

◎ 特种作业人员安全技术培训考核统编教材

焊工

(第二版)

国家《特种作业人员安全技术培训大纲及考核标准》
起草小组专家修订

A NQUAN JISHU
PEIXUN
KAOHE



中国劳动社会保障出版社

特种作业人员安全技术培训考核统编教材

焊工

(第二版)

国家《特种作业人员安全技术培训
大纲及考核标准》起草小组专家修订

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

焊工/别凤喜等编. —2版. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2004

特种作业人员安全技术培训考核统编教材

ISBN 7-5045-4073-0

I. 焊… II. 别… III. 焊接-技术培训-教材 IV. TG4/

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 123620 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

850毫米×1168毫米 32开本 9印张 233千字

2005年4月第2版 2005年4月第1次印刷

印数:8000册

定价:19.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64911344

编委会

主 任 闪淳昌

委 员 施卫祖 吕海燕 杨国顺 牛开健

徐洪军 崔国璋 时 文 邢 磊

王铭珍 王海军 马恩远 杨有启

王琛亮 洪 亮 曹希桐 杨泗霖

冯维君 甘晓东

本书编写人员

别凤喜 杨泗霖 董丽娟 马宏发

王振中 尚卫东 杨长江 常安全

周庆辉 张彩华

内容提要

本书根据国家安全生产监督管理局于 2002 年 10 月颁布的《金属焊接与切割安全技术培训大纲及考核标准》编写,是金属焊接与切割作业人员安全技术培训考核用书。

本书系统介绍了金属焊接与切割作业人员应学习掌握的安全技术理论知识。全书共分两部分。第一部分是焊工安全技术培训内容,包括焊接与切割基础、焊接与切割安全基础知识、焊接与切割作业劳动卫生防护、气焊与气割安全、焊条电弧焊、氩弧焊、CO₂ 焊、埋弧焊、钎焊与电阻焊安全。第二部分是焊工安全技术考核复习题及试卷实例。

本书可作为焊工安全技术考核培训教材,还可作为企事业单位安全管理干部及相关技术人员的参考用书。

本书的编写得到北京朝阳职业技术学校 and 北京服装学院崔瑾老师的协助。

前言

我国《劳动法》规定：“从事特种作业的劳动者必须经过专门培训并取得特种作业资格。”我国《安全生产法》还规定：“生产经营单位的特种作业人员必须按照国家有关规定经专门的安全作业培训，取得特种作业操作资格证书，方可上岗操作。”

为了进一步落实《劳动法》《安全生产法》的上述规定，配合国家安全生产监督管理局依法做好特种作业人员的培训考核工作，中国劳动社会保障出版社根据国家安全生产监督管理局颁布的《安全培训管理办法》《关于特种作业人员安全技术培训考核工作的意见》《特种作业人员培训考核管理办法》，组织《特种作业人员安全技术培训大纲及考核标准：通用部分》起草小组的有关专家，对由原劳动部组织的我国第一套《特种作业人员培训考核统编教材》及《特种作业人员复审教材》，进行全面的修订。

修订后的《特种作业人员安全技术培训考核统编教材》（第二版）共计以下9种：（1）电工；（2）焊工；（3）起重机司机；（4）起重指挥司索工；（5）电梯维修与操作；（6）企业内机动车辆驾驶员；（7）登高架设工；（8）制冷空调设备维修与操作；（9）压力容器操作工。修订后的《特种作业人员安全技术复审教材》（第二版）共计以下9种：（1）电工作业；（2）金属焊割作业；（3）起重作业；（4）起重指挥司索作业；（5）电梯作业；（6）企业内机动车辆驾驶；（7）登高架设作业；（8）制冷与空调作业；（9）压力容器操作。第二版统编教材具有以下几方面特点：

一、突出科学性、规范性。本版统编教材是根据国家安全生产监督管理局统一制定的特种作业人员培训大纲和考核标准，由该培训大纲和考核标准起草小组的有关专家对全国第一套《特种作业人员培训考核统编教材》及《特种作业人员复审教材》进行全面修订的最新成果。因此，本版统编教材具有突出的科学性、规范性。

二、突出适用性、针对性。专家在修订编写过程中，根据国家安全生产监督管理局关于教材建设要在安全生产培训工作指导委员会的统一指导和协调下，本着“少而精”“实用、管用”的原则，对第一版统编教材进行全面修订。因此，本版统编教材具有突出的适用性、针对性。

