

如何焊接

操作技巧与规范

HOW TO WELD



【美】托德·布雷德格姆 (Todd Bridigum) 著

杨占鹏 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

如何焊接： 操作技巧与规范

[美]托德·布雷德格姆(Todd Bridigum) 著
杨占鹏 等译



机械工业出版社

本书由一位通过 AWS(美国焊接学会)资质认证,具有多年丰富焊接实践和教学经验的指导教师撰写。本书在介绍焊接安全、焊接技术术语和焊接基本理论知识的基础上,着重讲述了金属加工常用工具与设备、材料种类和特性、接头设计和焊接位置、氧气乙炔和其他压缩气体、常用焊接工艺与切割方法,以及金属制作等,特别是对常用焊接技巧进行了详细深入的介绍,并配有相应的练习和指导。本书具有通俗易懂、图文并茂、操作性强、适用性广的特点。适合焊接爱好者和专业人员使用,也可作为大中专院校相关专业的教材或拓展读物。

Copyright © 2008 by Todd Bridigum.

All rights reserved.

版权所有,侵权必究

北京市版权局著作权合同登记号:01-2012-3705

图书在版编目(CIP)数据

如何焊接:操作技巧与规范/(美)布雷德格姆(Bridigum,T.)著;
杨占鹏等译. —北京:机械工业出版社,2013.7

ISBN 978-7-111-42597-7

I. ①如… II. ①布… ②杨… III. ①焊接工艺 IV. ①TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 106685 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:赵海青 责任编辑:赵海青

版式设计:霍永明 责任校对:刘秀芝

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京利丰雅高长城印刷有限公司印刷

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21.5 印张 · 529 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-42597-7

定价:89.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

译者序

焊接是应用非常广泛的金属连接方法，它涉及航天、船舶、机车、汽车、石油、化工、采矿及机械制造行业、电力、电气和家电行业，建筑、装潢和雕塑领域，以及各种设备和用具维修等生产生活中的各个方面。掌握焊接技术既可以作为职业发展的本领，也可作为自己动手制作的一种爱好。本书作者托德·布雷德格姆，是一位通过 AWS(美国焊接学会)资质认证，具有多年丰富焊接实践和教学经验的指导教师。全书内容突出综合性和完整性，实用性和可操作性，力求为焊接初学者提供帮助，为有焊接经验的专业人员提供新的阅读材料和视角。

本书共 14 章。书中主要介绍了焊接安全、焊接技术术语、金属加工常用工具与设备、材料种类和特性、接头设计和焊接位置、氧气乙炔和其他压缩气体，以及气焊、钎焊、焊条电弧焊、熔化极气体保护电弧焊、钨极气体保护电弧焊，还有常用切割方法和金属制作等。特别是对常用焊接技巧的介绍比较详细、深入，并配有大量的图片和相应的练习与指导。全书具有通俗易懂、图文并茂、操作性强、适用性广的特点。本书适合焊接爱好者和专业人员使用，也可作为大中专院校相关专业的教材或拓展读物。

焊接涉及的术语很多，有一些我国已有规范，有一些没有规范。翻译过程中尽量尊重原文和依据我国规范。焊接工艺的名称大多采用英文首字母缩写，但第一次出现时均有中文名称。书中的英文缩写也可到附录 B 中查阅其含义。译文中同一问题的名称可能有不同说法，敬请读者注意。如钨极气体保护电弧焊(GTAW)与钨极氩弧焊(TIG)、母材金属和工件等，说法不同，其含义是相同的。

全书由杨占鹏翻译。参加翻译和校对工作的还有宋进桂、于京诺、陈燕、顾九春、田殿山、于美玉、杨鸿飞等。

由于译者水平所限，译文中可能存在许多问题，敬请专家和读者指正。

译者

前 言

许多书都写关于焊接的问题，所以当我接受挑战，写如何焊接的时候，试图与其他有关焊接的书有所区别。已出版的一些这方面的书技术性比较强，但让非专业人员去阅读是比较困难的。还有一些焊接方面的书专门就一个或两个焊接工艺进行介绍，但往往内容陈旧，或对怎样焊接介绍得不够。作为一名焊接指导教师，我已经教过几百名学生，并使他们在焊接方面获得了不同的成就。在我的教学实践经历中，一些人对焊接是有天赋的，而一些人学习焊接是比较困难的。只有少数几个人不能学会焊接，或许是由于过于怕飞溅的火花。

