

焊接工程手册

JIANZHU JISHU SHIYONG SHOUCHE CONGSHU
HANJIE GONGCHENG SHOUCHE

张仁武 主编

建筑技术实用
手册丛书



建筑技术实用手册丛书

焊接工程手册

主 编 张仁武

参 编 齐 斌 鲁 力 郭玉树 赵著华 王美蓉



山西科学技术出版社
SHANXI SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目(CIP)数据

焊接工程手册/张仁武主编. —太原:山西科学技术出版社, 2005. 1

ISBN 7-5377-2353-2

I. 焊... II. 张... III. 焊接—技术手册
IV. TG4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 090772 号

建筑技术实用手册丛书

焊接工程手册

张仁武 主编

*

山西科学技术出版社出版 (太原建设南路 15 号)

新华书店经销 太原兴晋科技印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 7.75 字数: 201 千字
2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月太原第 1 次印刷

印数: 1-3 000 册

*

ISBN 7-5377-2353-2

T·368 定价 15.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与印厂联系调换。



前 言

随着建筑技术的发展和基本建设管理体制的改革,以及新的规范、法规、标准的出现,广大的工程技术人员希望有更新、更实用的书籍。正是为了适应这种形势的需要,我们组织工程技术人员及专业教师编写了《建筑技术实用手册丛书》。丛书包括《管道工程安装手册》、《建筑电工手册》、《钢结构制作安装工程手册》、《通风空调工程施工手册》、《钢筋工程手册》、《建筑防水工程手册》、《装饰工程估算造价手册》和《焊接工程手册》等八本。

该丛书在编写过程中力求做到:一是教师和业内专家相结合,发挥各自的优势,相互补充,共同协作;二是坚持理论联系实际,既有一定的理论深度又贴近实际,既有科学性又有很强的操作性;三是开拓创新,既吸收现有的科研成果,又尽量体现新的实践经验;四是紧扣新的规范、法规和标准,适应实际工作的需要;五是通用性、实用性和可查性强。

《焊接工程手册》是针对建筑焊接工程特点及焊接技术,并根据我国现行建筑焊接工程标准和规范编写而成的。内容包括焊接基础、焊接材料、焊接设备、焊接方法、建筑常用金属材料焊接和焊接安全技术等。该书新颖、简洁、实用,是从事建筑焊接操作的初学者和在岗工人的必备实用技术手册,也可供焊接技术人员参考。

本书在编写过程中参阅了大量的专著和文献,并得到了业内专家和学者的关注和支持,在此表示衷心的感谢。

由于书中误漏在所难免,望读者斧正,不胜感谢。

《建筑技术实用手册丛书》编委会

主 任:张 鸣

副主任:周海涛 赵永安 杨其富 骆家祥 杜逸玲

张文祥 曾 洁 张仁武 梁新焰

编 委:梁敦维 刘汉奇 康劲松 杨天水 伍艳芳

钟世昌 李先祥 钟 慧 杨 晨 赵 林

赵珍祥 谢 天 蒋 波 李 斌 杨开涛



目 录

第一章 焊接基础	(1)
第一节 金属学基础	(2)
一、铁—碳合金相图	(2)
二、金属材料的力学性能	(4)
三、金属材料的分类	(6)
四、金属的焊接性	(10)
第二节 焊接冶金	(11)
一、焊接冶金特点	(11)
二、焊缝的形成及热影响区	(14)
三、焊接接头组织和性能的调整与改善	(15)
第三节 焊接应力与变形	(15)
一、焊接应力及变形的种类	(15)
二、焊接变形的控制	(16)
第四节 焊件热处理基础	(18)
一、常用的热处理方法	(18)
二、钢的热处理工艺代号	(19)
三、焊件热处理方法的选择	(19)
第五节 焊缝连接与焊接结构	(20)
一、焊缝连接	(20)
二、焊接结构	(29)
第二章 焊接材料	(32)
第一节 焊条	(32)