三、突出实用性、可操作性。根据国家安全生产监督管理局关于“努力做好培训机构、培训大纲、考核标准、考试题库建设，构建安全培训的标准化体系”的要求，以及“统一规划，归口管理，分级实施，教考分离”的原则，有关专家在修订中，为以上9种培训教材和9种复审教材分别配套编写了复习题库和答案，并提供了相应的考核试卷样式。因此，本版统编教材又具有突出的实用性、可操作性。

总之，本版统编教材反映了国家安全生产监督管理局关于全国特种作业人员培训考核的最新要求，是全国各有关行业、各类企业准备从事特种作业的劳动者，为提高有关特种作业的知识与技能，提高自身安全素质，取得特种作业人员IC卡操作证的最佳培训考核与复审教材。

目录

第一部分 焊工安全技术培训内容

第一章 焊接与切割基础	(1)
第一节 焊接与切割原理和分类	(1)
第二节 金属学与热处理基本知识	(3)
第三节 常用金属材料的一般知识	(10)
第四节 焊接与切割工艺基础	(16)
第五节 焊接变形和应力	(21)
第六节 焊接缺陷及预防措施	(23)
第二章 焊接与切割安全基础知识	(26)
第一节 概述	(26)
第二节 焊接与切割安全用电	(30)
第三节 焊接与切割防火与防爆	(49)
第四节 特殊焊割作业安全技术	(63)
第三章 焊接与切割作业劳动卫生防护	(78)
第一节 焊接与切割作业有害因素的来源及危害	(78)
第二节 焊接与切割作业劳动卫生防护措施	(89)
第三节 焊补化工设备作业的防中毒措施	(97)
第四章 气焊与气割安全	(99)
第一节 气焊与气割原理和安全特点	(99)

第二节	气焊与气割火焰及工艺参数·····	(103)
第三节	常用气体性质与使用安全要求·····	(109)
第四节	乙炔发生器·····	(113)
第五节	常用气瓶·····	(123)
第六节	焊割炬·····	(132)
第七节	胶管和管道·····	(137)
第五章	电弧焊与电阻焊安全·····	(142)
第一节	焊条电弧焊与碳弧气刨安全·····	(142)
第二节	气体保护电弧焊安全·····	(175)
第三节	埋弧焊安全·····	(196)
第四节	电阻焊安全·····	(205)
第五节	钎焊安全·····	(213)

第二部分 焊工安全技术考核复习题及试卷实例

I. 安全技术考核复习题 ·····	(221)
II. 安全技术考核复习题答案 ·····	(240)
III. 焊工安全技术考核试卷实例 ·····	(254)

附录一 金属焊接与切割作业人员安全技术培训大纲 ·····	(262)
----------------------------------	-------

附录二 金属焊接与切割作业人员安全技术考核标准 ·····	(270)
----------------------------------	-------

参考文献·····	(279)
-----------	-------

第一部分 焊工安全技术培训内容

第一章

焊接与切割基础

第一节 焊接与切割原理和分类

一、焊接原理和分类

1. 焊接原理

焊接是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使焊件达到结合的一种加工工艺。在焊接过程中，对焊件进行加热加压，促使原子间的相互扩散，减小原子间的距离，使焊件彼此接近到原子间的力能够相互作用的程度，以实现原子的相互结合，利用原子结合力把两个零件连接固定成为一个整体。

2. 焊接的分类

焊接可分为熔焊、压焊和钎焊三类。

熔焊是将待焊处的母材金属熔化，但不加压力以形成焊缝的焊接方法。如焊条电弧焊（原称手工电弧焊）、气焊、氩弧焊、电渣焊等。

压焊是在焊接过程中，在对焊件加热至塑性状态时施加压力以完成焊接的方法，如锻焊、电阻焊和摩擦焊等；也有只加压不加热的压焊，如冷焊。

钎焊是被焊零件本身不熔化，而比焊件熔点低的钎料熔化并润湿母材的焊接方法。如烙铁钎焊、火焰钎焊（如铜焊、银焊）、

真空钎焊等。

3. 焊接的应用

焊接主要用于制造,如锅炉、桥梁、造船、化工和炼油的设备(各类贮罐、球罐、箱体、管道等)、起重设备、建筑、飞机和其他工业部门。

焊接还用于维修焊补等。

二、切割原理和应用

1. 热切割

利用热能使金属材料分离的工艺称热切割。热切割主要有以下两种方法。

(1) 将金属材料加热到尚处于固相状态时进行的切割,目前此方法应用最为广泛。

气割是利用气体燃烧的火焰将钢材的切割处加热到着火点(此时金属尚处于固态),然后切割处的金属在氧气射流中剧烈燃烧,而将切割件分离的加工工艺。常用氧—乙炔火焰作为气体火焰,也称氧—乙炔气割。可燃气体亦可采用液化石油气、雾化汽油等。