接下来的问题是，你能通过一本书学会如何焊接吗？或者说你需要一名指导教师的帮助吗？我认为指导教师在教室里的角色就是起到诊断者的作用。换言之，就是当一些人知道如何安全操作设备，并进行了一些基本练习以后，应让他们弄明白自己做错了什么并进行纠正。

发现和解决问题是做好焊接的关键。有时候可能是焊接设备发生了故障，或者使用的材料有问题，这是我必须首先查看并加以解决的。如果不是材料或设备的问题，那么，往往是操作者的错误——学员的焊接技术存在问题。这是一个比较难纠正的问题，因为它与每个人的手眼协调能力、身体姿势、距离和角度感，以及既有的习惯有关。如果没有指导教师告诉你应该注意和改进的事情，那么，要学会怎样焊接虽然说也不是不可能，但却是比较困难的。

在这本书中，我力求提供有用的信息，以便你能安全地进行焊接工作，并能发现和纠正你自己的问题，不过，我还是强烈建议你参加有关课程学习，以便获得更多的焊接练习时间以及使用各种焊接和金属加工设备的机会。请记住，指导教师的水平也参差不齐。如果你能从以前的焊接学员，或者从在当地焊接供应商那里工作的人获得建议，那么，你可能是找到了一位能够给予你许多帮助的指导者。

电弧焊 (AW)	
螺柱电弧焊	SW
原子氢焊	AHW
无保护金属丝电弧焊	BMAW
碳弧焊	CAW
气体保护碳弧焊	CAW-G
有保护碳弧焊	CAW-S
双碳极间电弧焊	CAW-T
气电立焊	EGW
药芯焊丝电弧焊	FCAW
气体保护药芯电弧焊	FCAW-G
自保护药芯电弧焊	FCAW-S
熔化极气体保护电弧焊	GMAW
熔化极气体保护脉冲电弧焊	GMAW-P
熔化极气体保护短路过渡电弧焊	GMAW-S
钨极气体保护电弧焊	GTAW
钨极气体保护脉冲电弧焊	GTAW-P
磁推力电弧焊	MIAW
等离子弧焊	PAW
焊条电弧焊	SMAW
埋弧焊	SAW
横列双丝埋弧焊	SAW-S

电阻焊 (RW)	
闪光焊	FW
压力控制电阻焊	RW-PC
凸焊	PW
电阻缝焊	RSEW
高频电阻缝焊	RSEW-HF
感应电阻缝焊	RSEW-I
压平缝焊	RSEW-MS
点焊	RSW
电阻对焊	UW
高频电阻对焊	UW-HF
感应电阻对焊	UW-I

固态焊 (SSW)	
挤压焊接	CEW
冷压焊	CW
扩散焊	DFW
热等静压扩散焊	HIPW
爆炸焊	EXW
锻压焊	FOW
摩擦焊	FRW
径向摩擦焊	FRW-DD
搅拌摩擦焊	FSW
惯性摩擦焊	FRW-I
热压焊	HPW
热轧焊	ROW
超声波焊	USW

软钎焊 (S)	
浸沾钎焊	DS
炉中钎焊	FS
感应钎焊	IS
红外钎焊	IRS
烙铁钎焊	INS
电阻钎焊	RS
火焰钎焊	TS
超声波钎焊	USS
波峰钎焊	WS

气焊 (OFW)	
空气乙炔焊	AAW
氧乙炔焊	OAW
氢氧焊	OHW
气压焊	PGW

硬钎焊 (B)	
块钎焊	BB
扩散钎焊	DFB
浸沾钎焊	DB
反应钎焊	EXB
炉内钎焊	FB
感应钎焊	IB
红外钎焊	IRB
电阻钎焊	RB
火焰钎焊	TB
双碳弧钎焊	TCAB

