

技术工人技能鉴定培训用书

实用焊工读本

孙景荣 刘勃安 编



化学工业出版社

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

实用焊工读本/孙景荣, 刘勃安编: —北京: 化学工业出版社, 2003. 7

技术工人技能鉴定培训用书

ISBN 7-5025-4675-8

I. 实… II. ①孙… ②刘… III. 焊接-职业技能鉴定-教材 IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 059379 号

技术工人技能鉴定培训用书

实用焊工读本

孙景荣 刘勃安 编

责任编辑: 陈 丽 夏叶清

责任校对: 凌亚男

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

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 18½ 字数 499 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4675-8/TH·133

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

在科学技术飞速发展的今天，焊接技术理论的概念在不断更新，人们对“焊接过程”有了新的认识。这就需要我们焊接工人重新学习现代焊接新技术，提高自身技术素质。

焊接工人队伍是我国工业发展重要技术力量。技术工人队伍的素质如何，直接关系到行业、企业的生存和发展。在市场经济条件下，企业界必须有一支高素质的技术队伍，才能保证产品质量，提高生产效率，降低消耗，使企业获取经济效益，在激烈的市场竞争中立于不败之地。

本书介绍了金属学及焊接冶金知识、焊接电弧、电焊条、异种钢的焊接、焊接接头试验、焊接接头应力与强度、焊缝质量保证、焊接自动化技术、焊接结构生产等内容。

本书是依据原机械部、劳动部联合颁发的《职业技能鉴定规范》和《工人技术等级标准》的要求，结合国内各行业生产领域技术水平现状，以及我国入世以来焊接新技术的发展方向编写的，适合于焊接工人对当代焊接技术的认识，提高理论知识水平，掌握运用焊接新技术。同时也适宜于工程技术人员，大、中院校师生参考。书中内容针对性强，注重实用性，采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词、术语；将“现代焊接新技术”和“操作技能”有机地融为一体，形成一种新的特色。

本书由孙景荣主编，其中第三章由杜雪松、刘文贤编，第七章、第八章由孙国君、伟男编著，其余由孙景荣编写。全书由刘勃安、孙景荣校审。在编写过程中得到吉林化工学院、吉化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。由于编者水平所限，漏误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2003年6月

内 容 提 要

本书是“技术工人技能鉴定培训用书”之一。

本书主要介绍了许多焊接新理论、新技术，主要讨论了金属学及焊接冶金知识、焊接电弧、电焊条、异种钢的焊接、焊接接头试验、焊接接头应力与强度、焊缝质量保证、焊接自动化技术、焊接结构生产等内容。本书符合原机械部、劳动部联合颁发的《职业技能鉴定规范》和《工人技术等级标准》的要求。

本书适合于焊接工人、工程技术人员、大中专校师生及企业培训使用。

目 录

第一章 金属学基础及焊接冶金	1
第一节 金属学基础知识	1
一、纯金属的构造	1
二、合金晶体的构造	3
三、铁碳平衡图	5
四、钢的热处理	8
五、金属材料的机械性能	10
第二节 焊接冶金及接头组织	13
一、焊接冶金基础知识	13
二、焊接区气体与金属的作用	14
三、焊缝金属的合金化	17
四、焊接结晶及焊接接头组织	20
第二章 焊接电弧	24
第一节 焊接电弧的本质和特性	24
一、焊接电弧的导电机理	24
二、焊接电弧的静特性	29
第二节 焊接电弧的引燃	30
一、接触引弧	30
二、高频及脉冲引弧	31
第三节 焊接电弧的功能	31
一、焊接电弧的产热功能	31
二、焊接电弧的产力功能	33
第四节 磁场对电弧的作用	35
一、自身磁场对电弧的作用	35
二、外加磁场对电弧的作用	35
第五节 电弧的熔滴过渡	36
一、熔滴的作用力	36

