

焊 接 手 册

第一卷 焊接基础

[美] 美国焊接学会编



机械工业出版社

76-4-10
11 42

焊 接 手 册

第一卷 焊接基础

[美] 美国焊接学会编
清华大学焊接教研组译



机械工业出版社

焊接手册是美国焊接学会编著和出版的专业手册，第七版共分五卷。本书是第一卷焊接基础，主要包括各种常用焊接方法；焊接物理、冶金和传热；焊接接头试验、焊接残余应力和变形三部分。第一部分是专为初次接触焊接的人员写的，属基础理论性介绍，其余两部分都是较系统的由浅入深的理论性介绍。

本书可供从事焊接工作的技术人员和大专院校焊接专业师生参考。

Welding Handbook

Seventh Edition, Volume 1

Fundamentals of Welding

1976 by American Welding Society

* * *

焊 接 手 册

第七版 第一卷

焊 接 基 础

[美] 美国焊接学会编

清华大学焊接教研组译

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本850×1168 1/32·印张11¹/₈·字数286千字

1985年10月重庆第一版·1985年10月重庆第一次印刷

印数 00,001—19,500·定价3.50元

*

统一书号: 15033·5829

焊接手册第七版共分五卷

第一卷 焊接基础

第二卷 焊接方法——电弧焊、气焊及气割、硬
钎焊及软钎焊

第三卷 焊接方法——电阻焊及固态焊、其他焊
接方法

第四卷 金属及其焊接性

第五卷 工程、质量保证和安全实践

出版者的话

美国焊接学会编写的焊接手册在美国有较大的影响，它的内容丰富、新颖且不断更新，现已修改再版了第七版共五卷，其中第一、二、三卷已出版，其余二卷近期可以出版。鉴于我国目前还没有自编的焊接手册，特将美国焊接手册第七版各卷陆续译出，以供读者参考。

在翻译过程中，我们对原书作如下更动：

1. 原书同时采用英制和米制的计量单位，但根据“我国统一实行法定计量单位的命令”规定及方便读者，在译文中只采用国际单位制。此外，凡原书的正文、表格、插图、公式或方程式中用英制单位的系数、坐标均换算成国际单位制。

2. 原书附录共分二部分

A. 名词术语 是从美国焊接学会出版的《焊接名词和定义》摘录的，是为阅读原文统一名词用的。考虑到我国已有自己的焊接名词术语标准，为防止名词不统一而造成混乱，译文中的名词术语均按我国的名词术语统一。故附录A不再译出。

B. 英制与米制的换算 译文中已统一采用国际单位制，故这部分删去。

3. 原书的索引部分对我国读者无法使用，故从略。读者可利用全书目录和各章节中交叉参考的注释查到所需内容。

4. 翻译过程中发现原书中的错误，或全书不统一和不合理的符号，均在译文中更正，并加译注予以说明。

本手册第一卷中的第一、二、五章由包芳涵同志翻译；第三、四章由陈伯鑫同志翻译；第六章由陈丙森同志翻译。全书由郭世康同志审校。

机械工业部科技情报研究所张伟昌同志曾参加第一、二、三、五章的初稿翻译工作。

由于翻译者水平所限，缺点和错误之处望广大读者批评指正。

新版前言

对于焊接界，1976年不仅是美国建国 200 周年，而且也是焊接手册第七版开始出版的日子。人们从来没有象现在这样更需要一本最新修订的手册。在本手册第七版发行期间，焊接生产者将继续遇到许多复杂问题，例如：产品的安全性和倾向性、能源缺乏、原材料短缺、经过训练的合格工人来源，以及每个生产环节成本的增加等等。这个新版本是在国家的第三个百年开始的时候为焊接产品的使用者和生产者提供的一些帮助。本版应能为读者提供所需要的知识和参考资料，并对将要面临的一些问题提供可能的解决方案。

在评价第六版以及预测工业界未来需要的基础上，焊接编委会拟出了第七版的提纲。本版预定出版五卷。五卷中的第一卷是焊接基础，集中讨论基本的焊接工艺。在第一卷序言中将对该卷作进一步介绍。