焊接和
连接工艺

其他焊接和连接	
粘接	AB
钎焊接	BW
电弧钎焊	ABW
碳弧钎焊	CABW
电子束钎焊	EBBW
热反应钎焊	EXBW
波峰钎焊	FLB
波峰焊	FLOW
激光钎焊	LBBW
电子束焊	EBW
高真空电子束焊	EBW-HV
中等真空电子束焊	EBW-MV
非真空电子束焊	EBW-NW
电渣焊	ESW
熔嘴电渣焊	ESW-CG
感应焊	IW
激光焊	LBW
冲击焊	PEW
热剂焊	TW

目 录

译者序

前言

第 1 章 焊接历史和工艺概述	1
1.1 焊接历史简介	1
1.2 焊接方法概述	2
1.3 焊接认证	3
1.4 熔焊与硬钎焊和软钎焊	6
1.5 最常见的焊接和切割方法及其相关名称	7
1.6 关于焊接练习	8
第 2 章 焊接安全	9
2.1 概述	9
2.2 车间安全事项	9
2.3 购买焊接设备	11
2.4 人身保护用品	13
2.5 焊接烟尘	18
2.6 受限空间	20
2.7 MSDS	20
第 3 章 金属加工常用工具和设备	21
3.1 概述	21
3.2 手动工具	22
3.3 测量工具	24
3.4 标记工具	26
3.5 切削工具	27
3.6 磨削工具	32
3.7 金属成形设备	34
第 4 章 金属种类和特性	35
4.1 金属成分和合金	35
4.2 金属结构形状	35
4.3 金属的命名和编号方法	38
4.4 黑色金属	39
4.5 金属的含碳量	39
4.6 钢的分级	40
4.7 碳素钢	40
4.8 合金钢	41

4.9	不锈钢	42
4.10	高硫钢(加硫钢或易切削钢)	43
4.11	锻铁(生铁)	43
4.12	铸铁	43
4.13	铸钢	44
4.14	锻钢	44
4.15	铜铅合金	44
4.16	有色金属(不含铁)	44
4.17	金属识别	47
4.18	晶粒结构(微观结构)	47
4.19	金属的性质	48
4.20	加热对金属性能的影响	51
4.21	金属的掺和	52
4.22	金属热处理	52
4.23	金属预热	53
4.24	退火	53
4.25	淬火硬化	53
4.26	调质	54
4.27	应力释放	54
4.28	金属件修复	55
第5章	接头设计、焊接位置和间断点	57
5.1	概述	57
5.2	角焊缝	57
5.3	角焊缝尺寸	60
5.4	坡口焊缝	61
5.5	塞焊和槽焊	64
5.6	多焊道焊缝	65
5.7	线状焊道和摆动焊道	66
5.8	接头设计	67
5.9	焊接位置	71
5.10	间断点和缺陷	73
第6章	氧气、乙炔和其他压缩气体	85
6.1	氧气	85
6.2	可燃气体	85
6.3	压缩气体钢瓶	87
6.4	氧乙炔成套装置	91
6.5	氧乙炔的应用	95
6.6	泄漏检查	97
6.7	氧燃料接通和关闭程序	98

