

技术工人技能鉴定培训用书

实用焊工手册

孙景荣 等编



化学工业出版社

技术工人技能鉴定培训用书

实用焊工手册

孙景荣 等编

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

实用焊工手册/孙景荣等编. —北京: 化学工业出版社
ISBN 7-5025-2002-3

I. 实… II. 孙… III. 焊接-手册 IV. TG4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 19992 号

技术工人技能鉴定培训用书

实用焊工手册

孙景荣 等编

责任编辑: 陈 丽 侯玉周

责任校对: 郑 捷

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 23¼ 字数 629 千字

2002 年 3 月北京第 5 次印刷

ISBN 7-5025-2002-3/TQ·1006

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

为了满足广大化工检修和化工安装焊工岗位培训、技能鉴定及提高自身焊接操作水平的需要,根据《中华人民共和国工人技术等级标准(化学工业)》及《中华人民共和国职业技能鉴定规范》的要求,我们组织了长期从事焊接技术施工、焊接技术检验及培训考核的工程技术人员,编写了《实用焊工手册》。

本书主要以从事设备检修、安装的广大焊工为对象,突出焊接技术、操作方法的讲述,还包括了各种特殊焊接技术方法,同时介绍了各种常用焊接设备的主要结构、性能及应用。结合实际阐明了各种焊接材料的性质、特种材料的焊接技术、各种焊接质量检验方法。

《实用焊工手册》出版发行后得到了焊接工作者的厚爱,在指导设备检修、安装以及设备制造等行业的焊接施工中,发挥了一定的作用。为了适应焊接技术的发展,满足广大焊接工作者的需要,借重印机会,在原手册基础上,增补了第八章(焊接自动化技术)、第九章(轻型建筑钢结构的焊接)。对其他章节都按焊接技术进步及最新应用技术做了相应的增补。如焊接设备中,增补了逆变弧焊电源、空气等离子切割机;焊接材料中,增补了药芯焊丝,以及钎焊、喷涂材料;操作技术中,增补了高频焊、爆炸焊、电子束焊、激光焊及切割、热喷涂、粘接等,仍然特别注重实用性,努力做到数据齐全、准确,紧密围绕职业技能鉴定规范的要求选材。

本书的特点是,既有一定理论知识的阐述,又注意到了实用性,语言通俗易懂,适用于短期培训、单元培训和工人自学。

本书第一章(第四、五节)、第九章由杜雪松、王姝编写,第二、三、四、六、七、十、十一章由孙景荣、刘宏、洪伟、曲圣玉编写,第八章由洪明子编写,全书由孙景荣、刘勃安统稿,由洪明

子、欧述生、刘柏岩、孙景荣、周国顺、刘勃安等同志审阅。在编写过程中，得到了吉林化工学院、吉林化工集团公司机械厂工艺处等单位的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编者经验不足，水平有限，错误不妥之处恐难免，敬请广大读者和专家批评指正。

编者

2002年1月

目 录

第一章 焊接的一般知识	1
第一节 金属学基础	1
一、铁碳平衡图	1
二、金属的机械性能	4
三、金属的焊接性	8
第二节 焊接热源	11
一、焊接热源的种类及特点	12
二、焊接热效率	13
三、焊件上的热能分布	14
第三节 焊接冶金及组织	14
一、焊接冶金基础知识	14
二、焊接接头的金属组织与性能变化	17
三、焊缝金属组织的调整与改善	19
四、焊缝中的偏析现象	21
五、焊缝中的气孔	23
六、焊缝中的夹杂物	27
七、焊接裂纹	27
第四节 焊接应力与变形	34
一、焊接热过程	35
二、焊接应力与变形	38
三、焊接残余变形的产生原因	44
四、影响焊接结构残余变形的因素	49
五、防止和减少焊接应力与变形的措施	54
六、焊接残余变形的矫正及残余应力的消除方法	68
第五节 焊接接头形式和焊缝形式	73
一、焊接接头形式	73
二、焊缝形式	77

