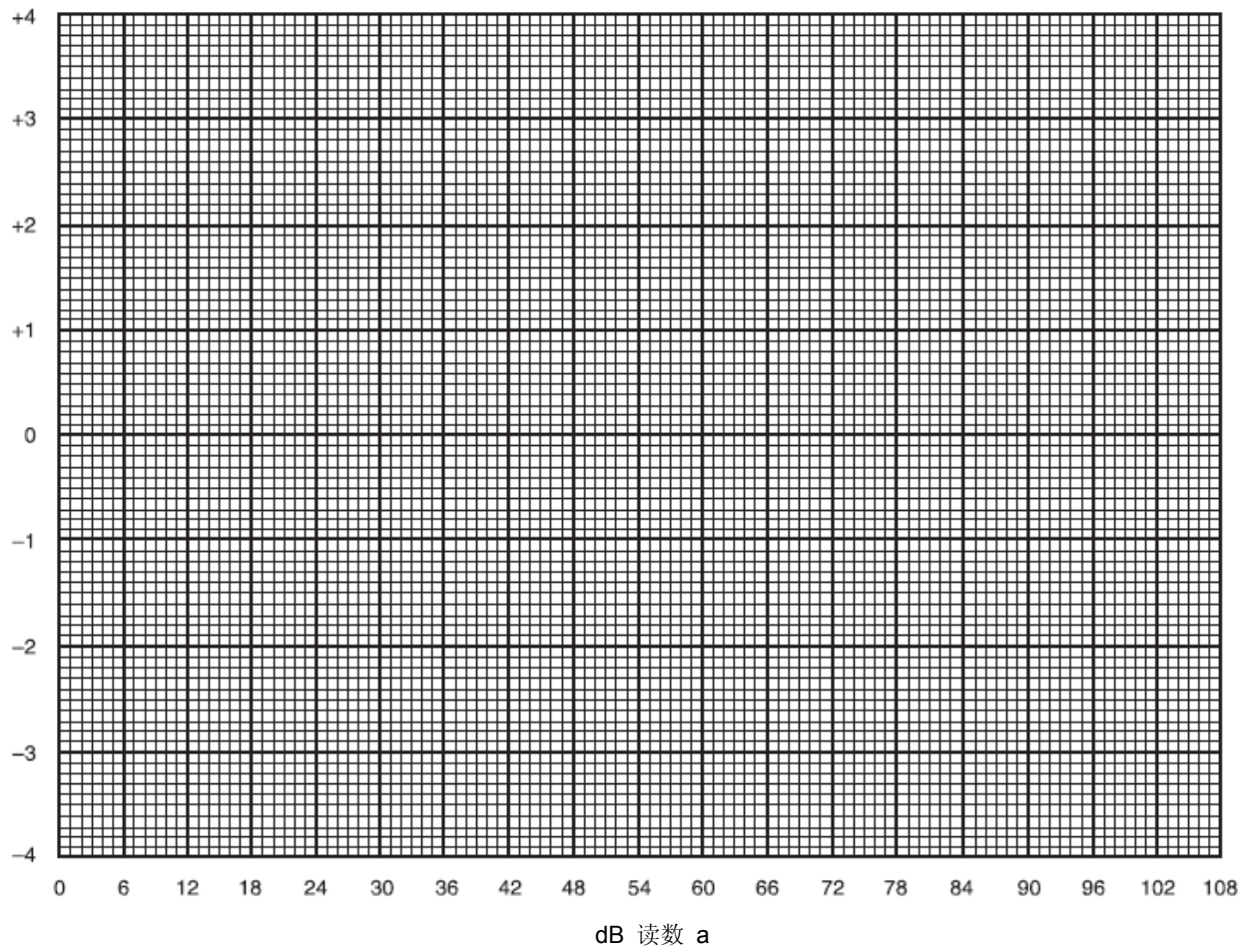
总误差 **2.0** dB

格式 D-8b

使用格式 D-8a 的示例

累计 dB 误差 e

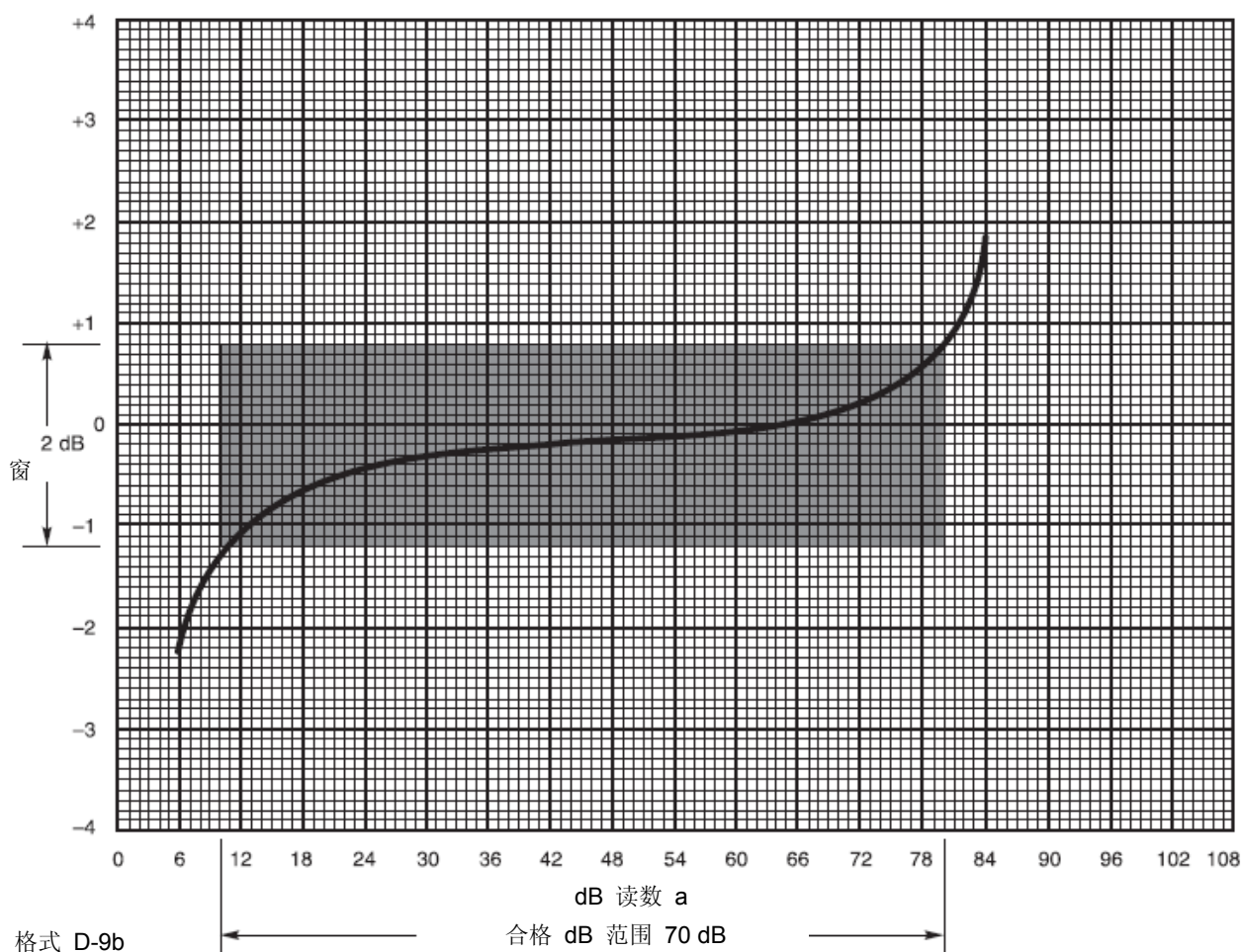
dB 精确度估算



格式 D-9a

dB 精确度估算

累计 dB 误差 e



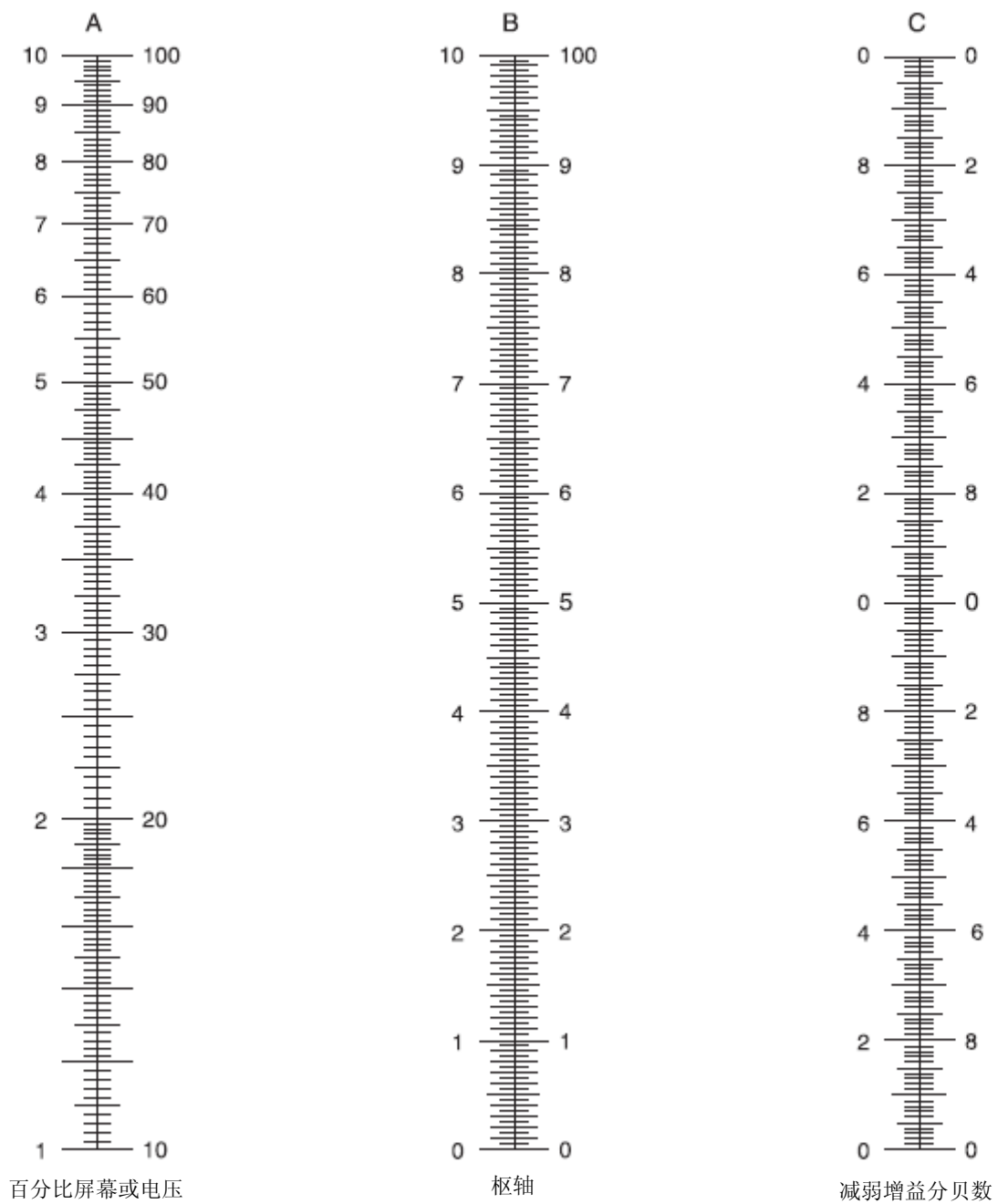
格式 D-9 示例中的曲线源自格式 D-8 (图 10.1) 的计算。

图 10.2 中阴影相交区域显示了用于评定本规范的示例单元的范围。

注：本示例显示来格式 D-8 所用示例的第一行。

使用格式 D-9a 的示例

分贝（减弱或增益）值列线图



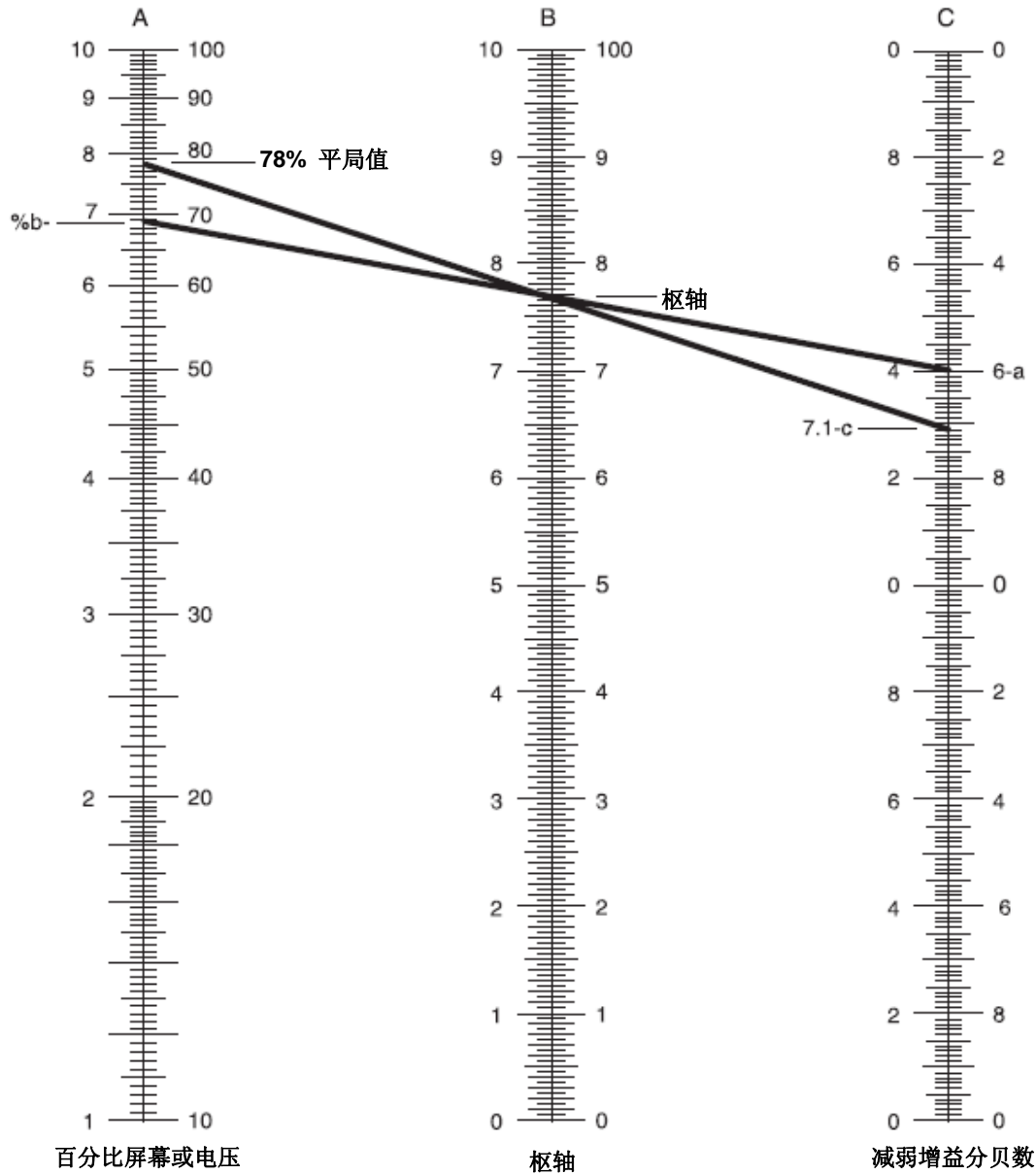
格式 D-10a

注：

1. 读数 6 dB 和刻度 67% 源自仪器读数，并且相应地变为 dB “b1” 和 %1 “c,”。
2. %2 时常量 80。
3. dB2 (纠正过的 dB “d”) 等于 20 倍X记录 $(80/67) + 6$ 或 7.54。

用列线图解决第 3 行的步骤如下例所示。