6.8	氧乙炔焰	100
6.9	回火和逆燃	105
第7章	气焊	106
7.1	概述	106
7.2	焊丝	107
7.3	设备调试	108
7.4	焊接技巧	109
7.5	左焊法和右焊法	110
7.6	DASH 的影响	110
7.7	故障排除	113
7.8	特殊位置的焊接	114
7.9	圆管的焊接	117
7.10	焊缝的检验	117
7.11	还原现象	118
7.12	焊接练习	118
第8章	硬钎焊、铜钎焊和软钎焊	135
8.1	概述	135
8.2	焊接工艺	135
8.3	燃气和焊炬	136
8.4	钎剂	136
8.5	预涂(涂锡)和润湿	136
8.6	毛细作用(虹吸)	137
8.7	软钎焊	137
8.8	硬钎焊	138
8.9	硬钎焊和软钎焊技巧	139
8.10	焊缝的修复	141
8.11	工艺顺序	141
8.12	铜钎焊	141
8.13	铜钎焊技巧	142
8.14	角焊铜钎焊焊缝(搭接和 T 形接头)	143
8.15	铜钎焊的横焊和立焊	143
8.16	铜钎焊练习	143
第9章	电弧焊	151
9.1	概述	151
9.2	电弧焊的定义	152
9.3	电路或电流流动的路径	153
9.4	交流电和直流电	154
9.5	电弧焊的安全问题	156
9.6	电焊机及其电源	159

第 10 章 焊条电弧焊(SMAW)	167
10.1 概述	167
10.2 电焊机控制	167
10.3 优点	170
10.4 缺点	172
10.5 焊接器材	172
10.6 AWS 焊条编码方式	175
10.7 焊条的正确选择	176
10.8 焊接技巧	178
10.9 DASH	181
10.10 电弧偏吹	185
10.11 焊前准备	186
10.12 特殊位置焊接	187
10.13 焊接练习	189
10.14 使用 E6010/E6011 焊条焊接	201
10.15 E7018 焊条的特点	204
10.16 使用 E7018 焊条的焊接练习	204
第 11 章 熔化极气体保护电弧焊(GMAW)	207
11.1 概述	207
11.2 GMAW 的含义	208
11.3 GMAW/MIG 电焊机	208
11.4 电焊机控制	209
11.5 焊接用具	210
11.6 优点	220
11.7 缺点	220
11.8 电极	221
11.9 保护气体	222
11.10 保护气体的流量	224
11.11 调整电压和送丝速度	224
11.12 调整焊丝的张力	227
11.13 故障排除	229
11.14 焊接技巧	231
11.15 参数调整	236
11.16 药芯焊丝电弧焊	237
11.17 焊接练习	239
第 12 章 钨极气体保护电弧焊(GTAW)	252
12.1 概述	252
12.2 GTAW 电焊机	253
12.3 电焊机的控制	253

12.4	焊接用具	256
12.5	电极	259
12.6	焊条	261
12.7	保护气体	264
12.8	净化气体	265
12.9	调压器和流量计	265
12.10	优点	265
12.11	缺点	268
12.12	钨极的制备	268
12.13	电流调整	271
12.14	焊接技巧	271
12.15	DASH	274
12.16	焊前准备	276
12.17	焊接练习	278
第13章	切割工艺	290
13.1	切割过程中的安全问题	290
13.2	密封容器的切割	291
13.3	气割(氧燃气切割——OFC)	292
13.4	等离子弧切割(PAC)	299
13.5	碳弧气刨(CAC)	304
13.6	自动切割	306
第14章	金属制作与附加练习	308
14.1	变形的原因	308
14.2	残余应力	308
14.3	接头装配	309
14.4	焊道数目	309
14.5	焊缝形状	309
14.6	焊缝尺寸	309
14.7	中性轴	310
14.8	变形控制技巧	310
14.9	项目设计	312
14.10	项目操作	313
14.11	金属薄板的焊接	315
14.12	变形部件的校正	315
14.13	附加练习	316
附录		330
附录A	本书涉及的主要单位换算	330
附录B	本书涉及的主要英文缩写	330

第 1 章

焊接历史和工艺概述

1.1 焊接历史简介

设想一下焊接和金属加工对我们今天的生活质量是多么重要吧。如果世界上所有金属工件的焊缝都同时破裂，而且焊工不能修复它们，将会是什么状况呢？真那样的话，我们所熟悉的这个社会可能会崩溃，至少是生活必需的电力会消失。我们所有的人都依赖电能和许多有技能的专业人员来保持正常的生活，而发电厂的设备基本上都是通过焊接连接在一起，并且由管道工、钳工、钣金工、锅炉工、机械工等维护和运行。风能和太阳能电池板也是一样，它们也是依赖金属加工和焊接技术进行制造和安装的。

