

焊 接 手 册

第四卷 金属及其焊接性

〔美〕 美国焊接学会 编



机械工业出版社

TG 4-62
M 45

焊 接 手 册

第四卷 金属及其焊接性

〔美〕 美国焊接学会 编

黄静文 等译



机械工业出版社

《焊接手册》是美国焊接学会编写和出版的专业手册。

《焊接手册》(第七版)共分五卷,“金属及其焊接性”是其中的第四卷。

本卷共分十二章,分别论述碳钢和低合金钢(低合金高强度钢、调质钢、铬钼钢、预镀层钢等);不锈钢;工具钢和模具钢;高合金钢(超高强度钢、马氏体时效钢、锰奥氏体钢等);铸铁;镍合金和钴合金;铜合金;铝合金;镁合金;钛、锆、铪、钽和铌;其它金属(铍、铀、钼和钨、金、银、铂、钨等);异种金属的各种焊接方法及其焊接性。全书内容新颖、叙述简明扼要。每章都附有补充阅读资料,作为深入了解的参考。

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 4

Metals and Their

Weldability

1983 by American Welding Society

* * *

焊 接 手 册

第七版 第四卷

金属及其焊接性

[美] 美国焊接学会 编

黄静文 等译

*

责任编辑:金晓玲 版式设计:胡金瑛

封面设计:田淑文 责任校对:熊天荣

*

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)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850×1168¹/₃₂·印张 23¹/₈·字数 610 千字

1991年1月北京第一版·1991年1月北京第一次印刷

印数 0,001—5,150·定价:18.00元

*

ISBN 7-111-02021-9/TG·512

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、其它
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，其内容丰富、新颖且不断更新，现已修改再版至第七版，共五卷。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。

在本手册的翻译过程中，我们对原书做了如下改动：

1. 原书中同时采用英制和米制的计量单位，为了方便读者，及根据“我国统一实行法定计量单位的命令”，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，并尽量把折算值取圆整数。

2. 本卷的索引部分，对我国读者不尽适用，故删之。为了方便读者查找，全书目录增加一层标题。

3. 本卷原版之前言与本卷内容无多大关系，故亦删之。

本卷中第一、二、五、六、七、八章由黄静文同志翻译；第三、四章由郭寿汾同志翻译；第九章由叶栋林同志翻译；第十、十一及十二章由梅仲勤同志翻译。全书由吴友华同志校订。黄静文同志对全书进行最后审定。

由于译者水平所限，缺点和错误之处望广大读者批评指正。

目 录

出版者的话		热切割	48
第一章 碳钢和低合金钢	1	调质钢	48
焊接分类法	1	概述	48
一般原理	2	成分和性能	49
氢致裂纹	2	焊接冶金学	52
热循环的中断	8	接头设计	54
层状撕裂	9	预热	56
碳钢	11	焊接方法	57
概述	11	线能量	59
焊接性的考虑	14	焊接材料	61
低碳钢	17	焊接工艺	64
软钢	19	焊后热处理	65
中碳钢	20	热切割	66
高碳钢	22	硬钎焊	67
电弧焊	22	可热处理低合金钢	67
电渣焊和气电立焊	25	概述	67
氧乙炔焊	26	成分和性能	67
电阻焊	27	焊接冶金学	70
电子束和激光束焊接	33	预热	71
摩擦焊	33	电弧焊方法	72
硬钎焊	33	闪光焊	77
热切割	35	点焊	77
低合金高强度钢	35	电子束焊	77
概述	35	焊后热处理	78
成分和性能	37	硬钎焊	78
焊接	41	铬-钼钢	79
硬钎焊	48	概述	79