分贝（减弱或增益）值列线图



格式 D-8 示例中的曲线源自格式 D-8 示例的计算。格式 D-9 示例中阴影交叉区域显示用于评定本规范的示例单元的区域。

格式 D-10b

注：使用列线图的步骤：

1. 在 a 栏对刻度 C 适用的读数和 b 栏对刻度 A 适用的相对百分比之间延长一根直线。
2. 将步骤 1 所得直线与支点线 B 交叉的那点用作第二根直线的支点线。
3. 使源自刻度 A 上平均信号点的第二根直线延长通过第二步产生的支点，然后延长到 dB 刻度 C。
4. C 刻度上的点指示 C 栏上所用的纠正值 dB。

焊接工艺评定试验记录 (PQR) 的样本格式 (适用于碳钢、低合金和不锈钢板材金属)

公司名称 _____
 工艺评定试验记录编号 _____ 日期 _____
 焊接工艺规范编号 _____ 修订本 _____ 日期 _____
 焊接工艺 _____ 类型 _____
 (自动、手动等)

GMAW 过渡模式 _____
 (短路、喷射等)

接头

焊接接头类型 _____

衬垫 ☐ 是 ☐ 否

衬垫材料类型 _____

坡口焊接方向:
 一侧 _____ 两侧 _____

母材

母材规格、类型和等级:

钢板 _____ 至 _____

厚度 _____

支撑钢板 _____ 至 _____

厚度 _____

母材准备 _____

位置

坡口焊缝位置 _____

角焊缝位置 _____

焊接方向 _____

气体

保护气体 _____ 流速 _____

混合物百分比 _____

焊剂

填充金属 (表 5.1):

规格 _____

分类 _____

涂层

类型 _____

厚度 _____

目视检验结果

接头详情草图

试样 1 _____

试样 2 _____

电弧点焊疤直径 _____

试验执行人 _____

执行标准 _____

实验室试验编号 _____

试验日期 _____

技术

焊道编号	焊条尺寸	电气特性		行走速度	熔化速率	送丝速度
		电流 (安培)	电压 (伏特)			

焊工或焊接操作员姓名 _____

标识号 _____ 鉴定日期 _____

焊工社会保险编号 _____

我们在此署名声明, 本记录中的陈述正确, 并且根据 AWS D15.1: (_____) (年份) 车辆和机车的铁路焊接规范的要求对试验焊接进行准备、焊接和试验。

授权人 _____ 日期 _____

格式 D-11

工艺评定记录 (PQR)
(适用于铝和铝合金)