(2) 将金属材料加热到熔化状态时进行的切割,亦称熔割。这类热切割的方法很多,目前广泛应用的是电弧切割,即利用电弧热量熔化切割处的金属以实现切割的方法。此外还有氧气(或空气)电弧切割、碳弧切割、等离子弧切割、激光切割等。

2. 冷切割

冷切割是在分离金属材料过程中不对材料进行加热的切割方法。目前应用较多的是高压水射流切割,其原理是将水增压至超高压(100~400 MPa)后,经节流小孔($\phi 0.15\sim 0.4$ mm)流出,使水压势能转变为射流动能(流速高达 900 m/s)。用这种高速高密度的水射流进行切割。磨料水流切割则是再往水射流中加入磨料粒子,其射流动能更大,切割效果更好。

3. 应用

切割工艺在生产中有广泛的应用,如备料、改变材料的尺

寸、制成不同形状的零件（或毛坯）、切割铸件的浇冒口、拆卸旧设备（如解体旧的金属结构、旧的船只）等。

第二节 金属学与热处理基本知识

一、金属学的基本知识

金属学不仅研究金属及合金的成分、组织和性能，以及它们三者之间的关系，同时还研究金属及合金的组织与性能与外界条件（如温度、加热及冷却速度等）之间的关系。

1. 金属的结构

金属和其他物质一样，是由原子构成的。原子在金属内部的排列是有规则和有秩序的，所以金属的构造属于晶体。与非晶体不同，金属具有固定的熔点，例如，纯铁的熔点是 1535°C ，铜的熔点是 1083°C 等。金属原子按一定的排列规则形成了所谓的“空间晶格”，如图 1-1 所示。

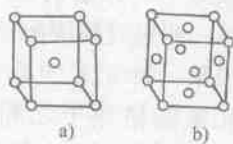


图 1-1 常见的金属晶格

- a) 体心立方晶格
- b) 面心立方晶格

体心立方晶格的八个角上各有一个原子，而且立方体中心还有一个原子；面心立方晶格的立方体八个角上和六个面中心各有一个原子。

纯铁在常温下是体心立方晶格（称 $\alpha\text{-Fe}$ ），在 910°C 时则转变为面心立方晶格（称 $\gamma\text{-Fe}$ ），再升温到 1300°C 时，又转变为体心立方晶格（称 $\delta\text{-Fe}$ ），然后一直保持到熔化温度。纯铁的晶格随温度而变化，是钢铁所以能够通过热处理获得不同性能的基础之一。

随着温度的升高，在晶格节点上的原子振动范围也就增大，因而晶格发生膨胀，这就是金属热胀冷缩的原因。

2. 合金组织

两种或两种以上的元素（其中至少一种是金属元素）的原子熔合在一起的物质，叫做合金。例如，普通黄铜是锌和铜的合金；普通钢和铸铁是铁和碳的合金。

根据合金元素之间相互作用的关系，以及形成晶体结构和显微组织的特点，可将合金的组织分为三类：

（1）固溶体。固溶体是一种物质的原子均匀地分布在另一种物质的晶格里而构成的固态的复合体。根据原子在晶格上分布的形式，固溶体分为置换固溶体和间隙固溶体两类，如图 1—2 所示。

某一种元素晶格上的原子部分地被另一种元素的原子所取代的固溶体，叫做置换固溶体（图 1—2a）；如果某一种元素的原子挤塞到另一种元素晶格原子之间的空隙中去，这种固溶体叫做间隙固溶体（图 1—2b）。

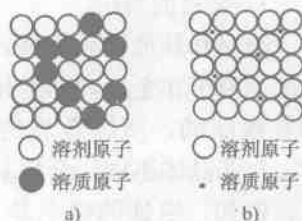


图 1—2 固溶体示意图

a) 置换固溶体 b) 间隙固溶体

两种元素的原子大小的差别越大，形成固溶体后引起的晶格扭曲的程度也就越大。扭曲的晶格增加了金属塑性变形的阻力，因此，固溶体较纯金属硬度高、强度大。

（2）化合物。两种元素按一定的原子数比例化合，形成与元素晶格类型及性质完全不同的复合体，在晶格中各元素原子的相互位置是固定的，称为化合物。例如碳化铁（ Fe_3C ），也叫渗碳体，是按铁原子和碳原子化合所组成的复杂的八面体晶格。金属与金属或金属与非金属之间的化合物，一般情况下有较高的硬度和脆性，并有较高的熔点和比纯金属大的电阻。