我相信，金属加工对今日世界的面貌具有最大的影响，这种影响从城市到农村甚至于太空无处不在。现在，我们在短期内往往还会认同这种看法，而且认为这种观点是可以理解的，因为我们使用的计算机、移动电话、电视等似乎每隔几年就会过时或淘汰，需要制作新的产品。如果我们回顾并看一下焊接领域的情况，用于加工和连接金属的技术是非常突出和不同寻常的。

大约 5500 年以前，人类从石器时代迈入青铜器时代。铜是第一种可以被加工的金属，因为它以其纯的形态存在于自然界，而且不需要从矿石中分离出铁便可以使用它。约在 3200 年前，人们发现了从岩石中分离出铁的方法，因而，开启了一个崭新的铁器时代。在这个时代，锻造熔接作为第一种金属连接工艺形成了。能够通过锻造熔接将铁块转变成为有用的铁制工具的人，今天我们称其为铁匠或锻工，但几千年前他们却被认为是具有魔力的人。金属加工作为一种工作和技巧的形成，经过了相当长的一段时间，而且我们几千年所拥有的一切几乎都与此关联。

后来，在 19 世纪晚期和 20 世纪早期，人们发明了气焊、电弧焊和电阻焊。这些突破性进展，与贝塞麦转炉（底吹酸性转炉，它使钢铁工业能制造出大量的优质钢）一起，共同引导工业革命从其最后阶段迈入现代。然而，如果我们考察一下布鲁克林大桥和埃菲尔铁塔，可以知道，这两个历史性建筑都是 19 世纪建造的，而且都是铆接在一起，而不是焊接的。那时候，焊接工艺只能焊接出硬而脆的焊缝，这不适合连接承受重负荷的较大钢铁构件。焊条上焊剂涂层技术的发展是使电弧焊用途更广泛的关键，但这种技术又经过了 50 年才趋于完善。到 20 世纪 30 年代，焊接被用于建造船舶、管道和摩天大楼。尽管战争不一定是好事，但可以说战争是许多技术（包括金属制造和加工技术）进步的主要因素。最大的战争，第一次、第二次世界大战和后来的冷战，促成了焊接技术的最大进步。战争中研究和发展的新技术最终逐步转变为民用。

现代设备使我们能够容易地在家中或小车间进行焊接工作，这些工作在以前往往需要花费铁匠数周的时间才能完成。在工厂，你能够看到几乎任何形状和大小的高质量钢、铝和其他金属构件，将这些构件连接在一起就如同扣动送丝焊枪的触发开关那么容易。

但是，焊接仍然是一种比较难以掌握的技巧。可以这样想像这一技术：我能够在某人的伤口上贴上创可贴，并给他一片阿司匹林，但这并不能使我成为一名医生。我能够更换家中的照明灯具及其开关，但这并不能说我是一名有技术的电工。某人能够焊出一条焊缝，并不能说明他已成为一名有技术的焊工。

好在我们不再是为了把金属连接起来而必须将我们的生命奉献给焊接这一职业。但我们应当认识到，知道如何做与成为专业人员之间的差别。专业人员在其职业中花费了生命的大部分时间学习和工作。新的金属加工、制造、连接方法，以及激光焊、电子束焊和摩擦焊等新焊接工艺的进一步发展，表明各种不同金属连接工艺新的发现和应用将会在可预见的未来继续下去。互联网和专业书是了解更多关于焊接和金属加工历史的很好资源。

1.2 焊接方法概述

焊接方法可以被分为两大类：手工焊接和自动焊接。本书只讲述手工焊接方法。焊工以这种方法进行操作时，他的技能将会对焊接效果和质量有直接影响。这可能会给试图使用焊接设备焊出高质量焊缝的焊工带来压力。