三、焊接坡口	80
四、焊缝代号及表示方法	81
五、手工电弧焊、气焊、气体保护焊缝坡口的基本形式及尺寸 (GB 985—88)	104
六、埋弧焊焊缝坡口的基本形式和尺寸 (GB 986—88)	104
第二章 焊接设备	105
第一节 焊接设备的分类与焊机型号代表符号	105
第二节 弧焊电源	112
一、电弧静特性	112
二、弧焊电源的外特性	113
三、弧焊电源的动特性	114
四、弧焊电源的负载持续率	115
五、弧焊电源的额定电流	115
六、各种弧焊电源主要用途及技术数据	116
第三节 电弧焊机	118
一、手工弧焊机	118
二、埋弧自动焊机	118
三、CO ₂ 气体保护焊机	119
四、氩弧焊机	124
第四节 逆变弧焊电源	127
一、概述	127
二、逆变弧焊电源的基本原理	127
三、逆变弧焊电源电路组成及分类	128
四、逆变焊机的特点及应用	129
第五节 电阻焊机	130
一、电阻焊机的型号与分类	130
二、电阻焊机的组成及主要作用	132
三、常用电阻焊机主要技术数据及用途	132
第六节 等离子弧焊机	133
一、等离子弧焊机的组成	133
二、等离子弧的焊接电源	134
三、焊枪	135
四、典型国产等离子焊机主要技术数据	136

第七节 其他焊机	137
一、电渣焊机	137
二、摩擦焊机	137
第八节 气焊设备	139
一、氧气瓶及乙炔瓶	139
二、减压器	140
三、焊炬	140
第九节 切割设备	142
一、手工气割设备	142
二、机械气割设备	143
三、等离子弧切割设备	147
四、碳弧气刨设备	148
第十节 焊接辅助设备及工具	149
一、焊接辅助设备	149
二、辅助工具、用具	154
第三章 焊接材料	157
第一节 焊条	157
一、焊条分类及型号、牌号的表示方法	157
二、焊条的保管及使用	184
三、常用国产焊条的特点及用途	186
第二节 焊丝	213
一、国产焊丝的分类	213
二、常用焊丝牌号及化学成分	214
三、常用焊丝特点及应用	225
第三节 焊剂	232
一、埋弧焊剂的分类	232
二、埋弧焊剂的型号、牌号编制	233
三、钎剂（熔剂）	239
第四节 钎料	244
一、钎料的分类及型号编制	244
二、硬钎料的成分、性能及用途	247
三、软钎料的成分、性能及用途	259
第五节 焊接用气体	267

一、焊接用气瓶涂色表示方法及纯度	267
二、焊接用保护气体	267
三、气焊、气割用气体	270
第六节 其他焊接用材料	272
一、焊接用电极	272
二、防飞溅涂料	275
三、焊接衬垫	276
第七节 常用焊接材料的选用原则	277
一、同种钢材焊接时焊条选用要点	277
二、异种钢、复合钢焊接时焊条选择要点	279
第八节 焊接材料消耗的估算	280
一、焊接材料消耗定额的估算	280
二、焊接材料消耗定额和气体消耗定额有关参数的计算	282
第四章 焊接方法与操作技术	290
第一节 手工电弧焊	291
一、手工电弧焊的特点与应用范围	291
二、手工电弧焊操作技术	291
三、手工电弧焊焊接规范及选择	296
四、各种焊缝焊接的基本操作方法	299
第二节 气焊与气割	311
一、手工气焊工艺	311
二、手工气割工艺	320
三、火焰矫正与加工技术	323
第三节 手工钨极氩弧焊	331
一、氩弧焊的特点和应用	331
二、焊前准备	331
三、氩弧焊焊接规范	332
四、手工氩弧焊操作技术	334
第四节 埋弧焊	336
一、埋弧焊的特点与应用范围	336
二、埋弧焊操作技术	337
第五节 CO ₂ 气体保护焊	338
一、CO ₂ 气体保护焊的特点与应用范围	338