本版第二卷和第三卷将包括各种焊接和切割方法。第二卷讨论电弧焊和气焊、硬钎焊、软钎焊、堆焊和切割。第三卷讨论电阻焊、固态焊以及其他的焊接方法，例如电子束焊、激光焊等。每一章除了讨论基本方法以外，还要讨论设备、材料、一般应用、工艺参数、焊接工艺规程、接头形式以及焊接接头质量等问题。

手册的最后两卷将专门介绍工程应用。第四卷将从冶金性能、力学性能、以及焊接性等方面全面讨论焊接中使用的各种材料。第五卷主要讨论设计问题，同时将在专门章节中讨论工程应用、自动化和控制、安全和检验、以及经济和成本估算等问题。

手册编委会除列出第七版的内容提纲外，为了使手册尽可能地做到条理清晰，还提出了手册每一卷以及各章的编写原则。

- 采用最新编写方法，同时引入新的重要资料。
- 对论题作简要而紧凑的介绍。
- 尽可能多引用图表和实际的（客观的）资料。
- 每一章都列出有价值的参考资料。
- 各卷各章之间尽量相互参照以减少重复。
- 每卷都附有更有用的索引。

编委会还建议对新版的版面作一些变革，这在本卷中已经有了反映。例如，现在每卷从头到尾连续编排页码，代替了以每一章为一独立单元进行编排页码的老办法。这样将有助于读者更加方便地找到所需的资料。

另一个变革就是提供了参考文献。虽然编委会强调要压缩手册的篇幅，但也感到需要把手册和其他重要的、更为详尽的资料联系起来。编委会认识到手册既不能没有时间限制，又不能包罗万象，所以要求每章的主编提出与该章有关的最新参考文献。这些文献可以引导手册读者去参阅各种法规、规范、技术报告等重要资料，并向读者提供有关焊接方法和焊接材料的标准化、鉴定、检验等方面的最新资料。参考文献分为两类：一类是补充阅读资料目录附在每一章之后；另一类是参考文献，这类文献对应于正文中引用的文献，其目录也附在每一章之后（本卷第五章，第六章都列出了这两类文献目录）。

第七版的另一个特点就是在正文和图表中采用米制单位为基本计量单位。这既反映了美国焊接学会对其所有技术出版物采取的方针，也反映了工业界迅速转变为采用米制的要求。第七版所采用的米制单位是国际单位制（简称SI），是国际公认的米制。在正文中首先给出SI单位，然后在括号中给出美国惯用的单位。在表格中则将SI单位和美国惯用单位分别列出。对于未标注双重单位的图表则列出SI单位与美国惯用单位的对照表^①。

① 鉴于我国的基本计量制度是米制，所以本卷译文只采用米制，而删去美国惯用的英制。——译者

前面已经提到，编委会力图在第七版中形成一个较好的检索系统。因为手册基本上是一种工具书，它是否有用，很大程度上决定于读者能否很容易地找到所需的资料。显然，详尽的、编排得很好的索引是很重要的。编委会的方针是使每一卷都有这样一种索引。而且，每一卷还要包括已经出版的各卷的总索引。这就是说，第二卷将包括第一卷和第二卷的综合索引，直到第五卷出版时，它将包括第七版各卷的总索引^①。

在改进第七版的计划中，编委会摒弃某些长期形成的做法。因此，编委会希望读者保留过去的版本，因为其中的一些资料在第七版中可能不再重复出现。新版中采用了编委会认为是现有的一些最新的、最基本的资料，但是不包括那些用途较少或过时的焊接方法，或象工业管道、汽车产品等专门焊接应用的资料。

判断手册读者的需要可能是出版手册的最大困难。要精确地指出手册读者的范围是一个非常复杂的问题。然而必须确定这部手册希望达到的水平。为了照顾工程师而不考虑车间工作人员或管理人员的需要，或者反过来，都是很不合适的。因此编委会想通过选用内容广泛的资料——从实际生产数据到复杂的生产过程和材料性能的解释——来引起各方面读者的兴趣。