（3）机械混合物。固溶体和化合物均为单相合金，若合金由两种不同的晶体结构彼此机械混合组成，则称为机械混合物。它往往比单一的固溶体合金有更高的强度、硬度和耐磨性；塑性和

压力加工性能则较差。

二、钢的显微结构和铁—碳合金平衡状态图

钢和铸铁都是铁碳合金，其中含碳量小于 2.11% 的铁碳合金，称为钢；含碳量 2.11%~6.67% 的铁碳合金称为铸铁。工业上用的钢，含碳量很少超过 1.4%，而其中用于制造焊接结构的钢，含碳量需要更低些。因为随着含碳量提高，钢的塑性和韧性变差，致使钢的加工性能降低。特别是焊接性能，随着结构钢含碳量的提高而变得较差。

1. 钢的常见显微结构

不同含碳量的钢具有不同的力学性能，这主要是由于含碳量不同则钢的微观组织亦不同的缘故。钢的微观组织主要有铁素体、渗碳体、珠光体、马氏体、奥氏体和魏氏组织等。

(1) 铁素体 (F)。铁素体是含碳量很低的铁。它是由少量的碳和其他元素固溶于 α -Fe 中形成的体心立方晶格的固溶体，在低于 910℃ 时出现。铁素体的强度和硬度较低，但塑性和韧性很好。

(2) 渗碳体 (Fe_3C)。渗碳体是铁和碳的化合物，其分子式是 Fe_3C 。它的性质与铁素体相反，硬度高，但强度低，脆性大，延伸率和冲击韧性都极差。随着钢中含碳量的增加，钢中渗碳体的量也增多，钢的硬度、强度增加，塑性、韧性则下降。

(3) 珠光体 (P)。珠光体是铁素体和渗碳体混合在一起的结构，即铁素体和渗碳体晶体的机械混合物。它只在低于 723℃ 才存在，这一混合结构的平均含碳量是 0.8%。珠光体的性能介于铁素体和渗碳体之间，也就是说其硬度和强度比铁素体高，塑性和韧性比铁素体低，这是由于渗碳体梗塞在铁素体晶粒上，阻碍着铁素体的变形所致。

(4) 奥氏体 (A)。奥氏体具有面心立方晶格。它是碳在 γ -Fe 中的固溶体。碳钢中的奥氏体只出现在高温区域内，在低于 723℃ 以后，奥氏体就随钢合金中含碳量的不同，分别转变为铁

素体、珠光体和渗碳体。

奥氏体具有低的硬度和强度，但是它的塑性和韧性极为良好。另一个特点是没有磁性。

(5) 马氏体 (M)。马氏体是碳在 α -Fe 中的过饱和固溶体，一般可分为低碳马氏体和高碳马氏体。马氏体的体积比相同重量的奥氏体的体积大，因此，由奥氏体转变为马氏体时体积要膨胀，局部体积膨胀后引起的内应力往往导致零件变形、开裂。高碳淬火马氏体具有很高的硬度和强度，但是脆性大，延展性很低，几乎不能承受冲击载荷。低碳回火马氏体则具有相当高的强度和良好的塑性与韧性相结合的特点。

(6) 魏氏组织。魏氏组织是一种过热组织，是由彼此交叉约 60° 的铁素体针嵌入基体的显微组织。碳钢过热，晶粒长大后，高温下晶粒粗大的奥氏体以一定速度冷却时，很容易形成魏氏组织。粗大的魏氏组织使钢材的塑性和韧性下降，使钢变脆。

2. 铁—碳合金状态图

以上各种组织结构并不同时出现在组织结构中。它们各自出现的条件除取决于钢中的含碳量外，还取决于钢本身所处的温度范围。为了全面了解不同含碳量的钢在不同温度下所处的状态及所具有的组织结构，现用铁碳合金状态图来表示这种关系。

铁碳合金状态图是表示在平衡状态下，不同成分的铁碳合金在不同温度下所得到的晶体结构和显微组织的图形，因此又称为铁碳平衡图，如图 1—3 所示。

图中纵坐标表示温度，横坐标表示铁碳合金中碳的含量数。例如，在横坐标左端，含碳量为零，即为纯铁；在右端，含碳量为 6.67%，全部为渗碳体 (Fe_3C)。

图中 ACD 线为液相线，在 ACD 线以上的合金呈液态。这条线说明纯铁在 1534°C 凝固，随含量碳的增加，合金凝固点降低。C 点合金的凝固点最低，为 1147°C 。当含碳量大于 4.3% 以后，随含碳量的增加，凝固点增高。

