

电弧焊 实用技术手册

高忠民 主编

DIANHUAN
SHIYONG JISHU SHOUCHE



金盾出版社
JINDUN CHUBANSHE

电弧焊实用技术手册

高忠民 主 编



金盾出版社

内 容 提 要

本书是一本简明、实用、操作性强的电弧焊技术手册,作者按照焊接与切割的国家和行业的最新标准,重点介绍了电弧焊基本知识、焊接材料、焊接设备、常用金属的焊条电弧焊焊接方法、焊接应力和焊接变形、焊接缺陷和焊接质量检查、劳动安全保护等内容。并对工艺流程、操作要领及注意事项作了具体介绍。同时还介绍了碳弧气刨、二氧化碳气体保护焊、钨极氩弧焊、熔化极惰性气体保护焊、埋弧焊、等离子弧焊与等离子弧切割等新的、成熟的电弧焊工艺,并收集了大量资料,可以满足电弧焊作业的常规需要。

图书在版编目(CIP)数据

电弧焊实用技术手册/高忠民主编. — 北京:金盾出版社,2011.12
ISBN 978-7-5082-7189-7

I. ①电… II. ①高… III. ①电弧焊—技术手册 IV. ①TG444-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 198609 号

金盾出版社出版、总发行

北京太平路 5 号(地铁万寿路站往南)
邮政编码:100036 电话:68214039 83219215
传真:68276683 网址:www.jdcbs.cn

封面印刷:北京凌奇印刷有限责任公司

正文印刷:北京军迪印刷有限责任公司

装订:兴浩装订厂

各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:22 字数:544 千字

2011 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1~8 000 册 定价:56.00 元

(凡购买金盾出版社的图书,如有缺页、
倒页、脱页者,本社发行部负责调换)

前 言

焊接是一种先进和高生产率的金属加工工艺,其重要性和优越性日益突出。随着国民经济的发展,焊接技术成为机械制造业、建筑行业及其他行业的关键技术之一。大多数工业产品如建筑产品及能源、石油、化工、航空、航天、船舶、海洋工程等行业产品都离不开焊接技术。焊接结构用钢已占钢产量的45%以上。焊接作业不论在工程量方面、质量要求方面,还是在技术先进性方面,都起到越来越重要的作用。我国的现代焊接科学技术,随着经济的发展,技术进步极为迅速。

在焊接生产中,电弧焊是最为主要的焊接技术。电弧焊一方面面临着新技术、新工艺、新设备和新材料应用,另一方面面临着技术人才匮乏的严峻问题。编写本书的目的是为读者提供系统的技术资料,引导读者正确选择和使用电弧焊的焊接方法和焊接设备,了解和掌握现代先进的电弧焊技术。

本手册依据《国家职业标准—焊工》和国家经贸委《特种作业人员安全技术培训考核管理办法》的规定和要求编写,重点介绍了电弧焊基本知识、焊接材料、焊接设备、常用金属的焊条电弧焊焊接方法、焊接应力和焊接变形、焊接缺陷和焊接质量检查、劳动安全保护等内容。并对工艺流程、操作要领及注意事项作了具体介绍。同时还介绍了碳弧气刨、二氧化碳气体保护焊、钨极氩弧焊、熔化极惰性气体保护焊、埋弧焊、等离子弧焊与等离子弧切割等新的、成熟的电弧焊工艺。

本手册简明实用、信息量大、方便查找,读者一书在手,可以满足电弧焊作业的常规需要。

本书由高忠民主编,参加编写的还有刘雪涛、赵佳、陈小思、吴玲、刘硕、高文君等。限于编者水平,难免存在不足和错误,敬请读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 电弧焊基本知识	1
第一节 金属材料基本知识	1
一、金属材料的物理、化学和力学性能	1
二、合金元素在钢中的作用	4
三、钢中的有害杂质和有害气体	4
四、碳素钢的分类及牌号表示方法	5
五、合金钢的分类及牌号表示方法	8
六、不锈钢的分类及牌号表示方法	11
七、专用钢	13
八、钢的焊接性	13
九、有色金属材料	16
第二节 钢的热处理基本知识	22
一、钢的晶体结构	22
二、钢的常见组织	23
三、铁-碳平衡状态图及其应用	24
四、钢的热处理	26
第三节 焊接接头	27
一、焊接接头的种类及主要形式	27
二、焊接坡口的形式和尺寸	31
第四节 焊接位置和焊缝形式	33
一、焊接位置	33
二、焊缝形式及形状尺寸	34
第五节 焊接图	36
一、焊缝的规定画法	36
二、焊缝符号	36
三、焊接方法代号	43
四、焊缝标注实例	44
第六节 焊接工艺参数	47
一、焊接工艺参数	47
二、热输入	48
第七节 焊接电弧	48