二、熔滴过渡的主要形式及其特点	38
第三章 电焊条	40
第一节 电焊条的作用及组成	40
一、对电焊条的要求	40
二、电焊条的组成及性能	40
三、电焊条的分类	46
四、焊条型号及牌号表示方法	48
第二节 电焊条的保管及使用	71
一、电焊条的保管	71
二、电焊条的使用	73
三、电焊条消耗量的估算	101
第四章 焊接设备	105
第一节 焊接设备的分类与焊机型号	105
第二节 弧焊电源	113
一、弧焊电源的静特性	113
二、弧焊电源的外特性	115
三、弧焊电源的动特性	116
四、弧焊电源的负载持续率	117
五、弧焊电源的额定电流	117
六、各种弧焊电源主要用途及技术数据	117
第三节 电弧焊机	120
一、手工电弧焊机	120
二、埋弧自动焊机	120
三、CO ₂ 气体保护焊机	123
四、氩弧焊机	125
第四节 逆变弧焊电源	129
一、概述	129
二、逆变弧焊电源的基本原理	129
三、逆变弧焊电源电路组成及分类	129
四、逆变焊机的特点及应用	130
第五节 电阻焊机	132
一、电阻焊机的型号与分类	132
二、电阻焊机的组成及主要作用	134

三、常用电阻焊机主要技术数据及用途	135
第六节 等离子弧焊机	135
一、等离子弧焊机的组成	135
二、等离子弧的焊接电源	136
三、焊枪	137
四、典型国产等离子弧焊机的主要技术数据	139
第七节 其他焊机	139
一、电渣焊机	139
二、摩擦焊机	140
第八节 气焊设备	141
一、氧气瓶与乙炔瓶	141
二、减压器	142
三、焊炬	142
第九节 切割设备	144
一、手工气割设备	144
二、机械气割设备	145
三、等离子弧切割设备	149
四、碳弧气刨设备	150
第十节 焊接辅助设备及工具	151
一、焊接辅助设备	151
二、辅助工具及用具	154
第五章 金属热喷涂技术	160
第一节 热喷涂技术概述	160
一、等离子喷涂设备	160
二、高速电弧喷涂	161
三、超音速火焰喷涂	162
四、CP-1000 型高速火焰喷涂枪	162
五、DZ-5000 型高能火焰喷涂	163
六、大功率燃气火焰重熔技术	163
七、棒材及软线喷涂	163
第二节 热喷涂、喷涂技术的基本工艺方法	163
一、氧-乙炔火焰喷涂	164
二、氧-乙炔火焰喷涂	172

1115-3109

三、等离子弧喷涂	181
第三节 喷涂涂层性能测定	193
一、涂层拉伸附着强度测定	193
二、涂层剪切附着强度测定	194
三、涂层弯曲附着强度测定	194
四、涂层凹坑附着强度测定	194
五、涂层自身强度试验	195
六、涂层气孔率测定	195
第四节 我国热喷涂技术发展趋势及特点	196
一、几种新工艺的应用	196
二、热喷涂材料的新发展	197
三、国内热喷涂技术发展特点	200
第六章 异种金属的焊接	203
第一节 碳钢与普通低合金钢的焊接	203
一、焊接材料的选用	203
二、焊接工艺	204
第二节 异种普通低合金结构钢的焊接	205
一、异种普通低合金钢材料	205
二、异种普通低合金结构钢的焊接方法	205
第三节 黑色金属与奥氏体不锈钢的焊接	207
一、珠光体钢与奥氏体不锈钢的焊接	208
二、奥氏体不锈钢与珠光体耐热钢的焊接	215
三、奥氏体不锈钢与铁素体钢的焊接	217
第四节 耐热钢与其他黑色金属的焊接	218
一、珠光体耐热钢与低碳钢的焊接	218
二、珠光体耐热钢与马氏体耐热钢的焊接	219
三、铁素体耐热钢与其他黑色金属的焊接	221
第五节 钢与有色金属的焊接	222
一、钢与铜及其合金的焊接	222
二、钢与镍及镍合金的焊接	227
三、钢与铝及铝合金的焊接	232
四、钢与钛及钛合金的焊接	235
五、钎焊	236

六、钢与铅的焊接	237
第六节 钢与铸铁的焊接	240
一、钢与铸铁的焊接特点	240
二、碳钢与灰口铸铁的焊接	241
三、碳钢与可锻铸铁的焊接	244
四、钢与球墨铸铁的焊接	246
五、不锈钢与铸铁的焊接	247
第七节 异种金属的堆焊	247
一、堆焊的特点及应用	248
二、堆焊方法	249
三、堆焊材料	251
四、堆焊工艺	273
五、各种堆焊方法工艺规范	278
第七章 焊接接头的检测及试验	287
第一节 焊接材料质量评定试验	287
一、电焊条的质量评定试验	287
二、焊剂质量评定试验	304
三、焊丝质量评定试验	309
第二节 可焊性试验（焊接性试验）	310
一、可焊性的定义及分类	310
二、焊接性的间接试验方法	312
三、焊接性的直接试验方法	322
四、焊接消除应力裂纹的直接试验方法	332
五、层状撕裂的直接试验方法	333
六、应力腐蚀裂纹敏感性试验方法	334
第三节 焊接产品质量检验	336
一、焊缝的无损检验	336
二、焊接接头的力学性能试验	347
三、焊接接头耐晶间腐蚀试验	359
四、焊接容器致密性检验方法	363
第八章 焊接接头静载强度及失效	368
第一节 焊接接头的应力	368
一、焊接接头基本概念	368