成分和性能.....	79	电阻焊	130
热处理.....	82	其它焊接方法	131
焊接冶金.....	82	铁素体不锈钢	131
接头设计.....	84	成分	131
预热.....	84	冶金特性	133
焊接方法.....	85	焊接性	134
电弧焊焊接材料.....	86	电弧焊	135
电阻对焊.....	88	电阻焊	139
电渣焊.....	89	其它焊接方法	139
焊后热处理.....	89	奥氏体不锈钢	139
预镀层钢.....	91	成分	139
概述.....	91	性能	140
镀铝钢.....	91	冶金特性	143
镀锌钢.....	94	铁素体	145
富锌镀层	107	高温下停留	148
安全措施	108	电弧焊	153
补充阅读资料	109	氧乙炔焊	167
第二章 不锈钢	110	电阻焊	167
概述	110	其它焊接方法	177
定义	110	焊后热处理	178
分类	111	析出硬化不锈钢	180
性能	111	成分、种类和性能	180
一般的焊接特性	112	为焊接而进行的	
焊接方法	113	热处理	185
防止氧化	114	焊接性	186
焊前和焊后清理	114	填充金属	186
填充金属	115	电弧焊	187
马氏体不锈钢	123	电阻焊	189
成分	123	硬钎焊和软钎焊	190
冶金特性	124	硬钎焊	190
焊接性	126	软钎焊	197
电弧焊	127	热切割	200

氧-燃气切割	200	母材	232
等离子弧切割	201	钎料	233
空气碳弧切割	202	接头设计	233
安全措施	203	设备	233
补充阅读资料	204	表面制备	233
第三章 工具钢和模具钢	205	钎剂和气氛	233
概述	205	工艺技术	234
分类	205	安全措施	235
水淬类	210	补充阅读资料	235
耐冲击类	210	第四章 高合金钢	236
冷加工类	210	概述	236
热加工类	211	超高强度钢	237
高速钢类	212	定义和一般特性	237
模具钢类	213	镍-钴合金钢.....	238
特殊用途钢类	213	铬-钼-钒钢	250
冶金	213	马氏体时效钢	255
热处理	215	概述	255
完全退火	217	冶金学	256
消除应力	217	物理性能	258
奥氏体化	218	机械性能	259
淬火	218	用途	259
回火	218	焊接冶金	259
电弧焊	219	电弧焊	262
应用	219	电子束焊	268
方法的选择	219	锰奥氏体钢	271
填充金属	220	概述	271
表面准备	221	冶金	271
预热	221	合金	275
修复工艺	222	物理性能	277
双金属结构	228	机械性能	278
高速钢切削工具	230	用途	281
闪光焊和摩擦焊	232	焊接	282
硬钎焊	232	补充阅读资料	289