一、电弧的引燃	48
二、电弧的结构、温度和热量的分布	49
三、焊接电弧的静特性	50
四、电弧偏吹	51
第二章 焊接材料	53
第一节 焊条	53
一、焊条的分类及特性	53
二、焊条的型号	55
三、焊条的选用原则	63
四、电焊条的保管、使用和鉴定	64
第二节 焊丝	67
一、焊丝的分类和型号	67
二、CO ₂ 气体保护焊焊丝的型号、规格和用途	70
三、惰性气体保护焊用焊丝	74
第三节 焊剂	76
一、焊剂的分类和牌号	76
二、埋弧焊用焊剂的型号	78
三、埋弧焊用焊丝和焊剂的匹配	79
四、焊剂的烘干	81
第三章 焊接设备	82
第一节 焊条电弧焊设备	82
一、对电弧焊电源的基本要求	82
二、焊条电弧焊机的分类、型号、技术参数	83
三、交流电弧焊机	85
四、交流弧焊机的正确使用和维护保养及故障排除	86
五、整流弧焊机	88
六、整流弧焊机的正确使用和维护保养及故障排除	89
七、焊条电弧焊电源的调节	90
八、电焊钳和焊接电缆	91
九、焊条电弧焊的辅助设备和工具	93
第二节 CO₂ 气体保护焊焊接设备	96
一、焊接电源	96
二、焊枪	97
三、送丝系统	97
四、供气系统、冷却水系统和控制系统	97
第三节 钨极氩弧焊焊接设备	98
一、手工钨极氩弧焊焊接设备	98
二、机械化钨极氩弧焊设备	102

三、脉冲钨极氩弧焊(TIG)焊接设备	102
第四节 熔化极惰性气体保护焊设备	103
一、焊接电源	103
二、焊枪	104
三、送丝系统	104
四、供气系统、冷却水系统和控制系统	105
第五节 埋弧焊设备	105
一、埋弧焊电源	106
二、埋弧焊机	106
三、埋弧焊机辅助设备	107
四、埋弧焊机的使用、维护和常见故障的排除	108
第六节 等离子弧焊接和等离子弧切割设备	110
一、等离子弧焊接设备	110
二、等离子弧切割设备	115
第七节 碳弧气刨设备、工具和材料	118
一、碳弧气刨用电源及空压机	118
二、碳弧气刨枪和碳棒	118
第四章 焊条电弧焊	121
第一节 焊条电弧焊的工艺特点和冶金特性	121
一、焊条电弧焊的工艺特点	121
二、焊条电弧焊的冶金特性	121
第二节 焊条电弧焊焊接规范	125
一、焊条直径的选择	125
二、电源种类和极性的选择	126
三、焊接电流的选择	126
四、电弧电压	127
五、焊接层数	127
六、焊接速度	127
第三节 焊条电弧焊的基本操作技术	127
一、引弧	127
二、运条	128
三、各种长度焊缝的操作方法	130
四、收弧	131
五、各种位置的焊接技术	132
六、单面焊双面成形技术	138
第四节 常用金属材料的焊条电弧焊	143
一、碳素钢的焊条电弧焊	143
二、低合金结构钢的焊条电弧焊	146

