



农民进城务工制造业指导系列丛书

电 焊 工

基本技能

郭成操 编著



■ 适用于:

- ▲ 农村劳动力转移培训
- ▲ 就业与再就业岗前培训
- ▲ 新农村建设“农家书屋”配书
- ▲ 在职人员培训



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

农民进城务工制造业指导系列丛书

电焊工基本技能

郭成操 编著

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电焊工基本技能/郭成操编著. —哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2010. 2

ISBN 978 - 7 - 81133 - 671 - 9

I. ①电… II. ①郭… III. ①电焊 - 基本知识
IV. ①TG443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 025736 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮政编码 150001

发行电话 0451 - 82519328

传 真 0451 - 82519699

经 销 新华书店

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 850mm × 1 168mm 1/32

印 张 5.75

字 数 155 千字

版 次 2010 年 2 月第 1 版

印 次 2010 年 2 月第 1 次印刷

定 价 12.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

目前，我国职业教育已初步形成了“在国务院领导下分级管理，地方为主、政府统筹、社会参与”的职业教育新体系。为认真贯彻落实全国职业教育工作会议精神，更好地服务于职业教育这项国家工程，我社积极组织各行各业职业教育教师、一线职业专家，根据职业教育“突出技能教育，重实践、多动手、强训练，真正培养学员动手能力”的教学特点，编写了该套教材。

该套教材遵循“买得起、看得懂、操作得来”的基本要求，包含引导性培训和职业技能培训两个方面。在引导性培训方面，主要包括基本权益保护、法律知识、城市生活常识、寻找就业岗位的技巧、职业道德教育等方面的教材，目的在于提高培训对象遵守法律法规和依法维护自身权益的意识，树立新的就业观念；在职业技能培训方面，教材根据国家职业标准和不同行业、不同工种、不同岗位对从业人员必须掌握的基本技能和技术标准的要求编排内容，以提高学员的岗位工作能力，增强学员的就业竞争力。特别适合用于农村劳动力转移培训以及工、矿、企业为培养、培训初级技能型工人的专业教材。

该套教材的出版，为规范职业技能培训、更好地实施“阳光工程”以及配套“农家书屋”的建设都有积极的作用。

目 录

第 1 章 金属材料及热处理	1
1.1 金属材料的力学性能	1
1.2 金属材料的热处理	6
第 2 章 金属材料的焊接原理	12
2.1 焊接电弧基础	12
2.2 焊接材料的熔化及熔滴过渡	20
第 3 章 金属材料的常用焊接方法	24
3.1 金属材料焊接方法的分类	24
3.2 焊条电弧焊	26
3.3 埋弧焊	33
3.4 手工钨极氩弧焊	40
3.5 其他常用的电焊方法	49
第 4 章 常用的焊接设备	61
4.1 焊接设备的选择与分类	61
4.2 电弧焊机的选择与使用	63
4.3 电阻焊机的选择与使用	69
4.4 焊接辅助设备及工具	72
第 5 章 焊接材料	81
5.1 电焊条	81
5.2 焊剂与焊丝	94

第 1 章 金属材料及热处理

1.1 金属材料的力学性能

机器上由金属材料制成的零、部件，在工作过程中都要承受外力（或称载荷）作用。载荷作用的结果将引起零、部件形状和尺寸的改变，这种改变称为变形。由于所加载荷的大小、速度和形式的不同，所引起金属变形的方式也不同。常见的变形方式有：拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切等。金属材料在各种不同形式的载荷作用下所表现出来的特性叫做力学性能。通常用试验来测定。常用的试验方法有拉伸试验、硬度试验、冲击试验等，力学性能的主要指标有强度、塑性、硬度、冲击韧度等。

1.1.1 强度和塑性

1. 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。由于所受载荷的形式不同，金属材料的强度可分抗拉强度、抗压强度、抗扭强度、抗弯强度、抗剪强度。各种强度之间有一定的联系。一般情况下多以抗拉强度作为判别金属强度高低的指标。

强度的三个主要指标：

（1）弹性极限：是金属材料能保持弹性变形的最大应力，用 σ_e 表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中 F_e ——弹性变形范围内的最大载荷 (N); S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

(2) 屈服强度: 是使材料产生屈服现象时的最小应力, 用 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 F_s ——使材料产生屈服的最小载荷 (N); S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