工艺评定试验记录编号

日期_____

WPS 编号_____工艺

1. _____ 2. _____

1. _____ 2. _____

设计草图

焊接顺序草图

母材

组号_____至_____

合金和回火_____至_____

厚度_____至_____

填充金属

F 编号 _____

AWS 等级 _____

直径_____

保护气体 _____

组分百分比 _____

流量_____

钨极 (STAW) _____

尺寸_____

类型_____

垫条类型 _____

合金_____

清根_____

焊道编号	工艺编号	电流(安培)	电压(伏特)	行走速度

焊接电源类型_____

单电极或多电极_____

线状或波状焊道_____

焊接电流_____

交流或直流

极性_____

坡口位置_____

初始清洁程序

氧化物去除法_____

脱脂剂_____

焊层间清洁程序

去污剂_____

去除染色渗透剂_____

预热

预热温度_____

层间温度_____

焊后热处理

初始温度_____

最终温度_____

温度_____

时间_____

淬火_____

格式 D-12A

工艺评定记录 (PQR)
(适用于铝和铝合金)

坡口焊缝试验

样品编号	宽度	厚度	面积	极限拉伸负荷, lb	极限单位应力, psi	故障特性和位置

导向弯曲试验

弯曲类型	弯曲装置图号	结果	弯曲类型	弯曲装置图号	结果

目视检验 ☐ 合格 ☐ 不合格

缺陷类型和特性_____

角焊缝试验

疲劳试验 ☐ 合格 ☐ 不合格焊根融化 ☐ 是 ☐ 否宏观试验: 焊缝尺寸和轮廓 ☐ 合格 ☐ 不合格渗透 ☐ 合格 ☐ 不合格

焊工姓名_____工号_____钢印_____

试验执行人_____实验室_____

试验编号_____试验执行标准_____

我们在此署名声明, 本记录中的陈述正确, 并且根据 AWS D15.1: (_____) (年份) 车辆和机车的铁路焊接规范的要求
对试验焊接进行准备、焊接和试验。

签名_____

制造商

日期_____编制人_____

格式 D-12B

职位_____

焊接工艺规范 (WPS) 的样本格式
(适用于碳钢、低合金和不锈钢板材金属)

公司名称_____ 编制人_____

焊接工艺规范编号_____ 修订本_____ 日期_____

支持工艺评定试验记录编号_____

焊接工艺_____ 类型_____

(自动、手动等)

GMAW 过渡模式_____

(短路、喷射等)

接头

焊接接头类型_____

涂装

类型_____

衬垫 ☐ 是 ☐ 否

厚度_____

衬垫材料类型_____

接头详情草图

坡口焊接方向:

一侧_____ 两侧_____

母材

材料规格、类型和等级:

薄钢板_____ 至 _____

支撑钢板_____

厚度范围_____

薄钢板_____

支撑钢板_____

厚度_____

母材准备_____

填充金属

规格_____

分类_____

预热

最低预热温度_____

最高预热温度_____

位置

坡口位置_____

角焊缝位置_____

焊接方向_____

流速_____

气体

保护气体_____ 流速_____

混合物百分比_____

焊剂_____

技术

焊道编号	焊条尺寸	电气特性		行走速度	熔化速率	送丝速度
		电流 (安培)	电压 (伏特)			

AWS D15.1: (_____) (年份) 中给定变量限制范围内的制造顺序、安装、焊道尺寸等, 因此, 该工艺可能会有所不同。

授权人 _____ 日期 _____

格式 D-13A

焊接工艺规范 (WPS) (适用于铝和铝合金)

焊接程序

规范编号 _____ 日期 _____ 批准人 _____

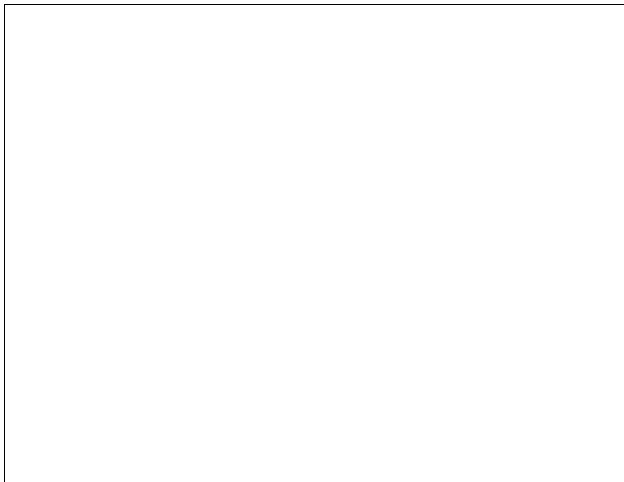
修订 _____ 日期 _____ 批准人 _____

支持 PQR 编号 _____

支持 PQR 编号 _____

接头

坡口设计草图



衬垫

类型 _____

永久性 _____

已移除 _____

其他 _____

母材

组号 _____ 厚度 _____ 至 _____

合金和回火

格式 D-13B (1)

填充金属

F 编号 _____ AWS 编号 _____

交流或直流

电极尺寸 _____

电极类型 _____

其他 _____

保护气体

保护气体 _____

组成成分百分比 _____

流速 _____

其他 _____

位置

坡口位置 _____

焊接过程 _____

其他 _____

预热

预热温度 _____

层间温度 _____

焊接工艺规范 (WPS)
(适用于铝和铝合金)

清洁

初始清除氧化物 _____
初始清除油和灰尘 _____
层间清洁 _____

焊后热处理

初始温度 _____
最终温度 _____
温度 _____
时间 _____
淬火 _____

工艺

工艺 _____ 类型* _____
工艺 _____ 类型* _____
电极 (GTAW) _____

技术

线状或波状焊道 _____
喷孔或喷嘴尺寸 _____
振荡 _____
接触管至工作距离 _____
单焊道或多焊道 _____ 每侧

钨延伸 _____
清根法 _____
其他 _____

*手动、自动、极性、脉冲等

焊道编号	工艺编号	电流(安培)	电压(伏特)	行走速度



焊接顺序草图

格式 D-13B (2)

焊工和焊接操作员资格评定试验记录的样本格式
(适用于碳钢、低合金和不锈钢板材金属)

焊工或焊接操作员姓名_____

标识号_____鉴定日期_____

焊工社会保险编号_____

依据的 WPS 编号_____修订本_____

焊接工艺_____类型_____

(自动、手动等)