三、不锈钢的焊条电弧焊	149
四、耐热钢的焊条电弧焊	155
五、低温钢的焊条电弧焊	160
六、铸铁的焊条电弧焊	162
七、铜和铜合金的焊条电弧焊	170
八、铝和铝合金的焊条电弧焊	173
九、镍和镍合金的焊条电弧焊	174
第五节 焊条电弧焊操作工艺	176
一、焊前的准备工作	176
二、定位焊	178
三、薄板焊接技术	179
四、低碳钢板对接的平焊、立焊、横焊的单面焊双面成形	179
五、管子的焊接技术	184
第六节 碳弧气刨工艺	197
一、碳弧气刨工艺参数	197
二、碳弧气刨操作技术	199
三、薄板和常用金属材料的碳弧气刨	200
四、碳弧气刨常见缺陷及其预防措施	201
第五章 气体保护焊	203
第一节 CO₂ 气体保护焊	203
一、CO ₂ 气体保护焊的工艺特点和过程	203
二、CO ₂ 气体保护焊工艺参数	207
三、CO ₂ 气体保护焊基本操作技术	209
四、CO ₂ 气体保护焊单面焊双面成形操作技术	212
五、CO ₂ 气体保护焊 T 形接头操作技术	221
第二节 钨极氩弧焊	223
一、钨极氩弧焊的特点和应用	224
二、钨极氩弧焊的焊接材料	224
三、钨极氩弧焊坡口的选择	225
四、手工钨极氩弧焊焊接规范	228
五、手工钨极氩弧焊基本操作技术	232
六、手工钨极氩弧焊操作工艺	234
第三节 熔化极惰性气体保护焊	237
一、熔化极惰性气体保护焊特点及保护气体的分类	237
二、不锈钢的熔化极惰性气体保护焊	239
三、铝及铝合金的熔化极惰性气体保护焊	240
四、铜及铜合金的熔化极惰性气体保护焊	243
五、钛及钛合金的熔化极惰性气体保护焊	245

第六章 埋弧焊	246
第一节 埋弧焊的工作原理、特点和应用	246
一、埋弧焊的工作原理	246
二、埋弧焊的特点	246
三、埋弧焊的应用范围	247
第二节 埋弧焊焊接工艺	247
一、埋弧焊焊接工艺参数	247
二、埋弧焊前的准备工作	249
三、单面焊双面成形机械化埋弧焊	249
四、对接焊缝双面机械化埋弧焊	253
五、多层机械化埋弧焊	254
六、对接环缝机械化埋弧焊	255
七、其他机械化埋弧焊	256
八、埋弧焊的主要缺陷及其防止措施	259
第三节 常用金属材料的埋弧焊	260
一、低碳钢的埋弧焊	260
二、低合金钢的埋弧焊	261
三、奥氏体不锈钢的埋弧焊	264
四、有色金属的埋弧焊	266
第七章 等离子弧焊与等离子弧切割	271
第一节 等离子弧	271
一、等离子弧的形成	271
二、等离子弧的分类、应用及其特点	272
第二节 等离子弧焊接	273
一、等离子弧焊的原理、特点和应用	273
二、等离子弧焊的接头形式	275
三、等离子弧焊件的装配与夹紧	275
四、等离子弧焊的工艺参数	275
五、双弧现象	277
六、常用材料的等离子弧焊	277
七、等离子弧焊工艺实例	279
八、常见的等离子弧焊缺陷及防止措施	280
第三节 等离子弧切割	281
一、等离子弧切割的原理、特点和应用	281
二、等离子弧切割工艺	281
三、常用材料的等离子弧切割	284
四、常见的等离子弧切割质量和切割缺陷及防止措施	285
第八章 焊接应力和焊接变形	287

第一节 焊接应力	287
一、焊接应力及其分布	287
二、焊接应力的降低和调整	289
三、消除焊接残余应力的方法	291
第二节 焊接变形	293
一、焊接变形的种类	293
二、焊接残余变形的估算方法	293
三、防止焊接变形的措施	295
四、焊接变形的矫正	297
第九章 焊接缺陷和焊接检验	300
第一节 焊接缺陷	300
一、焊接缺陷的分类	300
二、焊接缺陷的产生原因、危害和防止措施	300
第二节 焊接检验	308
一、焊接检验的内容	308
二、焊接检验方法	309
三、焊接质量检验	314
第十章 电弧焊安全技术	320
第一节 电弧焊作业环境中的职业性有害因素	320
一、触电	320
二、电弧辐射	320
三、焊接烟尘	321
四、有害气体	321
五、放射性物质	322
六、高频电磁场	322
七、噪声	322
第二节 电弧焊安全技术	322
一、焊接安全用电技术	322
二、焊条电弧焊安全技术	324
三、碳弧气刨安全技术	326
四、气体保护焊安全技术	326
五、埋弧焊安全技术	327
六、等离子弧焊接与等离子弧切割安全技术	327
七、燃料容器、管道检修焊补安全技术	328
八、水下焊接与切割安全技术	331
九、焊工高处作业安全技术	333
十、触电急救	333
第三节 焊工劳动保护	334