二、CO ₂ 气体保护焊焊接技术	339
第六节 钎焊	343
一、钎焊的特点与影响钎焊质量的因素	343
二、钎焊工艺操作技术	345
第七节 其他焊接方法简介	349
一、等离子弧焊接和切割	349
二、电渣焊	352
三、电阻焊	354
四、高频焊	358
五、爆炸焊	359
六、电子束焊	361
七、激光焊	362
八、超声波焊	363
九、热喷涂	364
十、粘接	366
第八节 堆焊	369
一、堆焊的特点和应用	369
二、常用的堆焊方法	370
三、堆焊材料	373
四、堆焊工艺	397
第五章 金属材料的焊接	407
第一节 低碳钢的焊接	407
一、常用低碳钢的化学成分和机械性能	407
二、焊接工艺特点	407
三、低碳钢常用的焊接方法和焊接材料	408
四、焊接低碳钢时要注意的几个问题	409
第二节 普通低合金结构钢的焊接	409
一、普通低合金结构钢的分类	409
二、常用普通低合金结构钢的化学成分及机械性能	410
三、普通低合金结构钢焊接工艺特点	410
四、普通低合金结构钢焊接材料的选用及焊后热处理	413
五、16Mn 钢的焊接	414
六、18Mn 铝铌钢的焊接	415

第三节 不锈钢的焊接	416
一、不锈钢的分类	416
二、常用不锈钢的化学成分和机械性能	416
三、不锈钢的焊接工艺特点	416
四、奥氏体不锈钢的焊接	421
五、马氏体不锈钢的焊接	424
六、铁素体不锈钢的焊接	425
第四节 耐热钢的焊接	425
一、耐热钢的分类	425
二、耐热钢的化学成分及基本性能	426
三、耐热钢的焊接	431
第五节 低温钢的焊接	434
一、低温钢的分类	434
二、低温钢的化学成分及基本性能	435
三、低温钢的焊接特点	438
四、焊接材料的选择	438
五、焊接规范	439
六、焊接工艺要点	439
第六节 铸铁的焊接	440
一、灰口铸铁的补焊	441
二、球墨铸铁的焊接	442
第六章 异种金属及有色金属的焊接	443
第一节 异种钢的焊接	444
一、金相组织相同的异种钢焊接	444
二、金相组织不同的异种钢焊接	444
三、异种钢焊接的焊材选择、焊前预热和焊后热处理	445
第二节 碳钢与铸铁的焊接	447
一、钢与铸铁的焊接特点及方法	447
二、碳钢与灰口铸铁的焊接	448
三、碳钢与可锻铸铁的焊接	452
四、碳钢与球墨铸铁的焊接	454
五、不锈钢与铸铁的焊接	454
第三节 钢与铜的焊接	455

一、钢与铜的焊接性	455
二、碳钢与铜的焊接	457
三、不锈钢与铜的焊接	462
第四节 钢与镍、钛、铝的焊接	467
一、钢与镍的焊接	467
二、钢与钛的焊接	468
三、钢与铝的焊接	470
第五节 复合材料的焊接	472
一、奥氏体不锈钢复合板的焊接	472
二、钛、钢复合板的焊接	474
第六节 铝及铝合金的焊接	476
一、铝及铝合金的分类和性能	476
二、铝及铝合金焊接工艺	479
第七节 铜及铜合金的焊接	488
一、铜及铜合金的分类和性能	488
二、铜及铜合金的焊接性能	494
三、焊接材料	494
四、焊接工艺要点及规范	495
第八节 钛及钛合金的焊接	500
一、钛及钛合金的基本性能	500
二、钛及钛合金的可焊性	500
三、钛的焊接特点	502
四、焊接工艺方法	503
五、焊后热处理及检验	506
六、工艺规范参数	506
第九节 镁及镁合金的焊接	507
一、镁合金的焊接特点	508
二、焊接方法及焊前准备	508
三、焊接工艺	508
第十节 镍及镍合金的焊接	511
一、镍及镍合金的基本性能	511
二、镍及镍合金的焊接特性	511
三、镍及镍合金的焊接工艺	511