对于低塑性材料或脆性材料, 由于屈服现象不明显, 因此这类材料的屈服强度常产生一定的微量塑性变形 (一般用变形量为试样长度的 0.2% 表示) 的应力为屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示, 称为条件屈服强度。即:

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0}$$

式中 $F_{0.2}$ ——塑性变形量为试样长度的 0.2% 时的载荷 (N); S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)

(3) 抗拉强度。试样断裂前能够承受的最大应力, 称为抗拉强度, 用 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 F_b ——试样断裂前所能承受的最大载荷 (N); S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

低碳钢的屈服强度 σ_s 约为 240Mpa, 抗拉强度 σ_b 约为 400Mh。

2. 塑性

金属发生塑性变形但不被破坏的能力称为塑性。在拉伸时它们分别为伸长率和断面收缩率。

(1) 伸长率

伸长率是指试样拉伸断裂时的绝对伸长量与原始长度比值的百分率，用符号 δ 表示。

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——表示试样的原始标距长度 (mm); l_1 ——试样拉断时的标距长度 (mm)。

(2) 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后，试样断口处横截面积的缩减量与原始横截面积之比值的百分率，用符号 ψ 表示。即：

$$\psi = \frac{\Delta S}{S_0} \times 100\% = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2); S_1 ——试样断裂处的横截面积 (mm^2)。

3. 硬度

硬度是指金属表面上局部体积内抵抗弹性变形、塑性变形或抵抗破坏的能力，常用的硬度方法有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种。布氏用 HBS 和 HBW、洛氏硬度用 HRC、维氏硬度用 HV 表示。

4. 冲击韧度

金属抵抗冲击载荷而不被破坏的能力称为冲击韧度，用符号 a_{kv} 表示

$$\alpha_{KV} = \frac{A_{KV}}{S}$$

A_{KV} ——冲击吸收功(J); S ——试样缺口处的横截面积(mm^2)。

1.1.2 碳素结构钢、合金钢、有色金属的牌号、性能和用途

1. 碳素结构钢和优质碳素结构钢

(1) 碳素结构钢

这类碳钢中碳的质量分数一般在 $0.06\% \sim 0.38\%$ 范围内。钢中有害杂质相对较多，但价格便宜，大多用于要求不高的机械零件和一般工程构件。通常轧制成钢板或各种型材（圆钢、方钢、工字钢、角钢、钢筋等）供应。

碳素结构钢的牌号表示方法是由代表屈服点的字母 Q、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法等四个部分按顺序组成。例如 Q235—AF 表示碳素结构钢中屈服强度为 235MPa 的 A 级沸腾钢。碳素结构钢应用最广，主要用于制作薄板、中板、钢筋、各种型材、一般工程构件、受力不大的机械零件，如小轴、拉杆、螺栓、连杆等。

(2) 优质碳素结构钢

这类钢因有害杂质较少，其强度、塑性、韧性均比碳素结构钢好。主要用于制造较重要的机械零件。

优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示，数字表示钢中平均碳质量分数的万倍。如 45 表示其平均碳的质量分数为 0.45% 。其主要用于制作承受载荷较大的小截面调质件和应力较小的大型正火零件以及对心部强度要求不高的表面淬火件，如曲轴、传动轴、连杆、链轮、齿轮、齿条、涡轮、辊子等。

2. 合金结构钢

合金结构钢是在碳素结构钢的基础上，适当地加入一种或几种合金元素而获得的钢。它用于制造重要的工程结构和机械零件，是用途最广、用量最大的一类合金钢。

根据用途和热处理方法等的不同，常用的合金结构钢有以下几种：

(1) 低合金结构钢

特点：具有高的屈服强度与良好的塑性和韧性；良好的焊接性；较好的耐蚀性。例如 16Mn，主要用于各种大型钢结构、桥梁、船舶、锅炉、压力容器、重型机械、电钻设备等。

(2) 合金渗碳钢

渗碳钢通常是指经渗碳、淬火、低温回火后使用的钢。例如 20CrMnTi 是应用最广泛的合金渗钢，可用来制造汽车、拖拉机的变速齿轮。

(3) 合金调质钢

指经调质处理后使用的钢，一般为中碳的优质碳素结构钢与合金结构钢。例如：30CrMnSi 用于飞机重要零件，如起落架、螺栓、对接接头、冷气瓶等。

(4) 合金弹簧钢

弹簧钢指用来制造各种弹簧和弹性元件的钢。例如 55Si₂Mn。

(5) 滚动轴承钢

滚动轴承钢是用来制造滚动轴承的滚动体（滚针、滚柱、滚珠）、内外套圈的专用钢。例如：GCr₁₅。

3. 有色金属

工业上常用的金属材料中，通常称铁及其合金（钢铁）为黑色金属，其他的非铁金属及其合金则称为有色金属。铝、镁、钛、铜、锡、铅、锌等金属及其合金为常用的有色金属。有色金属的产量及用量虽然不如黑色金属多，但由于它们具有很多良好的特殊性能，成为现代工业中不可缺少的材料。