一、焊工劳动保护用品种类及要求	334
二、电弧焊辐射防护措施	335
三、焊接烟尘和有毒气体的防护措施	337
四、高频电磁场的防护措施	339
五、放射性防护措施	340
六、噪声防护措施	340

第一章 电弧焊基本知识

第一节 金属材料基本知识

一、金属材料的物理、化学和力学性能

1. 金属材料的物理、化学性能

金属材料的物理、化学性能主要是指金属材料的密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性、磁性、耐腐蚀性等。

(1) 密度

物质单位体积所具有的质量称为密度,用符号 ρ 表示。一般密度小于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为轻金属,反之称为重金属。利用密度的概念可以解决计算毛坯的质量、鉴别金属材料等一系列实际问题。

(2) 熔点

纯金属和合金由固态转变为液态时的熔化温度称为熔点。纯金属有固定的熔点,合金的熔点取决于它的成分。例如,钢是铁碳合金,碳含量不同,熔点也不同。熔点对金属和合金的冶炼、铸造和焊接等都是很重要的参数。

(3) 导电性

金属材料传导电流的能力称为导电性。衡量金属材料导电性的指标是电阻率 ρ ,电阻率越小,金属的电阻越小,导电性越好。金属中银的导电性最好,其次是铜和铝。

(4) 导热性

金属材料传导热量的性能称为导热性。导热性的大小通常用热导率来衡量,热导率符号是 λ ,热导率越大,金属的导热性越好。金属中银的导热性最好,其次是铜和铝。

(5) 热膨胀性

金属材料随着温度的变化而膨胀、收缩的特性称为热膨胀性。一般来说,金属受热时膨胀而体积增大,冷却时收缩而体积缩小。衡量热膨胀性的指标一般是线膨胀系数,线膨胀系数是指金属温度每升高 1°C 所增加的长度与原来长度的比值。金属的线膨胀系数不是一个固定的数值,随着温度的增高,其数值也相应增大。在焊接过程中,被焊工件由于受热不均匀而产生不均匀的热膨胀,就会导致焊件产生变形和焊接应力。

(6) 磁性

金属材料在磁场中受到磁化的性能称为磁性。根据金属材料在磁场中受到磁化程度的不同,可分为铁磁材料(如铁、钴等)、顺磁材料(如锰、铬等)和抗磁性材料(如铜、锌等)三类。工程上应用较多的是铁磁材料。

(7) 抗氧化性

金属材料在高温时抵抗氧化性气氛的腐蚀作用的能力称为抗氧化性。一般用于热力设备中的高温部件等。

(8)耐腐蚀性

金属材料抵抗各种介质(大气、酸、碱、盐等)侵蚀的能力称为耐腐蚀性。一般用于化工、热力设备等。

常用金属材料的物理性能指标见表 1-1。

表 1-1 常用金属材料的物理性能指标

金属名称	符号	密度 $\rho(20^{\circ}\text{C})$ (kg/m^3)	熔点($^{\circ}\text{C}$)	热导率 λ [$\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$]	热胀系数 $\alpha_1(0 \sim 100^{\circ}\text{C})$ ($10^{-6} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)	电阻率 $\rho(0^{\circ}\text{C})$ ($10^{-6} \cdot \Omega \cdot \text{cm}$)
银	Ag	10.49×10^3	960.8	418.6	19.7	1.5
铜	Cu	8.96×10^3	1083	393.5	17	1.67~1.68(20 $^{\circ}\text{C}$)
铝	Al	2.7×10^3	660	221.9	23.6	2.655
镁	Mg	1.74×10^3	650	153.7	24.3	4.47
钨	W	19.3×10^3	3380	166.2	4.6(20 $^{\circ}\text{C}$)	5.1
镍	Ni	4.5×10^3	1453	92.1	13.4	6.84
铁	Fe	7.87×10^3	1538	75.4	11.76	9.7
锡	Sn	7.3×10^3	231.9	62.8	2.3	11.5
铬	Cr	7.19×10^3	1903	67	6.2	12.9
钛	Ti	4.508×10^3	1677	15.1	8.2	42.1~47.8
锰	Mn	7.43×10^3	1244	4.98(-192 $^{\circ}\text{C}$)	37	185(20 $^{\circ}\text{C}$)