第五章 铸铁 290

 概述 290

 白口铸铁 291

 灰口铸铁 291

 可锻铸铁 293

 球墨铸铁 294

 蠕虫状石墨铸铁 295

 用途 296

 焊接注意事项 297

 应用 297

 焊接性 297

 预热 299

 表面准备 301

 焊后热处理 302

 填充金属的选择 302

 电弧焊 304

 接头设计 304

 手工电弧焊 304

 熔化极气体保护电弧焊 307

 药芯焊丝电弧焊 308

 过渡层堆焊 308

 氧乙炔焊 308

 接头设计 309

 填充金属 309

 熔剂 309

 焊接工艺 310

 钎接焊 310

 硬钎焊 311

 钎料和钎剂 311

 硬钎焊方法 312

 接头间隙 312

 硬钎焊工艺 312

 钎焊后的清理 312

其它连接方法 312

 软钎焊 312

 热剂焊 313

 切割 313

 氧-燃气切割 313

 电弧切割 314

 补充阅读资料 314

第六章 镍合金和钴

 合金 315

 金属的性能 315

 镍合金 316

 固溶合金 316

 沉淀硬化合金 320

 弥散-强化镍 322

 铸造镍合金 322

 微量元素对焊接性的影响 323

 钴合金 325

 主要合金元素 325

 次要合金元素 327

 锻造合金 327

 铸造合金 327

 表面准备 327

 电弧焊 328

 适用的方法 329

 填充金属和焊剂 329

 接头设计 332

 预热温度和层间温度 334

 线能量的限制 334

 钨极气体保护电弧焊 334

 等离子弧焊 336

 熔化极气体保护电

弧焊	337	等离子弧切割	362
手工电弧焊	338	空气碳弧切割	363
埋弧焊	341	激光束	363
焊后热处理	342	安全措施	363
应变-时效裂纹	342	补充阅读资料	364
机械性能	343	第七章 铜合金	365
氧乙炔焊	344	性能	365
火焰调节	344	合金	365
熔剂	344	分类	365
镍合金	345	冶金学	367
钴合金	346	主要合金元素	369
电阻焊	346	次要合金元素	371
点焊	346	焊接性因素	372
缝焊	350	铜和高铜合金	372
凸焊	350	铜-锌合金(黄铜)	374
闪光对焊	351	铜-锡合金(磷青铜)	374
电子束焊	353	铜-铝合金(铝青铜)	375
激光束焊	354	铜-硅合金(硅青铜)	375
硬钎焊	355	铜-镍合金	376
钎料	355	铜-镍-锌合金(镍银)	376
钎剂和气氛	357	连接方法的选择	377
应力裂纹	359	电弧焊	377
钎焊后的热处理	360	氧乙炔焊	377
软钎焊	360	电阻焊	378
注意事项	360	硬钎焊	378
软钎料	361	软钎焊	378
表面准备	361	其它焊接方法	378
方法	361	焊接	379
钎剂	361	填充金属	379
接头形式	361	装夹	382
后处理	362	表面准备	382
热切割	362	预热	382

X

铜	384	铜-镍-锌合金(镍银)	420
高铜合金	391	异种金属	420
铜-锌合金(黄铜)	393	软钎焊	420
铜-锡合金(磷青铜)	396	软钎料	421
铜-铝合金(铝青铜)	398	钎剂	422
铜-硅合金(硅青铜)	401	表面准备	422
铜-镍合金	403	有镀层的铜合金	422
铜-镍-锌合金 (镍银)	406	钎剂的去除	423
电阻焊	406	机械性能	423
点焊	406	安全措施	426
缝焊	407	补充阅读资料	427
闪光焊	408	第八章 铝合金	428
铸件	408	特性	428
准备	408	铝合金	429
焊补	409	型材	429
焊后热处理	409	锻造合金	430
要求	409	铸造合金	432
消除应力	410	连接方法的选择	433
退火	410	焊接用填充金属	439
硬钎焊	411	分类	439
设计	411	光焊丝和焊条	440
钎料	412	焊条	441
钎剂 and 气氛	414	填充金属的选择	442
表面准备	414	连接工作的准备	450
铜	415	接头边缘的准备	450
高铜合金	416	清理	451
铜-锌合金(黄铜)	418	焊缝衬垫	452
铜-锡合金(磷青铜)	419	预热	454
铜-铝合金(铝青铜)	419	定位焊	454
铜-硅合金(硅青铜)	419	电弧焊接	456
铜-镍合金	419	接头几何形状	456
		钨极气体保护电弧焊	457

熔化极气体保护电	扩散焊	498
弧焊	摩擦焊	499
手工电弧焊	焊件的性能和特性	499
等离子弧焊	冶金的影响	499
等离子-熔化极气体保护	抗拉强度和塑性	501
电弧焊	剪切强度	503
弧坑的填满	抗腐蚀性能	504
电子束焊接	硬钎焊	504
激光束焊接	可钎焊的合金	504
氧-燃气焊接	钎料	505
可燃气体	钎剂	507
焊剂	钎剂残余物的清除	508
接头设计	设计注意	508
焊前清理	软钎焊	510
填充金属	软钎焊性	510
预热	软钎料	511
焊接技术	钎剂	512
铸件的焊接	接头设计	513
螺柱焊	表面准备	513
电弧螺柱焊	无钎剂软钎焊	514
储能螺柱焊	软钎焊方法	515
电阻焊	接头性能	515
点焊	粘接	516
滚点焊和缝焊	与其它金属的连接	517
焊缝质量	铝与钢的连接	517
质量控制	铝与铜的连接	517
闪光焊	腐蚀	517
高频电阻焊	电弧切割	518
固态焊接	等离子弧切割	518
冷压焊	碳弧气刨	519
超声波焊	安全措施	520
爆炸焊	补充阅读资料	521