(1) 常用铝合金

防锈铝合金：主要是铝-锰系和铝-镁系。因其具有适中强度良好的塑性和抗蚀性，故称为防锈铝合金。例如：5A05。主要用于制造油罐、各种容器、防锈蒙皮等。

硬铝合金：属于铝-铜-镁系和铝-铜-锰系。这类铝合金经淬火和时效处理后可获得相当高的强度，故称为硬铝。例如 2A01 可

用于制造较高负荷下的铆接与焊接零件。

超硬铝合金：属于铝-铜-镁-锌系，是在硬铝的基础上再加锌而成，强度高于硬铝，故称为超硬铝合金。例如 7A04 主要用于制造要求重量轻、受力较大的结构零件。

锻造铝合金：大多属于铝-铜-镁-硅系。这类合金由于具有优良的锻造工艺性能，故称为锻造铝合金。例如 2B50 主要用来制造各种锻件和模锻件。

(2) 常用铜合金

铜合金按其化学成分分为黄铜、青铜和白铜。

黄铜 普通黄铜如 H80，压力黄铜如 HPb59-1，铸造黄铜如 ZCuZn16Si4。

青铜 锡青铜如 QSn6.5-0.4、铝青铜 ZCuAl10Fe₃、铅青铜 ZCuPb₃₀、铍青铜 QBe₂。

白铜 如 BMn3-12。

(3) 常用轴承合金

常用轴承合金有锡基轴承合金、铝基轴承合金、铜基轴承合金、铅基轴承合金。

1.2 金属材料的热处理

1.2.1 Fe—Fe₃C 相图的构造及应用

1. Fe—Fe₃C 相图

Fe—Fe₃C 相图是表示在缓慢冷却（加热）条件下（即平衡状态）不同成分的钢和铸铁在不同温度下所具有的组织或状态的一种图形。它清楚地反映了铁碳合金的成分、组织、性能之间的关系，是研究钢和铸铁及其加工处理（铸、锻、焊、热处理等加工工艺）的重要理论基础。图 1-1 中的符号是国际通用的，各临界