GMAW 过渡模式_____

(短路、喷射、球形焊)

变量	鉴定试验过程中使用的实际变量	鉴定范围
接头		
接头类型	_____	_____
衬垫材料类型	_____	_____
坡口焊接方向: 一侧或两侧	_____	_____
母材		
材料规格:		
薄钢板	至	至
支撑钢板	_____	_____
钢板厚度:		
坡口焊缝	_____	_____
角焊缝	_____	_____
电弧点焊缝	_____	_____
电弧缝焊缝	_____	_____
涂层		
类型	_____	_____
厚度	_____	_____
位置		
坡口焊缝	_____	_____
角焊缝	_____	_____
电弧点焊缝	_____	_____
电弧缝焊缝	_____	_____
焊接方向	_____	_____
气体	_____	_____
电极		
尺寸	_____	_____
分组名称	_____	_____

目视检查结果 (6.7)

试样 1_____试样 2_____

外观_____裂纹_____咬边_____

钢筋_____电弧点焊疤直径_____

试验执行人_____试验执行标准_____

实验室试验编号_____试验日期_____

我们在此署名声明, 本记录中的陈述正确, 并且根据 AWS D15.1: (_____) (年份) 车辆和机车的铁路焊接规范的要求对试验焊接进行准备、焊接和试验。

公司 _____ 授权人 _____
格式 D-14A

**制造商的焊工或焊接操作员或轨道焊工的资格评定试验记录
(适用于铝和铝合金)**

姓名 _____ 工号 _____ 钢印 _____ 重新试验 _____

焊接工艺 _____ 类型 _____

依据的焊接工艺规程 WPS 编号 _____ 以及 PQR 编号 _____

材料组别 _____ 至组 _____ 合金 _____ 至 _____

试验材料厚度 _____

填充金属 F 编号 _____ AWS 等级 _____ 直径 _____

其他 _____

位置 _____ 衬垫材料 _____

(1G、2G、6G)

电气特性: 电流 _____ 极性 _____

保护气体 _____ 流量 _____

仅供参考

电源 _____

(制造商、型号、类型)

送丝装置 _____

焊枪 _____

目视检查

外观 _____ 咬边 _____ 管道多孔 _____

导向弯曲试验结果

弯曲类型	试样厚度, 英寸	弯曲装置图 号	弯曲直径, 英寸	结果	弯曲类型	试样厚度, 英寸	弯曲装置图 号	弯曲直径, 英寸	结果

射线探伤结果: 根据 5.7.3, 通过射线探伤检验坡口焊缝的替代鉴定 _____

试验执行人 _____ 实验室试验编号 _____

试验执行标准 _____

角焊缝试验结果

断裂试验 _____

(描述试样任何裂缝或破裂的位置、性质以及尺寸)。

缺陷的长度和百分比 _____ 英寸 _____ %

外观: 角焊缝尺寸 _____ 凹度或凸度 _____ 英寸

试验执行人 _____ 实验室试验编号 _____

试验执行标准 _____

我们在此署名声明, 本记录中的陈述正确, 并且根据 AWS D15.1: (_____) (年份) 车辆和机车的铁路焊接规范的要求对试验焊接进行准备、焊接和试验。

签名 _____ 编制人 _____

(组织)

日期_____ 职位_____

格式 D-14B

焊缝的射线探伤报告

项目_____

质量要求 — 截面编号 _____

报告人员 _____

焊缝位置和标识草图

焊接图纸编号 _____

基础合金

填料合金 _____

技术_____

电源 _____ kV _____ mA _____

胶卷至射源 _____

曝光时间 _____ 最小值 _____ 最大值 _____

屏幕 _____

胶卷类型 _____

(填写所有受到射线探伤的接头的长度、宽度和厚度)

[illegible]

我们在此署名声明，本记录中的陈述正确，并且根据 AWS D15.1: ()（年份）车辆和机车的铁路焊接规范的要求对试验焊接进行准备、焊接和试验。

射线照片_____ 制造商或承包商_____

译员_____ 授权人_____

格式 D-15 _____ 日期 _____

目视检验和着色探伤报告

项目 _____

质量要求 — 截面编号 _____

报告人员 _____

焊缝位置和标识草图



焊接图纸编号 _____

基础合金 _____

填料合金 _____

焊后处理 _____

着色渗透剂类型 _____

(填写所有受到射线探伤的接头的长度、宽度和厚度)

日期	焊缝标识	面积	说明		修补		备注
			合格	不合格	合格	不合格	

我们在此署名声明，本记录中的陈述正确，并且根据 AWS D15.1: (_____) (年份) 车辆和机车的铁路焊接规范的要求对试验焊接进行准备、焊接和试验。

检验员 _____

制造商或承包商 _____

日期 _____

授权人 _____

格式 D-16 _____

日期 _____

附录 E（资料性附录） 金属板和铝填料合金板选择指南的量规厚度

本附录不是标准 AWS D15.1/D15.1M:2012 车辆和机车铁路焊接规范的一部分，仅用于参考。

条款 18 – 23 中的文字和数字是指以英寸[毫米]为单位的基础金属厚度。装配工可以按标准厚度参照金属板厚度。表 E.1 和 E.2 是单位是英寸的板标准的换算，这适用于钢板和铝板。

表 E.3 是与卷 4：第七版焊接手册和 AWS A5.10/A5.10M“裸铝和铝合金焊接电极和焊棒”所述类似的铝电极/基础金属信息总结。为了便于没有获得其他两种资源的读者，可以复印此处内容。

表 E.1
热轧和冷轧金属板

制造商标准量规数量	厚度当量 英寸 [mm]
3	0.2391 [6.07]
4	0.2242 [5.70]
5	0.2092 [5.31]
6	0.1943 [4.94]
7	0.1793 [4.55]
8	0.1644 [4.18]
9	0.1495 [3.80]
10	0.1345 [3.42]
11	0.1196 [3.04]
12	0.1046 [2.66]
13	0.0897 [2.28]
14	0.0747 [1.90]
15	0.0673 [1.71]
16	0.0598 [1.52]
17	0.0538 [1.37]
18	0.0478 [1.21]
19	0.0418 [1.06]
20	0.0359 [0.91]
21	0.0329 [0.84]
22	0.0299 [0.76]
23	0.0269 [0.68]
24	0.0239 [0.61]
25	0.0209 [0.53]
26	0.0179 [0.46]
27	0.0164 [0.41]
28	0.0149 [0.38]