在本前言中，编委会要向所有对第七版第一卷做出贡献的人表示感谢。各章作者——各章的编委会和主席——的任务最艰巨，因为他们实际上是编写新篇章，而不是仅仅把旧篇章更新。另外，我们还邀请了各章编委会以外的人对各章进行评阅，提出意见和建议。所有参加者都慷慨地花费了不少宝贵时间和精力，完成了许多常常是没有报酬的、费力的工作。还应该提到那些支持这项工作的公司，他们不仅派人参加了工作，还为手册提供了他们的研究和生产方面的资料。焊接手册编委会对所有为手册做出贡献的人深致谢意。

将要出版的第七版及其各卷的成功，与上面提到的许多有经

① 根据我国具体情况，在译文中已将索引部分删去。——译者



验专家的直接努力是分不开的。因此，在介绍第七版的时候，我们要向读者说明，将要出版的各卷迫切需要给予帮助。手册编委会希望大家能主动地或当接到邀请时，前来参加这一非常重要而且珍贵的手册——焊接手册——的编写工作。

焊接手册编委会主席

斯坦利 威斯

(Stanley Weiss)

第一卷 序 言

本卷讨论焊接基础，仅仅涉及基本的焊接工艺。关于这些工艺的实际运用将在以后几卷中讨论。旧版本“第一卷”各章，例如，焊接物理、焊接冶金、力学试验、以及残余应力和变形等，当然包括在本卷中，但是这些章节的绝大部分内容都是新的（即，不是由第六版摘录的）。另外，增加了新的两章，一章讨论焊接时的热传导，另一章简要地介绍主要的焊接和切割方法。后面这一章比其他各章的理论要少一些，但是对于刚刚接触这一领域的人来说是非常重要的基础知识。以这种形式来简略而又全面地介绍各种方法是以前各版的焊接手册没有采用过的。

第一卷的编写者精心地选择了论题和数据，希望在大约几年以后，也就是本卷要由新的版本取代的时候，现在所提供的资料将不至于显得太过时。因此，我们在这里介绍了或者比较详细地讨论了一些有争议的专题，例如线弹性断裂力学、振动法消除残余应力等。这在有些情况下可能显得过于大胆了。然而，我们认为重要的是，不仅要对焊接基础的传统内容进行讨论，而且还要对未来十年里可能占有重要地位的一些领域进行讨论（当然，我们不会忘记经典的部分，例如手册也包括了铁-碳相图、却贝 V 缺口试验结果等等）。

我们还试图采用现代的铅字字体（以及排版方法）使得焊接手册具有现代化的外貌。我们采用了每页两栏的格式。这种格式有两个优点：比较经济，因为它使每页可以多容纳20%的印刷符号；而且因为每行比较短，更便于阅读。

正如在新版前言中已经提到的，在第一卷中采用了双重单位制，以SI（国际单位制）为基本计量单位，以美国惯用单位为辅助单位。尽管这种办法为了适应在工业中采用SI单位制的迅速

转变形势是很必要的，但是在选用和表明计量单位时也带来一些特殊问题。例如，一个习惯用卡（非SI米制单位）来进行化学反应中的热计算的人，在发现本卷中这些计算是用千焦单位时，一定会感到意外，并且还可能相当不满意。

在用双重单位制换算数学方程式和公式时出现了更为复杂的问题。在本卷中，对于包含有计量单位的方程式，在绝大多数情况下都保留了原始单位（即使是美国惯用单位也是这样），以避免改变系数。不过常常也给出使用SI单位的方程式。如果需要进行一连串计算，那就仅仅在给出最终数字结果时标以双重单位。

在新版前言和本序言已指出，我们正以第七版本卷为起点进行一系列变革。一般说来，变革，甚至十分必要的变革，进行起来也总会带来一些困难。我们迫切希望知道读者对这些变革的看法。我们欢迎读者对本卷提出意见，同时（也许更为重要）对于我们第七版其余各卷的计划提出意见。意见请寄美国焊接学会手册编辑。

编辑 夏洛特 威斯曼
(Charlotte Weisman)