2. 金属材料的力学性能

力学性能是指金属在外力作用时表现出来的性能,金属材料常用的力学性能指标主要有:强度、塑性、冲击韧性和硬度等。

(1)强度

强度是指材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力,强度越高,抵抗变形和断裂的能力越强。衡量强度的常用指标为屈服点和抗拉强度。

①屈服点。钢材在拉伸过程中当载荷达到一定值时,载荷不变,仍继续发生明显的塑性变形的现象,称为屈服现象。材料产生屈服现象时的应力,称为屈服点,用 $R_{\text{eL}}(\sigma_s)$ (括号内代号为旧的符号,下同)来表示。有些金属材料(如高碳钢、铸钢等)没有明显的屈服现象或无屈服现象,测定 $R_{\text{eL}}(\sigma_s)$ 很困难,在此情况下,规定以工件基准长度方向产生 0.2% 塑性变形时的应力定义为材料的屈服点,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。材料的屈服点是机械设计的主要依据之一,是评定金属材料质量的重要指标。

②抗拉强度。钢材在拉伸时,材料在拉断前所承受的最大应力称为抗拉强度,用 $R_m(\sigma_b)$ 表示。它也是衡量金属材料强度的重要指标。金属材料在使用中所承受的工作应力不能超过材料的抗拉强度,否则会产生断裂,甚至造成严重事故。

强度的单位用 Pa、MPa 表示,也可以用 N/m^2 表示。它们的换算关系是:

$$1\text{MPa}=1 \times 10^6 \text{Pa}=1 \times 10^6 \text{N}/\text{m}^2$$

(2)塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形的能力。塑性越高,材料产生塑性变形的能力越强。塑性指标主要有伸长率、断面收缩率和冷弯角等。

①断后伸长率。金属材料受拉力作用被破断以后,在标距内总伸长长度同原来标距长度相比的百分数叫做断后伸长率(或延伸率),以 $A(\delta)$ 表示。

$$A(\delta) = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样的原标距长度,mm;

l_1 ——试样拉断后标距部分的长度,mm。

当试样原来的长度与其直径之比为 5 或 10 时,伸长率分别以 δ_5 和 δ_{10} 表示。

②断面收缩率。金属受外力作用被拉断以后,其横截面面积的缩小量与原来横截面面积相比的百分数,称为断面收缩率,以 $Z(\Psi)$ 表示。

$$Z(\Psi) = \frac{F_0 - F}{F} \times 100\%$$

式中 F ——试样拉断后,拉断处横截面面积,mm²;

F_0 ——试样标距部分原始的横截面面积,mm²。

$A(\delta)$ 和 $Z(\Psi)$ 的值越大,表示金属材料的塑性越好。伸长率和断面收缩率可以通过拉伸试验来获得。

③冷弯角。在船舶、锅炉、压力容器等工业部门,由于有大量的弯曲和冲压等冷变形加工,因此常用弯曲试验来衡量材料在室温时的塑性。试验时将长条形工件按规定的弯曲半径进行弯曲,在受拉面出现裂纹时,工件与原始平面的夹角叫做冷弯角,用 α 表示。弯曲试验通常在室温下进行,因而又称为冷弯试验。冷弯角越大,说明材料的塑性越好。冷弯试验是焊接接头常用的试验方法,它不仅考核焊接接头的塑性,还可以发现受拉面的缺陷。

(3) 冲击韧度

在冲击载荷下,金属材料抵抗破坏的能力叫做冲击韧度。冲击韧度值指试样冲断后缺口处单位面积所消耗的功,用符号 α_k 表示。

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F} (\text{J/cm}^2)$$

式中 A_k ——冲断试样所消耗的功,J;