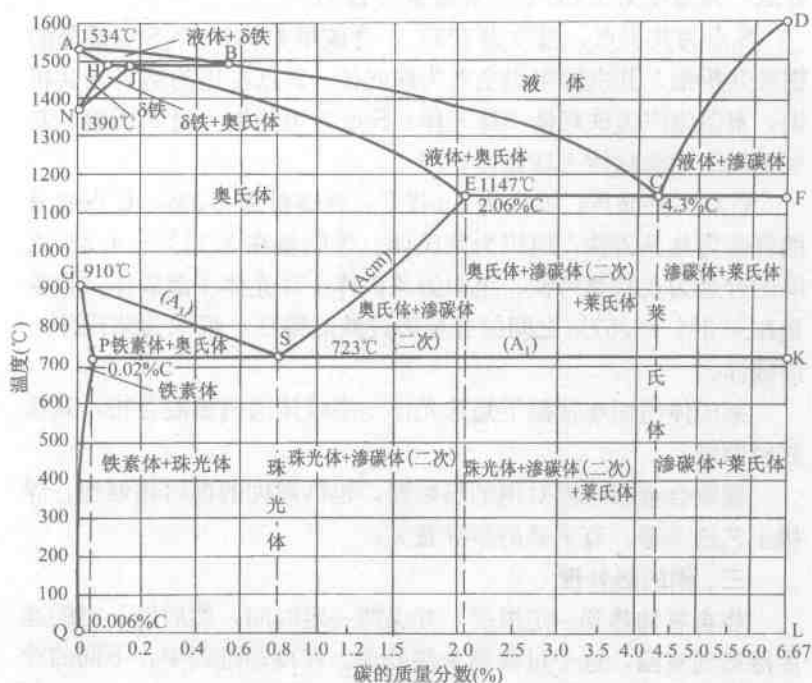


图 1—3 Fe—C 平衡状态图

AHJEF 线为固相线。在 AHJEF 线以下的合金呈固态。在液相线和固相线之间的区域为两相（液相和固相）共存。

GS 线又称 A_3 线，表示含碳量低于 0.8% 的钢在缓慢冷却时由奥氏体开始析出铁素体的温度。

ECF 水平线，1147°C，为共晶反应线。液体合金缓慢冷却至该温度时，发生共晶反应，生成莱氏体组织。

PSK 水平线，723°C，为共析反应线，又称 A_1 线，表示铁碳合金在缓慢冷却时，奥氏体转变为珠光体的温度。

ES 线为 A_{cm} 线。是从奥氏体中析出渗碳体的开始线。

E 点是碳在奥氏体中最大溶解度点，也是区分钢与铸铁的分

界点，其温度为 $1\,147^{\circ}\text{C}$ ，含碳量为 2.11% 。

S 点为共析点，温度为 723°C ，含碳量为 0.8% 。S 点成分的钢是共析钢，其室温组织全部为珠光体。S 点左边的钢为亚共析钢，室温组织为铁素体 + 珠光体；S 点右边的钢为过共析钢，其室温组织为渗碳体 + 珠光体。

C 点为共晶点，温度为 $1\,147^{\circ}\text{C}$ ，含碳量为 4.3% 。C 点成分的合金为共晶铸铁，组织为莱氏体。含碳量在 $2.11\% \sim 4.3\%$ 之间的合金为亚共晶铸铁，组织为莱氏体 + 珠光体 + 渗碳体；含碳量在 $4.3\% \sim 6.67\%$ 之间的合金为过共晶铸铁，组织为莱氏体 + 渗碳体。

莱氏体组织在常温下是珠光体 + 渗碳体的机械混合物，其性质硬而脆。

铁碳合金状态图对钢的热处理，包括焊件的焊后热处理、焊接工艺选择等，有重要的指导意义。

三、钢的热处理

将金属加热到一定温度，并保持一定时间，然后以一定的速度冷却到室温，这个过程称为热处理。在冷却过程中，不同的冷却速度对钢的组织变化，会产生很大的影响。

常用的热处理工艺大致有以下几种：

1. 淬火

将钢（高碳钢或中碳钢等）加热到 A_1 （对过共析钢）或 A_3 （对亚共析钢）以上 $30 \sim 70^{\circ}\text{C}$ ，在此温度下保持一段时间，使钢的组织全部变成奥氏体，然后在水中或油中快速冷却，而形成马氏体组织，这个过程称为淬火。但是含碳量小于 0.25% 的低碳钢因含碳量低，不易淬火形成马氏体。

淬火后可以提高钢的硬度及耐磨性。

在焊接中碳钢和某些合金钢时，近缝区可能发生淬火现象而变硬，易形成冷裂纹，这是在焊接过程中要设法防止的。

2. 回火