Ⅴ

第九章 镁合金	523	其它焊接方法	565
性能	523	电子束焊	565
化学性能	523	螺柱焊	565
物理性能	523	硬钎焊	566
机械性能	524	硬钎料	566
应用	524	硬钎焊前的清理	566
镁合金	525	硬钎剂	567
合金系统	525	硬钎焊工艺	567
牌号编制方法	525	硬钎焊的焊后清理	568
工业用合金	526	软钎焊	569
主要合金元素	531	软钎料	569
热处理	533	表面准备	570
焊接性	533	接头形式	570
表面准备	534	工艺	570
电弧焊	536	等离子弧切割	570
可采用的焊接方法	536	安全措施	571
接头设计	536	补充阅读资料	572
填充金属	537	第十章 钛、锆、钨、钼	
预热	542	和铌	573
钨极气体保护电弧焊	544	概述	573
熔化极气体保护电		钛	574
弧焊	547	非合金钛	574
消除应力	549	合金化与相的稳定	575
焊后热处理	552	钛合金	578
焊缝性能	553	热的影响	579
电阻焊	555	热处理	581
点焊	555	机械性能	586
缝焊	562	清理	586
闪光焊	562	焊接用填充金属	587
氧-燃气焊接	564	焊接性	587
燃气	564	焊后热处理	594
熔剂	564	焊接或钎焊过程中的	
焊接技术	564	保护	595
		焊缝中的气孔	597

气体保护电弧焊	598	钼合金	639
钨极气体保护电弧焊	604	热处理	640
熔化极气体保护电		清理	641
弧焊	608	焊接性	641
等离子弧焊	610	硬钎焊	642
电子束焊	612	铌	644
激光束焊	614	一般特性	644
扩散焊和扩散钎焊	616	铌合金	644
摩擦焊	620	热处理	645
电阻焊	621	清理	645
焊缝的耐腐蚀性能	626	焊接性	645
钎焊	626	硬钎焊	648
热切割	630	补充阅读资料	649
安全措施	631	第十一章 其它金属	651
锆	631	铍	651
非合金锆	631	性能	651
合金化和相的稳定	632	表面准备	652
工业用的合金	633	熔焊	652
热处理	633	扩散焊	653
清理	634	硬钎焊	653
焊接用填充金属	634	钎接焊	654
焊接性	634	软钎焊	654
电阻焊	635	安全措施	654
硬钎焊	635	铀	655
异种金属	636	性能	655
安全措施	637	焊接	655
铪	637	软钎焊	657
一般特性	637	安全措施	657
热处理	638	钨和钨	658
焊接性	638	性能	658
与其它金属的相容性	638	合金	659
钽	639	表面准备	659
一般特性	639	焊接	660

XIV

硬钎焊	662	稀释和合金化	682
金	664	熔化温度	685
性能	664	热导率	686
熔焊	665	热膨胀	686
电阻焊	665	预热与焊后处理	687
固态焊接	665	其它焊接因素	688
硬钎焊	666	使用要求	689
软钎焊	667	机械性能与物理性能	689
银	668	显微组织的稳定性	690
性能	668	耐腐蚀和抗氧化	690
熔焊	668	填充金属的选择	691
电阻焊	668	要求	691
冷焊	669	选择准则	692
硬钎焊	669	焊接方法的选择	693
软钎焊	669	具体的异种金属的连接	694
铂	669	不锈钢与碳钢或低合金钢	
性能	669	的焊接	694
焊接	670	镍或钴合金与钢的	
硬钎焊	670	焊接	703
钯	670	铜合金与钢的焊接	707
性能	670	铜合金与镍合金的	
焊接与钎焊	670	焊接	709
其它贵金属	671	铝合金与钢的焊接	710
铅	671	铝合金与有色金属合金	
性能	671	的焊接	712
焊接	671	钛合金与其它金属的	
软钎焊	676	焊接	713
安全措施	678	异种难熔金属的焊接	714
补充阅读资料	679	复合钢的焊接	714
第十二章 异种金属	681	复合钢	714
定义与范围	681	接头设计	716
基本原理	681	填充金属	717
焊缝金属	681	焊接工艺	717
		补充阅读资料	726