二、应力集中	368
三、应力分布	369
四、应力集中对结构强度的影响	374
五、焊接接头的许用应力	374
第二节 焊接接头的静载强度	377
一、工作焊缝和联系焊缝	377
二、焊接接头静载强度计算	378
第三节 焊接结构的失效	392
一、焊接结构失效及原因	392
二、焊接结构的脆性断裂	393
三、焊接结构的疲劳断裂	396
第九章 焊接结构生产	400
第一节 焊接构件的备料	400
一、原材料复验	400
二、钢材的矫正	400
三、放样划线	401
四、切割加工	401
五、成形加工	403
第二节 焊接构件的装配与焊接	406
一、焊接结构的装配与焊接特点	407
二、典型构件的装配焊接	407
第三节 焊接结构生产的机械化与自动化	409
一、焊接中心	409
二、焊接自动机	415
第十章 焊接接头的质量保证及管理	418
第一节 焊接工艺评定	418
一、焊接工艺评定的目的	418
二、焊接工艺评定的程序	419
三、焊接工艺评定的规则	422
四、试验要求和结果评价	436
五、焊接工艺规程的编制	446
第二节 焊接生产的定额管理	449
一、焊接材料消耗定额	449

二、劳动工时定额	458
第三节 焊工技能培训及考核	460
一、焊工考试的重要性	460
二、锅炉压力容器焊工考试内容及方法	461
三、焊工考试的具体要求	472
四、考试结果与评定	473
五、持证焊工的管理	479
第四节 焊接、加工设备的合理选用	485
一、备料设备的合理选用	485
二、焊接设备的合理使用	493
三、热处理设备的选用	494
四、无损检测设备的选用	494
第五节 焊接接头形式的合理选用	494
一、焊接接头的工艺性及选用	494
二、层状撕裂的接头选用	504
第十一章 焊接机械化与自动化技术	508
第一节 电弧焊过程参数的自身调节	508
一、自动调节	510
二、熔化极电弧的自身调节系统	513
三、电弧电压自动调节系统	518
四、恒速自动调节系统	519
五、电弧焊过程参数的适应控制	519
六、电弧自动跟踪调节系统	524
七、电弧焊的程序自动控制	531
第二节 数字程序控制电弧焊	538
一、数控系统的基本结构	539
二、数控电焊机	541
第三节 焊接机器人	542
一、机器人的构造	545
二、焊接机器人的优点	547
三、焊接机器人的基本构造	548
四、对焊接机器人的要求	548
五、焊接机器人的基本功能	549

六、机器人在焊接中的应用	552
七、国内外典型焊接机器人介绍	555
第四节 计算机图像处理及模式识别在焊接中的应用	564
一、图像处理系统	565
二、焊接机器人的近弧区视觉成像	567
三、图像处理在窄间隙 MIG/MAG 焊在线检测中的应用	569

第一章 金属学基础及焊接冶金

第一节 金属学基础知识

一、纯金属的构造

固体物质可分为晶体和非晶体。在非晶体内，原子是杂乱无序排列的，例如，玻璃就是非晶体。在晶体内部，原子（或分子）按一定的几何规律性排列，它所构成的空间格子，我们称它为晶格。食盐就是晶体，所有固体金属都是晶体。

晶格是金属结晶构造的最小单元，许多有规则的晶格，可以组成形状不规则的晶柱，但是，这些是我们用肉眼所看不到的，只有借助显微镜才能看到晶粒的形状和大小。

1. 纯金属的晶体构造

纯金属的晶格主要有三种类型：体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。这三种晶格的形状如图 1-1 所示。