目 录

一、焊条分类	(32)
二、焊条型号、牌号的表示方法	(33)
三、焊条药皮	(38)
四、焊条的选择、使用和保管	(39)
五、建筑常用焊条的特点和用途	(41)
第二节 焊丝与焊剂	(45)
一、焊丝	(45)
二、焊剂	(49)
第三节 焊接用气体	(50)
一、气体的性质及用途	(50)
二、焊接用气体的技术要求	(51)
三、各种气瓶的涂色标记	(52)
第三章 焊接设备	(53)
第一节 焊接设备选用	(53)
一、焊接设备分类	(53)
二、选用焊接设备的一般原则	(53)
三、电焊机型号的编制及型号的代表符号	(54)
第二节 弧焊电源	(58)
一、对弧焊电源的要求	(58)
二、弧焊电源设备的类型及参数	(59)
三、常用弧焊电源的型号及主要技术数据	(61)
四、弧焊电源的选择、安装和使用	(65)
第三节 电弧焊机	(71)
一、电弧焊机的分类	(71)
二、电弧焊机的结构	(72)
三、常用弧焊机的主要技术数据和用途	(78)
第四节 电阻焊设备	(82)
一、电阻焊设备的分类	(82)



二、电阻焊设备的组成	(83)
三、常用电阻焊机的型号及主要技术数据	(84)
第五节 气焊与气割设备	(91)
一、气焊设备	(91)
二、手工气割设备	(99)
第四章 焊接方法	(102)
第一节 手工电弧焊	(102)
一、手工电弧焊的特点及应用	(102)
二、焊接工艺参数的选择	(103)
三、手工电弧焊的操作技术	(104)
四、各种类型焊件的焊接	(118)
五、常见手工电弧焊缺陷及防止措施	(124)
第二节 二氧化碳气体保护焊	(125)
一、二氧化碳气体保护焊的特点	(125)
二、二氧化碳气体保护焊的分类及应用范围	(127)
三、二氧化碳气体保护焊技术	(127)
第三节 埋弧焊	(130)
一、埋弧焊的特点	(131)
二、埋弧焊的应用范围	(132)
三、埋弧焊技术	(132)
第四节 电阻焊	(136)
一、电阻点焊	(136)
二、电阻对焊	(141)
第五节 气焊与气割	(147)
一、气焊	(147)
二、气割	(151)
第五章 建筑常用金属材料焊接	(156)



第一节 碳钢的焊接	(156)
一、常用碳钢的牌号及用途	(156)
二、低碳钢的焊接	(158)
三、中碳钢的焊接	(172)
第二节 合金结构钢的焊接	(174)
一、合金结构钢的牌号	(174)
二、焊接特点	(175)
三、焊接工艺要点	(176)
四、常用低合金结构钢的焊接	(178)
五、焊接参数	(183)
第三节 建筑钢结构的焊接及质量检验	(185)
一、钢结构的焊接	(185)
二、钢结构焊接质量检验	(207)
第四节 建筑钢筋的焊接及质量检验	(210)
一、钢筋的焊接	(210)
二、钢筋焊接质量检验	(225)
第六章 焊接安全技术	(229)
第一节 焊接的有害因素	(229)
一、影响焊接生产安全的危险因素	(229)
二、影响人体健康的有害因素	(229)
第二节 焊接危害控制及高空焊接技术	(230)
一、电焊的防触电	(230)
二、气焊、气割的防火防爆	(231)
三、高空焊接安全技术	(237)
第三节 常用焊接方法的操作安全	(238)
一、手弧焊的操作安全	(238)
二、气焊、气割的操作安全	(238)
三、CO ₂ 气体保护焊的操作安全	(239)



第一章 焊接基础

焊接的种类很多,按焊接过程的特点可分为三大类。

1. 熔焊:是利用局部加热将两焊件的结合处加热到熔化状态,并形成共同熔池(一般还要加填充金属),凝固后形成牢固的焊接接头的方法。

2. 压焊:是利用加压力(或同时加热)使两焊件结合面紧密接触并产生一定塑性变形,使它们的原子组成新的结晶,形成焊接接头的方法。

3. 钎焊:是对被焊工件和作填充金属的钎料进行加热,焊件金属不熔化,待熔点低的钎料被熔化后渗透到焊件接头之间,与固态的被焊金属相互熔解和扩散,钎料凝固后将两焊件焊接在一起的方法。

随着焊接技术不断发展,焊接方法已有几十种,常用的焊接方法如下:

1. 熔焊:有气焊、电弧焊(包括手工电弧焊、自动埋弧焊、半自动埋弧焊)、电渣焊、等离子弧焊、气电焊(包括二氧化碳气体保护焊、惰性气体保护焊、氢原子焊)及激光焊等。