注：表 E.1 仅供参考。该产品通常指定为十进制厚度，而不是量规数量。

表 E.2
镀锌金属板

镀锌薄钢板量规数量	厚度当量 英寸 [mm]
8	0.1681 [4.27]
9	0.1532 [3.90]
10	0.1382 [3.51]
11	0.1233 [3.13]
12	0.1084 [2.75]
13	0.0934 [2.37]
14	0.0785 [1.99]
15	0.0710 [1.80]
16	0.0635 [1.61]
17	0.0575 [1.46]
18	0.0516 [1.31]
19	0.0456 [1.16]
20	0.0396 [1.01]
21	0.0366 [0.93]
22	0.0336 [0.85]
23	0.0306 [0.78]
24	0.0276 [0.70]
25	0.0247 [0.63]
26	0.0217 [0.55]
27	0.0202 [0.51]
28	0.0187 [0.47]
29	0.0172 [0.44]
30	0.0157 [0.40]
31	0.0142 [0.36]
32	0.0134 [0.34]

注：表 E.2 仅供参考。该产品通常指定为十进制厚度，而不是量规数量。

表 E.3^{a, b}
通用铝焊接用填充金属的选择指南

母材	201.0 206.0 224.0	319.0, 333.0, 354.0, 355.0, C355.0	356.0, A356.0, 357.0, A357.0, 413.0, 443.0, A444.0	511.0, 512.0, 513.0, 514.0, 535.0	7004, 7005, 7039, 710.0, 712.0	6009 6010 6070	6005, 6061, 6063, 6101, 6151, 6201, 6351, 6951	5456	5454
1060, 1070, 1080, 1350	ER4145	ER4145	ER4043 ^{c1, c2}	ER5356 ^{c3, c4}	ERSsse ^{03, 04}	ER4043 ^{c1, c2}	ER4043 ^{c2}	ER5356 ^{c4}	ER4043 ^{c2, c4}
1100, 3003, Alclad 3003	ER4145	ER4145	ER4043 ^{c1, c2}	ER5356 ^{c3, c4}	ERSsse ^{03, 04}	ER4043 ^{c1, c2}	ER4043 ^{c2}	ER5356 ^{c4}	ER4043 ^{c2, c4}
2014, 2036	ER4145 ^{c5}	ER4145 ^{c5}	ER4145	—	—	ER4145	ER4145	—	—
2219	ER2319 ^{c1}	ER4145 ^{c5}	ER4145 ^{c2, c3}	ER4043 ^{c2}	ER4043	ER4043 ^{c1, c2}	ER4043 ^{c1, c2}	—	ER4043 ^{c2}
3004, Alclad 3004	—	ER4043 ^{c2}	ER4043 ^{c2}	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c6}	ER4043 ^{c2}	ER4043 ^{c2, c6}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c6}
5005, 5050	—	ER4043 ^{c2}	ER4043 ^{c2}	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c6}	ER4043 ^{c2}	ER4043 ^{c2, c6}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c6}
5052, 5652i	—	ER4043 ^{c2}	ER4043 ^{c6}	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c6}	ER4043 ^{c2}	ER5356 ^{c3, c6}	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c6}
5083	—	—	ER5356 ^{c3, c4}	ER5356 ^{c4}	ER5183 ^{c4}	—	ER5356 ^{c4}	ER5183 ^{c4}	ER5356 ^{c4}
5086	—	—	ER5356 ^{c3, c4}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c4}	—	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c4}
5154, 5254i	—	—	ER4043 ^{c6}	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c6}	—	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c6}
5454	—	ER4043 ^{c2}	ER4043 ^{c6}	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c6}	ER4043 ^{c2}	ER5356 ^{c3, c6}	ER5356 ^{c6}	ER5554 ^{c3, c6}
5456	—	—	ER5356 ^{c3, c4}	ER5356 ^{c4}	ER5556 ^{c4}	—	ER5356 ^{c4}	ER5556 ^{c4}	
6005, 6061, 6063, 6101, 6151, 6201, 6351, 6951	ER4145	ER4145 ^{c2, c3}	ER4043 ^{c2, c6, c7}	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c3, c6}	ER4043 ^{c1, c2, c7}	ER4043 ^{c2, c6, c7}		
6009, 6010, 6070	ER4145	ER4145 ^{c2, c3}	ER4043 ^{c1, c2, c7}	ER4043	ER4043	ER4043 ^{c1, c2, c7}			
7004, 7005, 7039, 710.0, 712.0	—	ER4043 ^{c2}	ER4043 ^{c2, c6}	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c4}				
511.0, 512.0, 513.0, 514.0, 535.0	—	—	ER4043 ^{c6}	ER5356 ^{c6}					
356.0, A356.0, 357.0, A357.0, 413.0, 443.0, A444.0	ER4145	ER4145 ^{c2, c3}	ER4043 ^{c2, c8}						
319.0, 333.0, 354.0, 355.0, C355.0	ER4145 ^{c5}	ER4145 ^{c2, c3, c8}							
201.0, 206.0, 224.0	ER2319 ^{c1, c8}								

(续)

表 E.3^{a, b} (续)
通用铝焊接用填充金属的选择指南

母材	5154 5254 ^{c9}	5086	5083	5052 5652 ^{c9}	5005 5050	3004 镀铝 3004	2219	2014 2036	1100 3003 镀铝 3003
1060, 1070, 1080, 1350	ER5356 ^{c3, c4}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c4}	ER4043 ^{c2, c4}	ER1100 ^{c2, c3}	ER4043 ^{c2, c4}	ER4145 ^{c2, c3}	ER4145	ER1100 ^{c2, c3}
1100, 3003, Alclad 3003	ER5356 ^{c3, c4}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c4}	ER4043 ^{c2, c4}	ER1100 ^{c2, c3}	ER4043 ^{c2, c4}	ER4145 ^{c2, c3}	ER4145	ER1100 ^{c2, c3}
2014, 2036	—	—	—	—	ER4145	ER4145	ER4145 ^{c5}	ER4145 ^{c5}	
2219	ER4043	—	—	ER4043 ^{c2}	ER4043 ^{c1, c2}	ER4043 ^{c1, c2}	ER2319 ^{c1}		
3004, Alclad 3004	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c3, c6}	ER5356 ^{c6, c3}	ER5356 ^{c3, c6}			
5005, 5050	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c3, c4}	ER5356 ^{c3, c6}				
5052, 5652 ^{c9}	ER5356 ^{c6}	ER5356 ^{c4}	ER5356 ^{c4}	ER5654 ^{c3, c6, c9}					
5083	ERSsse ⁰⁴	ER5356 ^{c4}	ER5183 ^{c4}						
5086	ERSsse ⁰⁴	ER5356 ^{c4}							
5154, 5254 ^{c9}	ER5654 ^{c6, c9}								