第十一节 铝与铝合金的焊接	516
一、铝与铝合金的基本性能	516
二、铝焊接材料及专用工具	518
三、焊接工艺规范	519
第十二节 钨、钼、钽、铌、锆及其合金的焊接	519
一、焊接特点	519
二、焊接方法选择	519
三、熔化焊可焊性分类	520
四、母材焊前化学清理的清洗液配比	520
五、焊接规范	520
第七章 切割	522
第一节 火焰切割	522
一、氧-乙炔切割	523
二、氧-液化石油气切割	530
三、火焰优质快速切割和精密切割	531
四、靠模切割	533
五、机械气割	534
六、切割质量的检验	536
第二节 等离子弧切割	537
一、等离子弧的特点及产生原理	537
二、等离子弧切割设备	539
三、等离子弧切割工艺及操作技术	541
四、空气等离子切割	546
第三节 激光切割	549
一、激光切割的特点	549
二、激光切割方法	549
三、激光切割的应用	550
第四节 碳弧气刨	551
一、碳弧气刨的特点及应用	551
二、碳弧气刨设备	552
三、碳弧气刨工艺	553
第八章 焊接自动化技术	555
第一节 电弧焊过程参数的自动调节	555

一、自动调节	557
二、熔化极电弧的自身调节系统	561
三、电弧电压自动调节系统	565
四、恒速自动调节系统	566
五、电弧焊过程参数的适应控制	567
六、电弧自动跟踪调节系统	571
七、电弧焊的程序自动控制	579
第二节 数字程序控制电弧焊	588
一、数控系统的基本结构	589
二、数控电焊机	591
第三节 焊接机器人	593
一、机器人的结构	595
二、焊接机器人的优点	597
三、焊接机器人的基本构造	598
四、对焊接机器人的要求	599
五、焊接机器人的基本功能	600
六、机器人在焊接中的应用	603
七、国内外几种典型的焊接机器人介绍	608
第四节 计算机图像处理及模式识别在焊接中的应用	620
一、图像处理系统	621
二、焊接近弧区机器人的视觉成像	623
三、图像处理在窄间隙 MIG/MAG 焊在线检测中的应用简介	625
第九章 轻型建筑钢结构的焊接	629
一、概述	629
二、梁、柱结构的组焊	631
三、桁架结构的焊接	634
四、网架结构的焊接	636
第十章 焊接接头的强度及破坏	643
一、应力集中的概念	643
二、焊接接头静载强度计算	644
三、焊接接头的许用应力	650
四、焊接结构的脆性断裂	653
五、焊接结构的疲劳断裂	656

第十一章 焊接质量检验	659
第一节 焊接缺陷的分类及其产生原因	660
一、熔焊缺陷	661
二、钢熔化焊缺陷的分级	663
三、电阻焊缺陷	665
四、钎焊缺陷	669
第二节 焊接质量检验方法	669
一、破坏性检验	669
二、非破坏性检验	675
三、化学分析	679
第十二章 焊接安全技术	685
一、焊接的有害因素	685
二、焊接设备安全技术	692
三、焊接劳动卫生及个人防护	702
四、常用焊接方法的安全技术	707
五、高空作业的安全技术	711
附录	713
附录一 常用焊接名词术语	713
附录二 常用化学元素符号	716
附录三 有关焊接国家标准代号及名称	716
附录四 焊接收缩量	720
附录五 焊接方法分类代号	720
附录六 非法定计量单位与法定计量单位的换算	721