点的数据则由于测试条件不同而略有差异。图中左上角部分实际应用较少。图中各种数字及曲线的意义见表 1-1 和 1-2 所示。

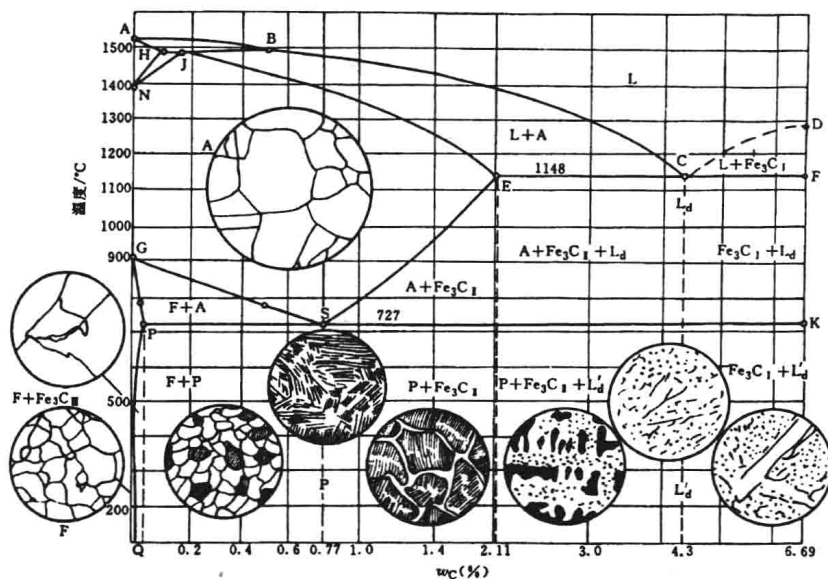


图 1-1 Fe—Fe₃C 相图

表 1-1 Fe—Fe₃C 相图中的主要特性点

特性点	温度/℃	$\omega_c(\%)$	含 义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.3	共晶点。发生共晶转变 $L_c \xrightleftharpoons{1148^\circ\text{C}} A_E + Fe_3C$
D	~1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 γ -Fe 中的最大溶解度；钢与铁的分界点
G	912	0	纯铁的同素异晶体转变点 $\alpha\text{-Fe} \xrightleftharpoons{912^\circ\text{C}} \gamma\text{-Fe}$
P	727	0.0218	碳在 α -Fe 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点。发生共析转变 $A_s \xrightleftharpoons{727^\circ\text{C}} F_p + Fe_3C$

表 1-2 Fe—Fe₃C 相图中的主要特性线

特征线	含 义
ACD	液相线, 合金在此线温度以上时处于液态
AECF	固相线, 合金在此线温度结晶终了, 处于固态
ECF	共晶线, 液态合金在此线上发生共晶转: $L_c \longrightarrow A_E + Fe_3C$
PSK	共析线, 常称为 A_1 线。奥氏体在此线上发生共析转 $As \longrightarrow Fp + Fe_3C$
ES	碳在奥氏体中的溶解度曲线, 常称为 A_{cm} 线
GS	奥氏体转变为铁素体的开始线, 常称为 A_3 线

2. 相图的应用

(1) Fe—Fe₃C 作为选用钢铁材料的依据

Fe—Fe₃C 相图较直观地反映了铁碳合金的组织随成分和温度变化的规律, 这就为钢铁材料的选用提供了依据。如各种型钢及桥梁、车辆、船舶、各种建筑结构等, 都需要强度较高、塑性及韧性好、焊接性能好的材料, 故应选用碳含量较低的钢材; 各种机器零件需要强度、塑性、韧性等综合性能较好的材料, 应选用碳含量适中的钢; 各类工具、刃具、量具、模具要求硬度高、耐磨性好的材料, 则可选用碳含量较高的钢。纯铁的强度低, 不宜用作工程材料, 常用的是它的合金。白口铸铁硬度高、脆性大, 不能锻造和切削加工, 但铸造性能好, 耐磨性高, 适于制造不受冲击、要求耐磨、形状复杂的工件, 如冷轧辊、球磨机的铁球、犁铧、拔丝模等。

(2) 在铸造生产上的应用

根据 Fe—Fe₃C 相图的液相线, 可以找出不同成分的铁碳合金的熔点, 从而确定合金的熔化浇注温度 (温度一般在液相线以上 50~100℃)。从 Fe—Fe₃C 相图中还可以看出, 靠近共晶成分的铁碳合金不仅熔点低, 而且结晶温度区间也较小, 故具有良好的铸造性能。因此生产上总是将铸铁的成分选在共晶成分附近。

(3) 在锻压工艺方面的应用

根据 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图可以选择钢材的锻造或热轧温度范围。通常锻、轧温度选在单相奥氏体区内，这是因为钢处于奥氏体状态时，强度较低，塑性较好，便于成形加工。一般始锻（或始轧）温度控制在固相线以下 $100\sim 200^\circ\text{C}$ 范围内，温度不宜太高，以免钢材氧化严重；终锻（或终轧）温度取决于钢材成分，一般亚共析钢控制在稍高于 GS 线，过共析钢控制在稍高于 PSK 线，温度不能太低，以免钢材塑性变差，导致产生裂纹。

(4) 在热处理方面的应用

$\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图对于制订热处理工艺有着特别重要的意义。各种热处理工艺的加热温度都是依据 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图选定的。必需指出，虽然 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图得到了广泛的应用，但仍有一定的局限性。例如 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图不能说明快速加热或冷却时铁碳合金组织的变化规律；又如，通常使用的铁碳合金中，除了铁、碳这两种元素外，尚有其他多种杂质或合金元素，这些都会对 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图产生影响，故应予以考虑。

1.2.2 退火、正火、淬火和回火的目的和实际用途

钢的热处理是指钢在固态下，采用适当方式进行加热、保温和冷却，以改变金相的内部组织结构，从而获得所需性能的一种工艺方法。这种工艺方法通常可用工艺曲线表示如图 1-2 所示。通过适当的热处理，可以充分发挥钢材的潜力，显著提高钢的力学性能，延长零件的使用寿命；还可以消除铸、锻、焊等热加工工艺造成的各种缺陷，为后续工序作好组织准备。因此热处理在机械制造业中占有十分重要的地位。根据热处理加热和冷却方式的不同，热处理大致分类如下：