^a 浸入淡水或盐水、接触特定化学物或承受高温（超过 150°F [166°C]）等工作环境会限制填充金属选择。建议不在持续高温工作环境下使用填充金属 ER5183、ER5356、ER5556 和 ER5654。

^b 本表中的建议适用于保护气体电弧焊工艺。关于氧气-燃料气体焊接，一般仅使用填充金属 ER1188、ER1100、ER4043、ER4047 和 ER4145。

^c 在没有列出填充金属时，建议不对混合的母材执行焊接。

1. ER4145 可能用于某些应用。
2. ER4047 可能用于某些应用。
3. ER4043 可能用于某些应用。
4. 可以使用 ER5183、ER5356 或 ER5556。
5. ER2319 可能用于某些应用。当焊缝经受焊后热处理和老化时，可以提供高强度金属。
6. 可以使用 ER5183、ER5356 或 ER5554、ER5556 和 ER5654。在某些情况下，它们能够：
 - (1) 增强阳极氧化处理的颜色匹配度。
 - (2) 最高焊缝导电性。
 - (3) 较高焊缝强度。
 ER5554 适合用于持续高温工作环境。
7. 在承受焊后溶液热处理和老化时，ER4643 会为 6XXX 基础合金的 1/2 英寸 [13 mm] 及更厚坡口焊缝提供高强度。
8. 有时使用与母材分析相同的填充金属。下列锻造填充金属会产生与铸造填料合金相同的化学成分：ER4009 和 R4009，例如 R-C355.0、ER4010；R4010，例如 R-356.0；R4011，例如 R-A356.0。
9. 母材合金 5254 和 5652 用于过氧化氢工作环境。ER5654 填充金属用于工作环境温度低于 150°F [66°C] 的合金焊接。
10. ER1100 可能用于某些应用。

附录 F（资料性附录） 宏观腐蚀程序

本附录不是标准 AWS D15.1/D15.1M:2012 车辆和机车铁路焊接规范的一部分，仅用于参考。

F1. 概述

本程序提供关于宏观腐蚀试样在准备宏观检验方面的建议。应当通过锉屑、加工或用砂纸研磨，使要侵蚀的表面平滑。采用不同合金时，侵蚀期限的差别为几秒到几分钟，并且应当继续到明显定义宏观结构为止。侵蚀后，应当彻底冲洗试样，然后通过暖气吹扫风干。在表面上涂上透明的薄漆会保护外观。

F2. 安全程序

F2.1 化学腐蚀剂。用作腐蚀剂的所有化学物存在潜在危险。使用腐蚀剂的所有人员应当完全熟悉相关化学物以及搬运和混合这些化合物的正确程序。

F2.2 搬运和混合酸。在混合所有化学品，特别是强酸时，务必采取预防措施。在任何情况下，混合时应当将化学品缓慢地加到水或溶液中。不得将水加到酸中。

F2.3 氢氟酸 HF。应当在聚乙烯容器中混合和使用氢氟酸溶液。

F2.4 搬运侵蚀性化学品的基本建议。在倾倒、混合或侵蚀是，务必采用防护服和设备（手套、围裙、护目镜或面罩等）。

(1) 应当使用称量、混合、装入或储存溶液的正确设备（玻璃或塑料）。

(2) 应当在通风柜中执行所有侵蚀。应当立即冲洗或擦掉溢出液。

(3) 不得使用没有识别的溶液。若有疑问，应当根据包括处理化学品或化学溶液的现有环境法，处理溶液。

(4) 应当根据制造商的建议，储存和搬运化学品；并且用户应当仔细阅读并遵守关于化学品容器的所有印出的预防措施。

(5) 若有关于正确使用化学品的疑问，请参见该化学品的材料安全说明书，或者联系化学品供应商或安全部门。

F2.5 腐蚀剂处理。应当根据联邦、州和当地法规，处理化学品。

F3. 侵蚀溶液和程序

小心：根据安全惯例审核 F2 安全程序。

建议根据要侵蚀的材料，根据指定使用用途应用下列侵蚀溶液：

F3.1 碳钢和低合金钢。建议碳钢可以使用三种腐蚀剂。下面列出了这三种腐蚀剂及其混合和使用说明。

(1) 硝酸。1% - 10% 硝酸溶于水或乙醇（首选乙醇）中。应当在室温下使用溶液，并且用玻璃搅拌棒滴溶液。

(2) 过硫酸铵。按照重量，加入一份过硫酸铵至九分水中。应当在室温下使用溶液，并且用一块溶液饱和的布充分擦拭要侵蚀的表面。

(3) 碘和碘化钾。按照重量，配备一份粉末状碘、两份粉末状碘化钾，然后加十份水。应当在室温下使用溶液，并且通过刷涂使用。

F3.2 不锈钢。对不锈钢宏观腐蚀有效的一种腐蚀剂是氯化铁、硝酸和水混合液。溶液包含：

氯化铁 (FeCl_3)	200 g
硝酸 (HNO_3)	300 ml
水 (H_2O)	100 ml

应当在室温下使用溶液，并且通过刷涂使用。

F3.3 铝和铝合金。推荐铝族及其合金的金属采用腐蚀剂。下述是它的混合和使用说明：在室温下使用下述溶液。通过涂在试样上，或者将试样浸入到溶液中，达到侵蚀。

盐酸（浓缩型）	15 ml
氢氟酸（浓缩型）	10 ml
水	85 ml

F3.4 铜和铜合金。建议用浓缩型硝酸侵蚀铜和铜合金。使用程序如下：

在室温下，通过往试样上涂满或者浸入到溶液中几秒钟，达到用溶液侵蚀的目的。在用水彻底冲洗后，按照 50-50 的浓度配备硝酸和水溶液，重复该侵蚀过程。如果是硅青铜合金，可能必须用水或乙醇擦拭表面，从而去除白色 (SiO_2) 堆积物。