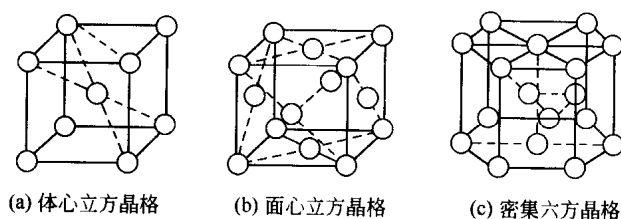


图 1-1 金属的晶格类型

(1) 体心立方晶格 从晶体中取出一个单位立方体，它由 9 个原子组成，8 个顶角各有一个原子，在立方体中心，还有一个原子 [图 1-1 (a)]。常温下在纯铁（又称 α 铁）以及钼、钨、钒等，都具有体心立方晶格。

(2) 面心立方晶格 从晶体中取出一个单位立方体，它拥有

14个原子，8个顶角各有一个原子，在立方体的六个平面中心，也各有一个原子 [图 1-1 (b)]。铜，镍，温度在 $910\sim 1390^{\circ}\text{C}$ 的纯铁（又称 γ 铁）等，都具有面心立方晶格。

(3) 密集六方晶格 从晶体中取出一个单位六方柱体，它有 17 个原子组成，12 个顶角各有一个原子，上下两个正六方面的中心，各有一个原子，在六方体的中心还有三个原子 [图 1-1 (c)]。锌，镁等都有这种晶格。

2. 液体金属的结晶过程

金属由液体凝固为固体的过程，叫做结晶（或称一次结晶）。当液体金属冷却到熔点以后，金属内部就有一些原子（难熔质点）开始稳定下来，成为结晶的核心（简称晶核）。温度继续下降，在已经产生的晶核附近，原子按一定的几何规律性凝聚排列起来，长大为晶粒；另一方面又出现了许多新的晶核，并陆续长大，直到全部液体金属完全凝聚为止。这就是金属的结晶过程（见图 1-2）。

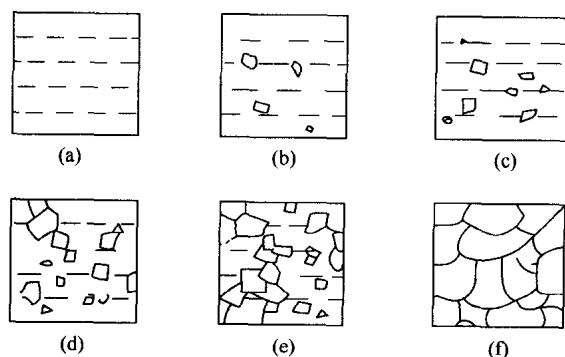
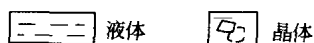


图 1-2 金属结晶过程示意



由此看来，金属的结晶过程是由两个基本过程所组成的，即晶核的形成和晶粒的长大。下面从三个方面来说明焊接熔池的结晶特征。

(1) 晶核的形成 熔池液体金属中往往有难熔金属质点，可作

为初始晶核，然后长大为晶粒。熔合线上局部熔化的母材晶粒（称为半熔化晶粒），成为熔池金属的结晶核心，形成焊缝金属与母材金属生长在一起的“联生结晶”。

(2) 晶粒长大 晶粒长大的方向是由边缘指向熔池中心（温度最高点）。由于熔池体积小，散热快，所以结晶速度快。结晶从母材金属的半熔化区晶粒上开始，柱状晶较发达，而且柱状晶的发展方向基本上与熔池界面相垂直，只有在熔池中心处或火口处，才可能出现等轴状晶。熔池金属是在运动中结晶，晶粒在成长过程中有停顿现象（称为继续结晶），容易产生层状组织，使焊缝表面呈鱼鳞状。

(3) 晶粒边界 晶粒与晶粒的交界面叫做晶粒边界，简称晶界。

熔池在结晶过程中凝固较快，焊件母材中有许多元素和少量杂物，熔池结晶时，高熔点的成分先析出，最后易熔的夹杂物被留在柱状晶之间。在一定条件下，结晶过程就有可能沿界面产生裂纹。

二、合金晶体的构造

1. 合金晶体的构造

合金中的原子也和纯金属一样，在空间按一定的几何规则排列，但与纯金属相比较，要复杂得多。根据两个元素相互作用关系，合金的晶体构造可分为三类，我们以铁碳合金为例，说明一下合金晶体的构造。