目 录

出版者的话		氧气切割	38
新版前言		等离子弧切割	40
第一卷序言		空气碳弧切割	40
第一章 材料焊接与切割		激光切割	42
方法概述	1	补充阅读资料	43
引言	1	第二章 焊接物理	44
电弧焊	2	引言	44
手弧焊	2	焊接用的能源	49
埋弧焊	6	焊接的电能源	50
熔化极气体保护焊和药		焊接的化学能源	54
芯焊丝电弧焊	7	焊接的光学能源	58
钨极气体保护焊	12	焊接的机械能源	64
等离子弧焊	14	焊接的固态能源	67
电渣焊和气电立焊	15	电弧特性	69
电阻焊	18	定义	69
闪光焊	20	等离子体	70
气焊	22	温度	72
固态焊	24	辐射	73
扩散焊	24	电特性	74
摩擦焊	25	磁场对电弧的影响	76
电子束焊	26	金属过渡	79
激光焊	28	极性对氩气保护金属过	
硬钎焊	30	渡的影响	81
软钎焊	34	其他气体对金属过渡的	
粘接	36	影响	86
塑料焊接	37	短路过渡	86
热切割方法	38	熔化极脉冲电流过渡	87

埋弧过渡	88	响	118
药皮焊条过渡	89	板厚和焊缝几何形状的	
焊丝熔化率	90	影响	122
一般的控制参数	90	热学特性的影响	123
熔化极气体保护焊的焊		热影响区宽度的控制	124
丝熔化率	91	补充阅读资料	125
埋弧焊的焊丝熔化率	94	第四章 焊接冶金	126
手弧焊的焊丝熔化率	94	引言	126
金属和保护气体的物理性		一般冶金	126
能	95	金属的结构	126
电阻率	96	相变	130
热导率	96	形变及热处理的作用	134
膨胀系数	96	工业用合金综述	147
电离电位	98	焊接冶金	152
热电离功	99	何谓Weld?	152
金属氧化物	99	焊缝金属	155
比热	100	热影响区	166
补充阅读资料	103	母材金属	174
第三章 焊接传热	104	小结	181
引言	104	焊接性试验	182
峰值温度	104	推理的试验	182
峰值温度公式	104	模拟试验	185
热影响区宽度的计算	107	实际焊接试验	185
冷却速度	109	钎焊冶金	189
厚板和薄板的冷却速度		补充阅读资料	193
公式	109	第五章 评定焊接接头	
预热温度和临界冷却速		的试验	194
度	111	引言	194
凝固速度	115	拉伸性能——强度和延	
枝晶间距的影响	115	性	195
线能量的影响	116	拉伸试验	195
典型焊接热循环	117	硬度试验	205
线能量和预热温度的影		恒载断裂试验	207

弯曲试验	210	变形	271
断裂韧性	214	引言	271
与断裂韧性有关的概念	215	残余应力的起因	274
线弹性断裂力学	220	宏观残余应力及微观残余应力	274
确定弹塑性、韧性的工程方法	225	残余应力的形成	275
焊接接头的特殊问题	231	焊接时的热应力以及由此引起的残余应力	279
焊接结构接头的疲劳性能	233	焊件中的残余应力及反作用应力	281
疲劳现象介绍	234	残余应力的影响	282
疲劳性能的测量	238	拉伸应力下的断裂	282
试件	239	压缩加载下的挠曲	287
焊接接头的疲劳强度	241	疲劳断裂	289
疲劳试验资料总结	244	介质的影响	290
改进疲劳强度的技术	245	焊件中残余应力的测量	292
腐蚀疲劳	248	测量残余应力方法的分类	292
热疲劳	249	应力释放法测量残余应力	294
影响焊接接头试验和性能		X 射线衍射法测量残余应力	297
的腐蚀因素	250	典型的焊接残余应力	299
腐蚀类型	250	典型焊接接头中的残余应力分布	299
焊接接头的腐蚀试验	253	影响焊接接头中残余应力的各种因素	300
腐蚀焊件的评定	256	焊接变形	304
高温性能	257	变形的基本类型	304
蠕变破裂现象	257	对接焊缝的横向收缩	305
试验方法	258	角焊缝的横向收缩	313
试验报告和外推方法	258	对接焊缝的纵向收缩	313
焊接接头缺陷	260	角焊缝的纵向收缩	313
焊接接头缺陷的种类	260		
缺陷对焊接接头使用性能的影响	264		
规范与标准	267		
参考文献	268		
补充阅读资料	270		
第六章 残余应力及			