F ——试样断口处的横截面积,cm²。

α_k 值越大,材料的韧性越好,在受到冲击时不容易断裂;反之,脆性越大。材料的冲击韧度与温度有关,温度越低,冲击韧度值越小。

(4) 硬度

金属材料抵抗表面变形的能力称为硬度。硬度是衡量金属材料软硬的一个指标,根据测量方法不同,硬度指标可分为布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HR)和维氏硬度(HV)。生产中常用布氏硬度和洛氏硬度,维氏硬度试验用来测定显微组织的硬度。

①布氏硬度试验。它是将直径 10mm 的淬硬钢球,在重力 P 的作用下,压入试样表面,根据压坑的面积可测得布氏硬度值。

布氏硬度值用符号 HB 表示,数值是压坑单位面积上所承受的平均压力。但布氏硬度不能测定硬度高于 HB450 的材料,否则钢球本身就会发生变形而影响准确度。不能测定太薄或太小的材料,也不宜测定表面要求严格的成品。

②洛氏硬度试验。它是以 120° 的金刚石圆锥体或 $\phi 1.59\text{mm}$ 的淬火钢球作为压头,在一定重力 P 的作用下,将压头压入被测工件表面,以压入深度(永久变形)测定材料的硬度大小。

压入越深,硬度越低;反之,硬度越高。洛氏硬度试验时加在压头上的载荷有三种:588N、980N、1470N。试验机上用 A、B、C 三种标尺分别代表三种载荷值,测得的硬度值相应的用 HRA、HRB、HRC 表示。一般常用的是 HRC,用来测量硬金属、淬火回火处理钢等的硬度。洛氏硬度可以测定最硬的金属,也可以测定成品及薄的工件。

二、合金元素在钢中的作用

(1) 碳(C)

碳是钢的主要强化元素之一。随着钢的碳含量的增加,钢的强度、硬度、淬硬倾向、低温脆化倾向增加,塑性、韧性和抗腐蚀性能降低。碳含量对钢的焊接性影响极大。一般说,随着碳含量的增加,焊缝金属和焊接热影响区产生焊接裂纹的倾向增加,焊接性变差。当碳含量高于 0.25% 时,焊接性即已开始变差。

(2) 锰(Mn)

锰是强化元素之一,能溶于铁素体中,起固溶强化作用,提高钢的强度和硬度。锰又是一种良好的脱氧和脱硫剂。焊接时经常利用锰来进行脱氧和脱硫。锰在钢中的含量小于 2% 时,可以使钢的强度明显提高,并能提高钢在低温下的冲击韧性。

锰有增加晶粒长大的倾向,因此锰会增大钢对淬火过热的敏感性。

(3) 硅(Si)

当硅含量小于 1% 时,对钢有强化作用。硅是强脱氧剂,可提高钢在高温下的抗氧化性。焊接时硅易形成高熔点夹杂物残留在焊缝中。

(4) 钼(Mo)

钼能提高钢的强度、硬度,能细化晶粒,也能防止回火脆化的现象产生。钼能提高高温强度、蠕变强度和持久强度。含钼量小于 0.6% 时,可提高钢的塑性并减小产生焊接裂纹的可能性。钼能提高冲击韧性,同时还能提高钢的抗氢腐蚀性能。

(5) 铬(Cr)

铬可以提高钢的抗氧化性和耐腐蚀性。含铬的钢具有回火脆性,在焊接时易产生裂缝,因此含铬量高的钢可焊性变差。

(6) 钒(V)

钒能提高钢的强度,可以细化晶粒,降低晶粒长大倾向。钒能提高淬硬性,并有时效硬化作用,同时也具有回火脆性。

(7) 钛(Ti)

钛是强烈的脱氧剂。在含钛的低合金钢中,含钛量为 0.08%~0.15%。钛可以提高钢的强度,细化晶粒,提高韧性,改善硫的偏析程度。钛含量小于 0.2% 时,可降低产生焊接裂纹和过热倾向,有利于改善钢的焊接性。

(8) 铌(Nb)