一些手工焊接方法被认为是半自动焊接，在这种焊接方法中，会有一个或几个方面由机械进行控制。例如，在送丝式焊接中，焊丝被自动通电并通过机械方式送入熔池。有两种焊接方法，等离子弧焊(PAW)和埋弧焊(SAW)，可以手动操作，但通常更多为自动进行，因而不在本书中讲述。这两种方法在工业中均有应用，但在多数金属加工车间并不常用，这是因为一般的车间没有这种焊接的需要，或缺乏这种焊接所需的较贵的设备。

在一些焊接方法中，无需手动控制焊接过程，而的确又是以自动的方式进行。然而，自动焊接一词用来描述这些种类繁多的焊接方法并不是确切的术语。在这些焊接过程中，焊工仍需要正确地准备好焊接设备和有关材料。

自动焊接举例如下：

1. 电阻焊，包括定位焊、缝焊和凸焊。
2. 固态焊，包括爆炸焊和摩擦(搅拌)焊。
3. 激光焊和激光切割。
4. 电子束焊。
5. 电渣焊。
6. 铝热焊。
7. 使用机器人系统的焊接。

以上这些焊接方法被广泛用于制造业和研究领域。机器人和自动焊接方法在过去几十年得到迅速发展，而且在机加工、焊接和金属成形方面的计算机数控(CNC)设备使这些领域发生了根本性变革。在目前的金属加工厂，焊工可能需要身兼数职，包括操作切割、折叠、冲压和成形金属的设备。因此，对焊工来说，非常重要的一方面是既要学习焊接技术，也要学会金



图 1-1 这是一种机器人全自动焊接系统。当大量的相同部件需要焊接时，使用这种系统非常有利。为这种系统编程并操作它的人应当具有焊接知识和技能的教育背景。焊接教育包括选择焊接方法，根据材料厚度、接头设计、焊接位置等正确设置和调整焊接设备，以及最终进行焊接质量评价等。而一个机器人是不能自行完成这些任务的。

属加工。如果你在自己拥有的车间工作，也需要做好这两方面的事情。

本书介绍的焊接工艺(以及相关的工具和设备)属于在各种大型和小型金属加工厂和车间每天使用的常见手工焊接工艺。

1.3 焊接认证

怎样才能成为一名有资质的合格焊工？这并没有一个简单的答案，如同许多不同组织为各种职业提供证书一样。焊接资格证书不同于许多其他职业证书，这是因为焊接存在着各种各样的可能性，并且缺乏一个集中的焊接协会或权威机构。有些组织如美国焊接学会(AWS)，致力于焊接的研究和进展，制定了焊接规程和标准，并已被许多单位用来鉴定雇员的焊接资格，但还没有形成一种适合人人使用的焊接资格测试。所以，一名合格的焊工是一位按照公司或组织提出的标准进行资格测试并顺利通过测试的员工。焊接规程或标准也概述了如何使用破坏性、非破坏性和目测检查等方法对焊接质量进行检验，并评估是否合格。比较清晰地概述焊接资质要求的组织也包括 ASME(美国机械工程师协会)国际锅炉和压力容器规程、(美国)国防部海军分部规程、石油协会 TD650 焊接储油钢罐规程，以及 AWS D1.1 结构钢规程等。这只是其中的几个例子而已。

使用哪一种规程进行焊接认证测试，取决于被焊接的金属结构或部件(摩天大楼、轨道车等)、所使用的材料种类、用来焊接母材金属的焊料种类、材料厚度、接头设计的类型以及焊接位置(如平焊、横焊、立焊和仰焊)等。由于这些变量中的每一个都可能变化，所以测试也就会有所不同。变化的可能性无限多，测试内容也不确定。通常，即使焊工具有资格证书，潜在雇主(可能雇工的雇主)也往往会使用同样或不同的标准对其再次进行资格认证，以确认焊工能够承担相应的工作。例如，一位管道安装工可能具有资格证书，但需要再次参

加并通过相同的测试，然后才能参与改造一个私人拥有的发电厂。



图 1-2 这是焊接认证中使用的金属板材和管件焊缝。图中左侧的坡口焊缝钢板已使用氧乙炔割炬切割成条块，以备弯曲测验之用。右侧的钢管被标注了焊接位置和焊工认证编号。中部的两块马蹄形金属件是经过弯曲测验的样件，上面的用于焊缝正面弯曲测验，而下面的用于焊缝背面弯曲测验。