2. 压焊:有锻焊、电阻焊(包括对焊、点焊、滚焊)、气压焊、超声波焊等。

3. 钎焊:有烙铁钎焊、火焰钎焊、电接触钎焊、高频钎焊等。

焊接与铆接等其他加工方法相比,主要优点有:能减轻结构重量,节省金属,节约工时,生产率高,便于自动化、机械化,接头致密性好等。因此,在国民经济各个部门被广泛应用。约占钢总产量 60% 的钢材就是经各种形式的焊接后投入使用的,如建筑结构、高炉炉壳、机车、车辆、汽车、船舶、飞机、锅炉、高压容器等,都需要进行焊接。但焊接需经过局部加热,容易产生焊接应力、变形和其他缺陷,所以必须采取一定工艺措施才能保证焊接质量。





表 1-1 铁—碳合金相图中的特性点及其含义

点符号	$t/^\circ\text{C}$	$\omega_c(\%)$	含义
A	1538	0	纯铁的熔点(凝固点)
B	1495	0.53	包晶反应时液态合金的浓度
C	1148	4.30	共晶点 $L \rightleftharpoons A + \text{Fe}_3\text{C}$
E	1148	2.11	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 同素异构转变点
H	1495	0.09	碳在 $\delta\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点
N	1394	0	$\gamma\text{-Fe} \rightleftharpoons \delta\text{-Fe}$ 同素异构转变点
P	727	0.0218	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
Q	0	0.008	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度
S	727	0.77	共析点

表 1-2 铁—碳合金相图中的特性线及其含义

线符号	含义(按冷却叙述,加热为可逆的)
ABCD	液相线,在此线以上合金为液体,液体开始结晶
AHECF	固相线,在此线以下合金为固体,液体结晶终止
GS	冷却时,自奥氏体开始析出铁素体,即 $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$ 的开始线,常用 A_3 线表示
ES	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的溶解度线,常用 A_{cm} 表示
ECF	共晶转变线, $L \rightleftharpoons \gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}$
PSK	共析转变线, $\gamma_s \rightleftharpoons \alpha_F + \text{Fe}_3\text{C}$
PQ	低于 A_1 时,碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度线

表 1-3 室温下铁—碳合金平衡组织的名称

名称	$\omega_c(\%)$	平衡组织
亚共析钢	0.02 ~ 0.77	铁素体 + 珠光体
共析钢	0.77	珠光体
过共析钢	0.77 ~ 2.11	珠光体 + 二次渗碳体
亚共晶白口铁	2.11 ~ 4.3	珠光体 + 莱氏体
共晶白口铁	4.3	莱氏体
过共晶白口铁	> 4.3 ~ 6.69	一次渗碳体 + 莱氏体



表 1-4 铁—碳合金基本组织的名称和性能

名称	符号	组 织	性 能
铁素体	F	碳溶于 α -Fe 中形成的间隙固溶体	塑性、韧性高,强度、硬度低
奥氏体	A	碳在 γ -Fe 中形成的间隙固溶体	塑性较好,硬度和强度低
渗碳体	Fe_3C	铁和碳的化合物(Fe_3C)	硬度高,脆性大
珠光体	P	铁素体和渗碳体的机械混合物(共析体)	硬度比铁素体和奥氏体高,比渗碳体低,塑性比铁素体和奥氏体低,比渗碳体高
莱氏体	Ld	奥氏体与渗碳体的机械混合物	硬度高,脆性大

二、金属材料的力学性能

在现代工农业、国防、交通运输等各部门中,金属材料是应用最广泛的材料,因为金属材料资源丰富,而且具有许多优良的使用性能和工艺性能。

使用性能是指金属材料在使用过程中应具备的性能,它包括力学性能、物理性能(如密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性、导磁性等)和化学性能(如抗腐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是指金属材料从冶炼到成品的生产过程中,适应各种加工工艺(如冶炼、铸造、冷热压力加工、焊接、切削加工、热处理等)应具备的性能。

在上述使用性能中,最重要的是力学性能。金属力学性能是指金属材料在各种不同性质的外力作用下所表现的抵抗能力,如强度、硬度、塑性、韧性、弹性、抗疲劳性等。这些性能指标在工业生产及科研中具有重要的作用,是评定原材料质量和工艺水平的重要根据,是设计机器零件和构件时进行强度计算和选材的主要依据,也是金属材料研究中挖掘材料性能潜力和开展金属新材料的主要标准。

金属材料的力学性能名称及含义见表 1-5 和表 1-6。

表 1-5 金属材料的力学性能名称及含义

名称	符号	单位	含义及说明
抗拉强度	σ_b	MPa	材料在拉断前所承受的最大标称拉应力称为抗拉强度;受压的称抗压强度;受弯的称抗弯强度;受剪切的称抗切强度
抗压强度	σ_{bc}		
抗弯强度	σ_{bb}		
抗切强度	τ_b		