(1) 固熔体 一种物质均匀地溶解在另一种固体物质之中，所形成的熔合体叫固熔体。根据固熔体内原子排列情况，还可以分为置换固熔体和间隙固熔体，如图 1-3 所示。

某一元素晶格上的原子，部分地被另一元素的原子所取代的固熔体，叫做置换固熔体。如果说某一元素晶格上的原子没有减少，而另一元素原子挤入其原子的间隙中，所形成的固熔体，叫做间隙固熔体。例如，碳原子挤进 α 铁的体心立方晶格间隙处，形成的间隙固熔体，称为铁素体。由于碳原子的挤入，使 α 铁的晶体歪曲，从而使铁素体的塑性变形阻力增大。这就是铁素体比纯铁强度和硬度稍高的原因。

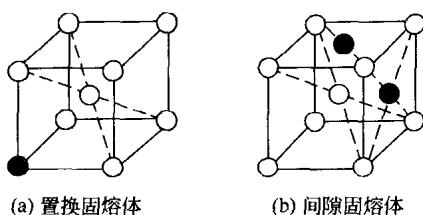


图 1-3 固熔体的构造示意

○—溶剂原子；●—溶质原子

(2) 金属化合物 合金中的这种元素，按一定的原子数量之比相化合，而形成的一种新的化合物，例如， Fe_3C ，称为渗碳体。它的分子是由三个铁原子和一个碳原子组成的，含碳量为 6.67%。渗碳体的晶格是由复杂的八面体组成，占据顶角或中心部位的碳化铁分子，而不是碳或铁原子。渗碳体的硬度很高（ $\text{HRC} = 70 \sim 75$ ），塑性几乎等于零。在一定条件下（例如在钢中加热），它可分解为碳（溶液入铁素体）和铁。

(3) 共析体 共析体是由两种或两种以上的晶体结构混合而成的，在显微镜下是非均一组织结构，它们在钢中形成一种共析体（或称机械混合物），称为珠光体。以机械混合物形式存在于钢中的渗碳体显著提高了钢的强度和硬度以及耐磨性能，但却降低了钢的塑性。

2. 金属的同素异晶转变

如前所述，金属的结晶构造通常指金属由液体凝固为固体晶格类型。但有些金属（铁，锰，锌，镍等）在固态下，随着温度的变化，它的结晶构造还会由一种晶格，变为另一种晶格。如纯铁在室温下，是体心立方晶格（ α 铁），当温度升高至 910°C 时，由体心立方晶格变为面心立方晶格（ γ 铁），并一直保持到 1390°C 。当温度再升至 $1390 \sim 1536.5^\circ\text{C}$ （熔化温度）之间时，又转变为体心立方晶格（ δ 铁）。这种金属在固态下的结晶构造转变过程，叫做同素异晶转变或称二次结晶。

各种晶格的铁对碳和合金元素的溶解能力不同。例如，面心立

方晶格的 γ 铁，比体心立方晶格的 α 铁有更多的间隙，可以让碳原子挤进去。 γ 铁最高溶碳量是2%，我们把含碳 γ 铁的固熔体叫做奥氏体。而 α 铁的最高溶碳量是0.08%。金属的同素异晶转变有很大的实际意义，它是热处理的理论基础之一，也是焊缝热影响区各区段与基本金属金相组织不一样的依据之一。

上述的铁素体、渗碳体、奥氏体、珠光体等，都称为金属的组织。为了区别单一的结晶构造，还是几种结晶构造的混合，我们把单一结晶构造的叫做单相，如铁素体，渗碳体，奥氏体都叫做单相组织。而珠光体则是铁素体与渗碳体的双相组织。但习惯上都笼统的称为金相组织。

金相组织是在放大100~1000倍的显微镜下来观察的。几种常见的金相组织如图1-4。



图 1-4 常见显微组织示意

三、铁碳平衡图

钢的含碳量不同，在不同温度下碳钢的组织变化也各不相同。如果将各种成分的碳钢在平衡状态下（即经过很长时间，碳钢的组织成分仍然保持不变的状态）所具有不同的组织总合起来，即可得到铁碳平衡状态图，如图1-5所示。

铁碳平衡状态图是研究铁碳合金的基础。由于碳量高于6.67%的铁碳合金脆性很大，没有使用价值，因而铁碳平衡状态图中，只研究Fe-Fe₃C部分。

铁碳平衡状态图中，各主要点的含义、温度以及含碳量列于表1-1。