焊接资格证书是证明某人具有焊接能力的必要法律文件。它也用来向潜在雇主表明焊工熟悉焊接方法和检测程序。仅仅根据某人说他是一位有资质的焊工并不能保证他有广泛的焊接知识，也不能保证他能够使用不同种类和厚度的金属，以及选择正确的接头设计、焊接位置和焊接方法进行很好的焊接。

通过加入一个焊接协会，到金属加工和焊接车间工作，然后参加一种资格认证考试，你可以获得焊接资格认证。你所在的当地 AWS 分会，或焊接测试机构提供焊接测试服务。首先应到当地的技术学院参加焊接课程的学习。焊接指导教师将回答你的问题，并介绍学院提供的授课内容。请记住，参加资格证书测试通常需要扎实的焊接基础知识和足够的实践时间，以提高你的焊接技能。当然，这也需要一些费用。

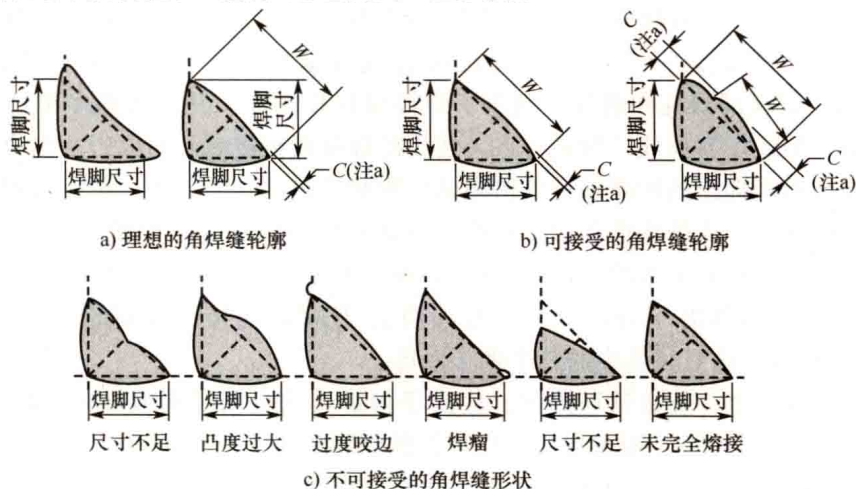


图 1-3 可接受和不可接受的焊缝形状。这是 AWS 结构钢焊接规程手册中的一页。如果你取一个焊过的接头并将它切割成两半，则会看到焊缝的轮廓。这种轮廓形状，本质上应是焊道的形状，它对于接头和结构的整体性是非常重要的。如你所见，一些焊缝形状是不可接受的，并且很可能导致焊缝失效而不能起到连接作用。

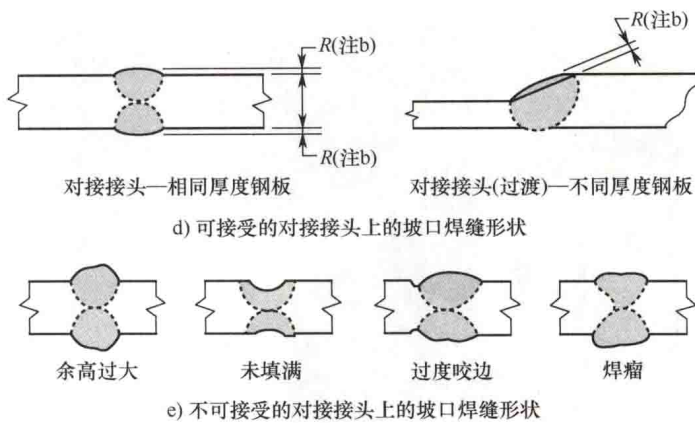


图 1-3 可接受和不可接受的焊缝形状。这是 AWS 结构钢焊接规程手册中的一页。如果你取一个焊过的接头并将它切割成两半，则会看到焊缝的轮廓。这种轮廓形状，本质上应是焊道的形状，它对于接头和结构的整体性是非常重要的。如你所见，一些焊缝形状是不可接受的，并且很可能导致焊缝失效而不能起到连接作用。(续)