第一章 焊接的一般知识

第一节 金属学基础

一、铁碳平衡图

铁碳平衡图是研究铁碳合金的基础。由于含碳量高于 6.67% 的铁碳合金脆性极大，没有使用价值，因而对铁碳平衡图只研究 Fe-Fe₃C 部分。铁碳平衡图如图 1-1 所示。

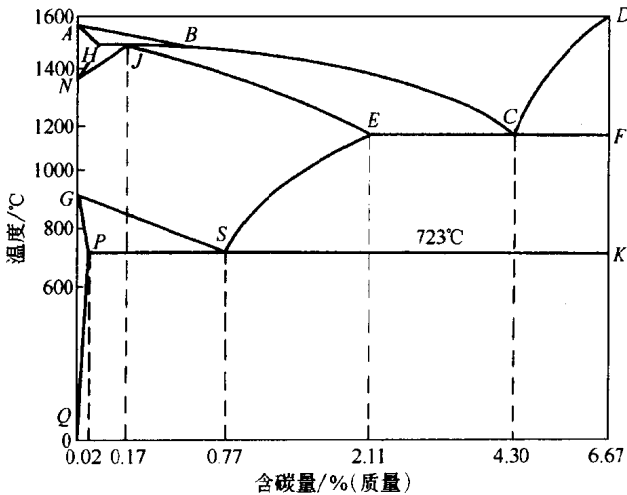


图 1-1 铁碳平衡图

平衡图上各主要点的涵义，温度及含碳量见表 1-1。

图中 ABCD 为液相线，AHJECF 为固相线。

图中三条平行线 (HJB, ECF, PSK) 表示三个恒温反应。

(1) 在 1485°C (HJB 水平线) 发生包晶反应： $L_B + \delta_H \rightleftharpoons A_J$
包晶反应的结果形成奥氏体。此反应仅可能在含碳量为 0.10% ~ 0.50% 的铁碳合金中发生。

表 1-1 铁碳平衡图各主要点的说明

点的符号	温度/℃	含碳量/%	说 明
A	1535	0	纯铁熔点(凝固点)
B	1485	0.50	包晶反应时液态合金的浓度
C	1130	4.30	共晶点, $L_C \rightleftharpoons A_E + Fe_3C$
D	1600	6.67	渗碳体熔点(计算值)
E	1130	2.00	碳在 γ -Fe 中的最大溶解度
F	1130	6.67	渗碳体
G	910	0	α -Fe $\rightleftharpoons$ γ -Fe 同素异构转变点(A_2)
H	1485	0.10	碳在 δ -Fe 中的最大溶解度
J	1485	0.16	包晶点, $L_B + \delta_H \rightleftharpoons A_J$
K	723	6.67	渗碳体
N	1390	0	γ -Fe $\rightleftharpoons$ δ -Fe 同素异构转变点(A_4)
P	723	0.02	碳在 α -Fe 中的最大溶解度
S	723	0.80	共析点, $A_S \rightleftharpoons F_P + Fe_3C$
Q	0	0.006	碳在 α -Fe 中的溶解度

(2) 在 1130℃ (ECF 水平线) 发生共晶反应: $L_C \rightleftharpoons A_E + Fe_3C$ 共晶反应的结果形成奥氏体与渗碳体的共晶混合物, 称为莱氏体, 用 L_d 表示; 冷至室温时成为变态莱氏体, 用 L'_d 表示, 共晶反应发生于所有含碳量大于 2.0% 而小于 6.67% 的铁碳合金中。

(3) 在 723℃ (PSK 水平线) 发生共析反应: $A_S \rightleftharpoons F_P + Fe_3C$ 共析反应的结果形成铁素体与渗碳体的共析混合物, 即珠光体。PSK 线可用 A_1 表示。所有含碳量超过 0.02% 的铁碳合金, 即实际在工程上常用的铁碳合金均能发生共析转变。

以上各反应式中的符号含义如下:

A_S ——S 点成分的奥氏体;

F_P ——P 点成分的铁素体;

L_B ——B 点成分的液态合金;

δ_H ——H 点成分的高温铁素体;