对接接头的角度变化	315	矫正变形	327
角接头角度变化引起		焊件的加热处理和机械处	
的变形	316	理	325
纵向收缩引起的弯曲		焊件加热处理和机械处	
变形	319	理的理由	328
挠曲变形	320	常见的焊件加热处理	330
解决实际问题	321	锤击	334
减小残余应力和变形的设		预应力处理	336
计和工艺措施	324	振动消除应力	337
减小残余应力	324	参考文献	339
控制变形	325	补充阅读资料	341

第一章 材料焊接与切割方法概述

引言

本章目的是向那些对感兴趣的工艺方法了解不多的读者介绍通用的、常见的焊接与切割方法，并提供选择与使用这些方法的一些知识。本章说明了各种方法的特点及优缺点，并在可以适用的范围内进行比较。结合各种可能用到的材料和厚度讨论了操作特点、电源要求、有关的焊接技能和成本等问题。但是，应该指出，本章介绍的资料是概括性的，不应作为各种特定应用场合下选择焊接方法的最终依据。在需要具体资料和数据时，读者必须查阅包括本章和本手册其它各卷所附录的资料。

由于电弧焊这类焊接方法在工业中应用最广泛，故予以重点介绍。本章讨论的其它熟悉和常用的焊接方法有气焊、电阻焊、闪光焊、硬钎焊和软钎焊。由于扩散焊、摩擦焊、电子束焊、激光焊以及粘接等在工业中的应用价值不断增长，所以也包括在本章内。至于超声波焊、爆炸焊和表面堆焊，尽管在极为专门的领域中还是重要的，但由于它们的应用范围很窄，故本章从略。最后，本章有一节涉及了热切割方法。此外，还包括了几种通用的金属切断和削除方法的说明。

很少有人能够成为使用所有方法的行家，而且大概也没有一个人曾有机会切割或焊接所有的当前通用的工程材料。所以，本章的目的是使读者熟悉现代的各种主要方法，以便能够考虑到那些被忽略的方法。

对任何特定的工作，通常都有几种方法可供采用。主要问题是选择一种在技术要求上和经济上最适宜的方法。但是，这两个方面也许不完全一致，因而不得不加以权衡。选择什么方法取决于被焊部件的数量、初始费用是否可行、接头位置、结构大小、

产品性能要求等。某一方法对操作位置或车间类型的适应程度，以及职工的经验 and 能力对最后选定也有影响。这些考虑因素将在有关的各种方法中提到。

本章正文中还补充了表 1.1（用于焊接）和表 1.2（用于切割）。表 1.1 内用“×”表示一般适用的方法、材料和厚度的组合。表中左栏列出了各种工程材料和四个随意选定的厚度范围。表的上部列出了工业上通用的主要方法。表 1.2 用类似的方式列出了切割方法，并指出了几种主要切割方法对不同材料的适用程度。但是，这两个表只能作为一般性的指导，对特定的情况，所推荐的组合不一定合适。不过，上面所说的情况仍可作为选择焊接或切割方法的参考。

电 弧 焊^①

电弧焊一词适用于以电弧为热源来熔化和连接金属的一大批形式多样的焊接方法。利用电弧焊在金属间形成接头时，可以采用也可以不采用压力或填充金属^②。

在工件和电极间引燃电弧，电极用手工或机械方式沿接头移动，或者电极保持固定而工件在其下方移动。电极可以是可熔化的焊丝或焊条，或者是不熔化的碳棒或钨棒。电极的作用是传导电流，并在其端部与工件之间维持电弧。当使用不熔化电极时，如果需要，可以另外补加焊条或焊丝作填充金属。但是，可熔化的电极则要专门制造以使它不仅传导电流并维持电弧，而且熔化后能够给接头补充金属，还可以产生熔渣覆盖层。

下面介绍主要的电弧焊方法及其特点。

手弧焊^③

手弧焊是最古老的一种电弧焊。它也是一种最简单的和最通用的焊接黑色金属的方法。这种方法使用由焊芯和药皮组成的焊

① 在第二章的“焊接电源”中也讨论了电弧焊。

② 虽然电弧焊时一般不用压力，但熔柱焊是一种需要压力的电弧焊法。熔柱焊未包括在本章内，但已包括在第七版第二卷内。

③ 本版第二卷详细介绍了这一方法。