F3.5 镍和镍基合金。建议镍和镍基合金可以使用三种腐蚀剂。下面列出了这三种腐蚀剂及其混合和使用说明。

F3.5.1 镍、铜-镍、镍-氯化-铁和镍-铜材料应当采用下列溶液。应当混合新鲜的溶液，并且将试样浸入到溶液中 30 秒 – 120 秒。按照下述混合溶液：

- 一份过氧化氢 H_2O_2 (30%)
- 两份盐酸 HCl
- 三份水 H_2O

F3.5.2 下列溶液称为 **Lepito** 腐蚀剂，适合用于镍、镍铬铁或镍-铜材料。通过擦洗或浸入，使溶液加到试样上。按照下述混合：

- 1 号溶液—15 硫酸铵 $(\text{HN}_4)_2\text{SO}_4$ 溶解于 100 ml 水中
- 2 号溶液—250 g 氯化铁溶解于 100 ml 温热的盐酸（浓缩型）中。

然后混合 1 号和 2 号溶液，混合结束后，加入 30 ml 硝酸（浓缩型）。最终生成的溶液称为 **Lepito** 腐蚀剂。

F3.5.3 下述腐蚀剂用于铬镍钼、铬镍钼铁和镍钼合金。应当混合新鲜的溶液，通过对试样加热可以降低反应时间。应当将试样浸入到溶液 30 秒 – 120 秒上。溶液应当包含以下：

- 一份过氧化氢 H_2O_2 (30%)
- 四份盐酸 HCl

F3.6 钛和钛合金。推荐对钛和钛合金采用两种通用腐蚀剂。下面列出来这两种腐蚀剂 **Kroll** 和 **Keller**。通过刷到试样上，或者将试样浸入到溶液中，涂上这两种腐蚀剂。随后的处理是用冷水冲洗。

(1) **Kroll** 腐蚀剂

氢氟酸 (48%)	1 ml - 3 ml
硝酸 (浓缩型)	2 ml - 6 ml
制备溶液的水	100 ml

(2) Keller 腐蚀剂

氢氟酸 (48%)	1/2 ml
硝酸 (浓缩型)	2-1/2 ml
酸 (浓缩型)	1-1/2 ml
制备溶液的水	100 ml

F3.7 锆和锆合金。建议对锆和锆合金采用一种腐蚀剂。溶液如下所示，通过擦拭试样或将试样浸入到溶液中，涂上溶液。

氢氟酸 (浓缩型)	3 ml
硝酸 (浓缩型)	22 ml
水	22 ml

附录G（资料性附录） 技术问询准备指南

本附录不是标准 AWS D15.1/D15.1M:2012 车辆和机车铁路焊接规范的一部分，仅用于参考。

G1. 简介

美国焊接协会 (AWS) 董事会采纳了一项政策，据此应以正式方式对 AWS 标准所有官方说明进行处理。根据该项政策，负责标准的委员会做出了所有说明。有关说明的官方沟通直接通过与委员会合作的 AWS 成员。政策要求以书面形式提交有关说明的所有请求。应尽可能快地处理此类请求，但是由于工作的复杂性以及必须遵循的程序，一些说明的处理可能会要求相当长的时间。

G2. 步骤

所有问询均应发送至：

总经理

技术服务部

美国焊接学会

8669 Doral Blvd. Doral, FL 33166

所有问询均应包含问询者的姓名、地址和所属机构，同时还应向委员会提供充分的信息，以便了解问询重点。如果问询重点未明确指定，则将返回咨询以便进行说明。为了进行有效处理，所有问询均应以下文指定格式用打印机打印。

G2.1 范围。除非问询重点涉及两项或更多相关条款，否则问询应对规范中的各项条款进行说明。条款应在问询范围以及规范（包含问询者当前进行说明的条款）版本范围内进行识别。

G2.2 问询目的。问询目的应在问询部分进行说明。问询目的包括获取关于标准要求的解释或请求对标准中的特定条款进行修改。

G2.3 问询内容。问询应简明、完整，以便确保委员会能够了解问询重点。适当时应使用草图，同时应引用问询中包含的所有段落和图表（或附录）。如果问询重点在于对规范进行修订，那么问询必须提供用于修订的技术证明。

G2.4 建议回复。问询者应对作为问询重点的条款说明或建议修订措辞（问询者力求实现）进行说明，作为建议回复。

G3. 标准条款的解释

标准条款必须由相关美国焊接协会 (AWS) 的技术委员会解释。委员会秘书将所有问询提交至特别小组委员会主席（其管辖范围涵盖问询说明的标准部分）。小组委员会对问询和建议回复进行审核，以便确定应对问询作出何种回复。小组委员会作出响应后，应向整个委员会提交问询和响应以供审批。委员会批准后，说明即代表协会的官方说明。秘书应将回复发送给问询者以及《焊接杂志》以便出版。

G4. 解释的公布

所有官方解释都将公布在《焊接杂志》上，同时将放在美国焊接协会网站上。

G5. 电话问询

向美国焊接协会总部进行的关于美国焊接协会标准的电话问询内容应仅限一般性问题或与标准用途直接相关的问题。《美国焊接协会董事会政策手册》要求所有美国焊接协会的成员应采用以下信息回复关于任何美国焊接协会标准的官方解释的电话问询：这个解释只能通过书面请求的形式获取。总部人员无法提供咨询服务。然而，总部人员可将呼叫者转至顾问（其姓名包含在美国焊接协会总部文件中）。

G6. 美国焊接协会技术委员会

根据新数据或技术，涉及解释的美国焊接协会委员会的活动严格限制在解释由委员会制定的标准条款或考虑现有条款的修订事项。美国焊接协会人员或委员会均不能就以下内容提供解释或咨询服务：**(1)** 具体工程问题；**(2)** 用于文件范围之外制造的标准要求；**(3)** 标准未特别涵盖的各点。在此类情况下，问询者应向在特定专业领域具备丰富经验的合格工程师寻求帮助。

AWS 铁路焊接文件列表

名称	标题
D15.1/D15.1M	车辆和机车铁路焊接工艺规范
D15.2/D15.2M	铁路车辆用轨道和相关组件的建议焊接规则