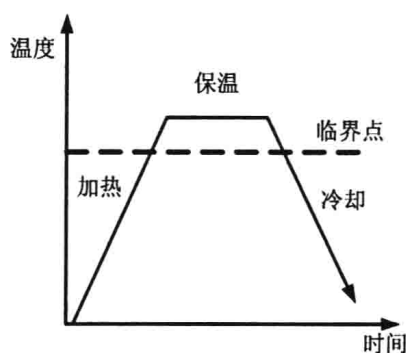
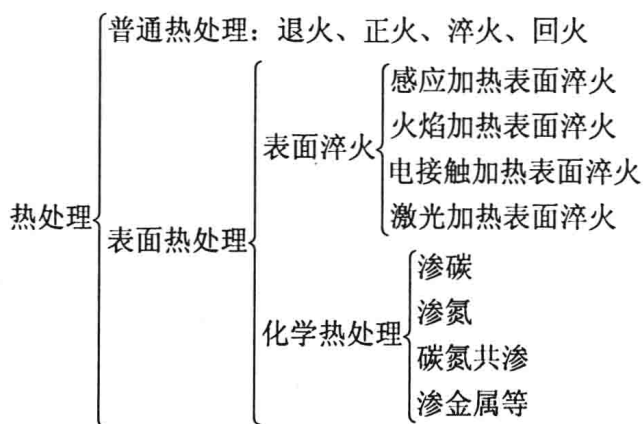


图 1-2 热处理工艺曲线

1. 钢的退火与正火

(1) 退火

将钢加热到适当温度，保温一定时间，然后缓慢冷却的热处理工艺称为退火。退火工艺的主要特点是缓慢冷却。根据退火工艺与目的的不同，常将退火分为完全退火、等温退火、球化退火、均匀化退火、去应力退火等。

(2) 正火

正火是将钢加热到 Ac_3 或 Ac_{cm} 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ ，保温适当的时间后，在静止的空气中冷却的热处理工艺。正火工艺的主要特

点是完全奥氏体化和空冷。与退火相比，正火的冷却速度稍快，过冷度较大。因此，正火组织中先共析相的量较少，组织较细，其强度、硬度比退火高一些。

2. 钢的淬火

将钢加热到 Ac_3 或 Ac_1 以上某温度，保温一定时间，然后以适当速度冷却而获得马氏体或贝氏体组织的热处理工艺称为淬火。淬火后钢的组织主要有马氏体组成。淬火的目的是为了得到马氏体组织，再经回火，使钢得到需要的使用性能，以充分发挥材料的潜力。

3. 淬火钢的回火

钢件淬硬后，再加热到 Ac_1 点以下某一温度，保温一定时间，然后冷却到室温的热处理工艺称为回火。它是紧接淬火的热处理工序。淬火钢一般不宜直接使用，必须进行回火。回火的目的是：

(1) 获得工作所需要的性能；(2) 消除淬火冷却应力，降低钢的脆性；(3) 稳定工件组织和尺寸。

第2章 金属材料的焊接原理

2.1 焊接电弧基础

电弧是一种气体放电现象，具有高热和强光的特性，电弧焊就是利用它的热源来熔化焊条和工件的。

2.1.1 焊接电弧产生的条件

焊接电弧是在一定条件下，两电极之间产生强烈持久的气体放电现象。气体电离和阴极电子发射是电弧产生和维持的两个重要条件。在正常情况下气体是不导电的，因此，电流不能通过气体。要使电弧引燃和持续燃烧，就必须使焊条和工件间的气体电离变成电的导体，但是，如果只有气体电离而阴极不能发射电子，没有电流通过，那么还是不能形成电弧。所以要产生焊接电弧，必须具备以下三个条件：

1. 在焊条与工件之间加合适的空载电压

空载电压高有利于引燃电弧和稳弧，但电压过高会造成不安全和不经济。

2. 在焊条与工件之间造成短路

利用两极间短路出现的强大电流所产生的高温来实现气体的电离。

3. 增加焊条与工件之间介质中的导电离子

通过在焊条药皮中加入易电离的碱金属、碱土金属元素及其