第一章 碳钢和低合金钢

焊接分类法

从焊接性观点出发，根据成分、强度、热处理状态或抗腐蚀性能，可以将碳钢和低合金钢分为六个基本类型或组。因为某些钢是在一种以上的热处理条件下使用的，所以在这些组中存在着某种重复。这些组如下：

- (1) 碳钢；
- (2) 低合金高强度钢；
- (3) 调质钢；
- (4) 可热处理的低合金钢；
- (5) 铬-钼钢；
- (6) 预镀层钢。

碳钢的含碳量约 $\leq 1.00\%$ ，含锰量 $\leq 1.65\%$ ，含硅量约 $\leq 0.60\%$ 。虽然某些碳钢可以在退火或正火状态使用，但是通常是以轧制状态使用。

低合金高强度钢具有比普通碳钢更好的机械性能。这类钢一般是按机械性能而不是按化学成分分类的。它们的屈服强度一般属于 $290\sim 482\text{MPa}$ 范围。这些钢通常以轧制或正火状态焊接。

调质钢是一组碳钢和低合金钢，一般由制造者热处理，屈服强度在 $345\sim 1034\text{MPa}$ 范围内。除此之外，这类钢在热处理状态焊接。除了为减少焊接应力或冷成形应力而进行的消除应力之外，焊件一般不经焊后热处理。这一组中的钢包括用于焊接结构的碳钢和合金钢。

可热处理的低合金钢，从焊接性观点来看，是焊后不能保持所希望性能的合金钢。这类钢必须经过焊后热处理，使钢具有最

好的综合性能。这些钢的含碳量，一般比低合金高强度钢或调质钢的高。因此，这类钢能有较高的机械性能，但缺点是韧性差。

铬-钼钢主要用于约 $\leq 704^{\circ}\text{C}$ 高温下运行的设备，如动力设备和石油精炼设备。这些钢在各种热处理状态，即在退火、正火和回火，或调质下焊接。为改善塑性和韧性，并减少焊接应力，焊接接头在使用之前通常经热处理。

预镀层钢有一薄层的铝、锌或富锌的底涂层，以提高抗大气腐蚀或高温氧化能力。可以用热浸镀、电镀或热喷涂施以金属镀层，这取决于其类型。用辊涂或喷漆施以富锌底涂层。在多数情况下是采用薄板和钢带，但是大量的结构用途是用镀锌板和结构件。在所有情况下，该钢在焊接之前是有涂层的。

这六组钢可以各种产品形式供货，包括薄板、钢带、钢板、结构型材、管子、管件、锻件和铸件。不管产品形式如何，为了制订满意的焊接工艺，必须了解其化学成分、机械性能及热处理状态。虽然大多数钢是在锻态下使用的，但是由于焊接性主要是随成分、机械性能和热处理而变的一个特性，所以对锻件和铸件所考虑的问题是相同的。然而，对于大型锻件和铸件，从线能量、冷却速度及拘束条件来看，应考虑尺寸或厚度的影响。同理，也必须考虑铸件中残余元素（这在锻钢中可能是不存在的）及成分局部变化的影响。

一 般 原 理

氢致裂纹

在某些条件下焊接某些钢时会碰到的一个问题，是氢致裂纹 \ominus 。这种裂纹还有其它一些名称，如焊道下裂纹、冷裂纹，或延迟裂纹。这种裂纹一般在冷却到低于 93°C 的某温度时立刻出现或在焊后几小时之后出现，这个时间取决于钢种、焊接应力的大

\ominus 关于补充资料，请参阅美国焊接学会出版的《焊接手册》中译本，第七版，第一卷，1967年，126~193页及 Linnert. G. E. 《焊接冶金》，第三版，第二卷，1976年，250~276页。