续表

名称	符号	单位	含义及说明
弹性极限	σ_e	MPa	材料在外力的作用下产生变形,当外力去除后能恢复原状的能力称弹性。金属材料能保持弹性变形的最大应力称弹性极限
屈服点	σ_s	MPa	材料在拉伸过程中,载荷不增加(保持恒定)仍能继续伸长时的应力
伸长率	δ	%	在拉伸过程中,试样上标距的伸长与原始标距的百分比。 δ_5, δ_{10} 表示试样的标距等于 5、10 倍直径时的伸长率
断面收缩率	ϕ	%	试样拉断后,缩颈处横断面积的最大缩减量与原始横断面积的百分比
冲击韧度	α_k	J/cm ²	金属材料受冲击力作用时,抵抗变形和断裂的能力
硬度	见表 1-6		金属材料表面抵抗其他更硬物体压入的能力
疲劳极限	σ_{-1} σ_{-1k}	MPa	金属材料在指定循环基数下的中值疲劳强度,称为疲劳极限。循环基数一般取 10^7 或更高些, σ_{-1} 为光滑试样, σ_{-1k} 为缺口试样
蠕变极限	$\sigma_{\text{变形量/时间}}$	MPa	在规定温度及恒定力作用下,材料塑性变形随时间而增加的现象称蠕变,衡量蠕变的指标称蠕变极限。分子表示变形量的百分数,分母表示产生该变形量所经历的时间,以小时为单位

表 1-6

硬度表示方法及使用范围

名 称		代 号	使 用 范 围	
布氏硬度		HBS(W)	方法简单,测量值较准确。压头为淬火钢球时用 HBS 表示,适用于测量低碳钢、灰铸铁、有色金属等布氏硬度值在 450 以下的材料;压头为硬质合金时,用 HBW 表示,适用于布氏硬度值在 650 以下的材料	
洛氏硬度	A	HRA	效率高,压痕小,可测量软的、很硬的或厚度较薄的成品,但测量值不够准确	测量表面淬硬层、渗碳层很厚的材料
	B	HRB		测量有色金属、退火和正火后较软的金属
	C	HRC		测量调质钢、淬火钢等较硬的金属
表面洛氏硬度	N	HRN (15N—45N)	适用于经渗碳、渗氮等表面处理的钢材硬度;测定薄、小试件的硬度	
	T	HRT (15T—45T)		
维氏硬度	HV		压痕浅,适宜测量零件表面的硬化层、化学处理的表面层及很薄零件的硬度,测定值比布氏和洛氏硬度精确	



续表

名称	代号	使用范围
肖氏硬度	HS	硬度计体积小、便于携带,适于测定大型机件的硬度,误差较大
里氏硬度	HL	硬度计体积小、质量轻,可直接测定,特别适用于其他硬度计难以测量的、不易移动的大型工件和不易拆卸的大型部件及构件的硬度

三、金属材料的分类

金属材料可分为黑色金属材料和有色金属材料两大类。黑色金属是指钢和铸铁,钢又可分为碳素钢和合金钢。黑色金属以外的金属统称为有色金属。

(一)碳素钢的分类

碳素钢简称碳钢,是指含碳量小于 1.5%,不含特意加入合金元素,而含有少量的硫、磷、硅、锰等杂质的钢。

1. 按冶炼方法可分为:平炉钢、转炉钢、电炉钢。

2. 按炼钢时的脱氧程度及浇铸方法可分为:沸腾钢、镇静钢、半镇静钢。

3. 按含碳量可分为:

(1)低碳钢: $C < 0.25\%$

(2)中碳钢: $C = 0.25\% \sim 0.60\%$

(3)高碳钢: $C > 0.60\%$

4. 按用途可分为:

(1)碳素结构钢:主要用于各种结构件(如建筑、桥梁、船舶、锅炉、车辆等用钢)和机器零件。这类钢一般属于低、中碳钢。

(2)碳素工具钢:主要用于各种刀具、量具和模具。这类钢属于高碳钢。

此外,按机械加工前的状态或供货前的主要加工工艺,还可分为变形钢(包括热轧钢、冷轧钢、冷拔钢、锻钢等)和铸钢两大类。

5. 按钢的质量可分为:

(1)普通碳素钢: $S \leq 0.055\%$, $P \leq 0.045\%$ 。



(2) 优质碳素钢: $S, P \leq 0.035\%$ 。

(3) 高级优质碳素钢: $S \leq 0.020\%$, $P \leq 0.030\%$ 。

(二) 合金钢的分类

在碳钢中加入各种合金元素而冶炼成的钢称为合金钢。

1. 按钢中主要合金元素的种类, 可分为锰钢、硅锰钢、铬钢、铬锰钛钢等。

2. 按钢中合金元素总含量分为:

(1) 低合金钢: 合金元素总含量 $\leq 5\%$ 。

(2) 中合金钢: 合金元素总含量 $> 5\% \sim 10\%$ 。

(3) 高合金钢: 合金元素总含量 $> 10\%$ 。

3. 按主要用途分为:

(1) 结构钢: 主要有建筑及工程用结构钢和机械制造用结构钢。前者主要用于建筑、桥梁、船舶、锅炉等, 后者主要用于制造机械设备上的结构零件。结构钢包括低合金结构钢、合金结构钢、弹簧钢和滚动轴承钢。

(2) 工具钢: 用于制造各种工具, 包括合金工具钢和高速工具钢。

(3) 特殊性能钢: 指具有特殊物理、化学性能或力学性能的钢, 包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢和磁钢等。

4. 按金相组织分为奥氏体钢、马氏体钢和铁素体钢。

(三) 铸铁的分类

铸铁是含碳量大于 2.06% 的铁碳合金。工业上使用的铸铁含碳量为 $2.5\% \sim 4\%$, 此外还含有硅、锰、硫、磷等杂质。

铸铁具有许多优良的性能, 如良好的铸造性、耐磨性、切削加工性等, 而且价格低廉, 所以应用很广。根据碳在铸铁中存在的形态不同, 铸铁可分为以下几种:

1. 白口铸铁: 除少量碳溶于铁素体内以外, 其余绝大部分碳以碳化物的形态存在, 其断口呈亮白色, 故称白口铸铁。白口铸铁很难切削加工, 因此很少直接用它来制造机械零件, 而主要作炼钢的原材料或用来制造可锻铸铁的毛坯。



2. 灰口铸铁: 简称灰铸铁, 大部或全部碳以自由状态呈片状存在于铸铁中, 断口为暗灰色, 故称灰口铸铁。它的铸造性能好, 硬度不高, 易于加工。灰口铸铁一般用于制造机架、床身、轴承盖, 以及轴承座、减速箱、水泵、油泵等的外壳, 皮带轮和齿轮等。

3. 球墨铸铁: 在铸铁的铁水中加入球化剂(镁或镁合金), 使铸铁中石墨成球状, 经球化处理所得的铸铁叫做球墨铸铁。球墨铸铁一般用于制造曲轴、轴套及大型轧钢机轧辊、齿轮等。

4. 可锻铸铁: 白口铸铁(含碳量为 2.2% ~ 2.8%, 含硅量为 0.6% ~ 1.4%) 在固态下经长时间高温退火获得的铸铁叫做可锻铸铁。根据基体组织的不同, 可锻铸铁可分为黑心可锻铸铁(即铁素体可锻铸铁, 断口呈灰黑色) 和白心可锻铸铁(即球光体可锻铸铁, 断口白亮) 两类。

由于可锻铸铁的强度比灰口铸铁高, 尤其是黑心可锻铸铁具有较高的塑性和韧性, 比钢有更优良的铸造性能, 因此生产上应用较多。可锻铸铁适用于制造截面较薄而形状较复杂, 工作中受震动而强度要求较高的零件, 如汽车、拖拉机的后桥壳、轮壳等; 也可用于制造强度要求较高的零件, 如曲轴、连杆、管接头等。

(四) 铜及其合金

纯铜又叫紫铜, 呈玫瑰色, 有较高的导电性、导热性和抗腐蚀性, 密度为 8.93, 熔点为 1083℃, 纯铜的塑性好但强度不高, 主要用于制作电气工业中的各种导体材料、管子、铆钉和垫片等。机械中用的铜主要是铜合金, 铜合金分黄铜和青铜两大类。

1. 黄铜: 铜和锌的合金叫做黄铜, 它的加工性能好, 并有较高的耐腐蚀能力。纯铜和锌的合金叫做普通黄铜或锌黄铜; 除了锌以外, 又加入少量其他元素的铜合金叫做特殊黄铜, 如锡黄铜、硅黄铜、铝黄铜等。低锌黄铜具有良好的导热性、抗蚀性, 广泛用于汽车, 制造散热器、冷凝器的管道等。黄铜也广泛应用于制造热压和热轧的零件及焊件。

2. 青铜: 铜和锡的合金叫做青铜。铝青铜用于制造易磨损条件