图 1-4 在这个图中，一块坡口焊缝的金属板条被夹在台虎钳上，用滑石条在垫板上做出标记。



图 1-5 接下来，用纤维切割砂轮切透垫板的大部分厚度。



图 1-6 然后，用锤子和錾子将垫板鏟掉。



图 1-7 将剩下的多余焊缝金属磨掉，并仔细打磨焊缝使其与板条表面齐平。这就制成了用于测试的板条。



图 1-8 将试样板条夹在机械式缠绕弯曲试验夹具上。

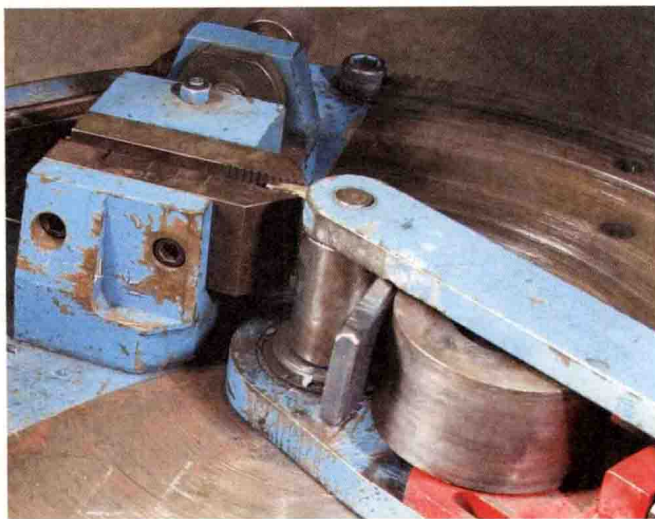


图 1-9 将试样板条弯绕在直径为 $1\frac{1}{2}$ in 的心轴上。

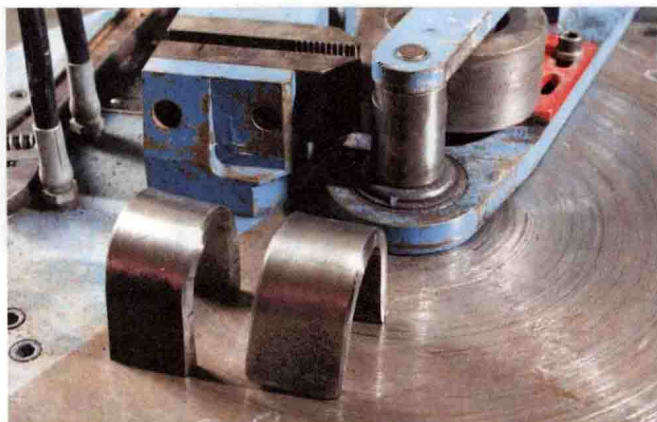


图 1-10 当缠绕弯曲试验机完成一个循环时，取下弯曲试样并目测检查是否符合所用的焊接规程中的标准。应对两个工件进行弯曲试验，一个是焊缝正面弯曲试验(焊缝的顶面)，另一个是焊缝根部弯曲试验(焊缝的底面)。

1.4 熔焊与硬钎焊和软钎焊

焊接这一术语的应用有许多方式。固态焊接方法在低于母材金属熔点温度时，会产生金属间的聚结或混合，而不需要加入焊料。例如，固态焊中的爆炸焊，两个金属表面被互结在一起，看起来就像一系列的微波，这是爆炸的定向力引起的摩擦产生的结果。在锻造过程中，母材金属被加热至白热化而使其软化(可塑)，无需达到熔点，在保持固态的情况下依靠锤击力使金属表面分子熔合在一起。还有称作冷焊的焊接方法，不需加热，仅需要平滑的表面和足够的压力即可使金属之间焊接。