铌能与碳形成碳化物,与铁等元素形成金属间的化合物,呈弥漫状态分布,强化铁素体,细化晶粒。在含锰的钢中加入铌可降低冷脆倾向。

三、钢中的有害杂质和有害气体

(1) 钢中的有害杂质

① 硫(S)。硫是钢中的主要的有害杂质之一。硫几乎不溶于钢,与铁化合生成硫化铁。硫化铁又与铁形成低熔点共晶物,其熔点仅为 988℃。在铸锭及焊缝金属凝固时,这些低熔点

共晶物残留在枝晶之间最后凝固,产生的收缩应力容易使其处于液态时拉开而形成裂纹。

当钢中硫的含量较高时,即使铸锭在凝固时未产生裂纹,当在锻造及轧钢热加工中,低熔点物质熔化,也会沿晶界开裂形成裂纹。这种现象称为钢的热脆性。

对于焊接,钢中的硫是非常有害的。当焊接材料本身含硫量高或母材含硫量高时,都会使焊缝金属含硫量偏高,使焊缝金属在凝固时容易产生焊接热裂纹。含硫量高的钢材在焊接时,除焊缝金属产生热裂纹外,因硫化物受热熔化,在焊接热影响区也容易产生液化裂纹。

②磷(P)。磷是钢中的另一种有害杂质。钢中的磷可以溶解在铁素体内形成固溶体,使其强度和硬度提高。但磷原子溶于铁素体晶格以后使晶格产生很大的畸变,导致冲击韧性大大降低使材料变脆。但这种不利影响只在低温下才出现,而高温下并不产生,因此,不妨碍热加工。这种现象称为钢的冷脆性。

磷使钢的焊接性恶化,使焊缝金属和焊接热影响区易出现裂纹。

(2)钢中的有害气体

①氧(O)。钢中超出溶解度的氧以夹杂物的形式存在,降低钢的强度、塑性、韧性,使钢的脆性转变温度明显提高,降低钢材的疲劳强度和冷加工性能。

②氢(H)。氢使钢产生白点,引起氢脆现象,严重降低钢的韧性。焊接时焊缝金属所吸收的氢当含量较高时易产生冷裂纹。

③氮(N)。氮在铁素体中的溶解度很低,当钢中没有与氮可化合成氮化物的元素如铝、钛、锆时,大部分氮与铁形成又硬又脆的氮化铁,大大降低钢材的疲劳强度和冷加工性能。

上述氧、氢、氮这些气体在钢中都是有害的。其中一部分有害气体是从炼钢的原材料带入的,另一部分是焊接时从空气中吸收的。

四、碳素钢的分类及牌号表示方法

1. 碳素钢的分类

碳素钢简称碳钢,是指碳的质量分数小于 2.11% 的铁碳合金。碳素钢中除含有铁、碳元素以外,还有少量的硅、锰、硫、磷等元素。碳素钢常用的分类方法有以下几种:

(1)按化学成分分类

①低碳钢。碳的质量分数 $<0.25\%$ 。

②中碳钢。碳的质量分数 $=0.25\% \sim 0.60\%$ 。

③高碳钢。碳的质量分数 $>0.60\%$ 。

(2)按钢的质量分类

根据 GB/T 222—2006 的规定,按钢中有害杂质硫(S)、磷(P)的含量可分为 A、B、C、D、E 五个等级。例如:

①优质钢。S 的质量分数 $<0.035\%$,P 的质量分数 $<0.035\%$ 。

②高级优质钢。S 的质量分数 $<0.030\%$,P 的质量分数 $<0.030\%$,符号为 A。

③特级优质钢。S 的质量分数 $<0.020\%$,P 的质量分数 $<0.025\%$,符号为 E。

(3)按冶炼方法分类

根据冶炼时的脱氧方法可分为沸腾钢(F)、半镇静钢(b)、镇静钢(Z)和特殊镇静钢(TZ)。

(4)按金相组织分类

按钢在室温下的组织,可分为奥氏体钢、铁素体钢、马氏体钢、珠光体钢、贝氏体钢等。

(5)按用途分类

①结构钢。主要用于制造各种机械零件和工程结构件等,其碳的质量分数一般都小于 0.70%。

②工具钢。主要用于制造各种刀具、模具和量具等,其碳的质量分数一般都大于 0.70%。

③特殊用途钢。如不锈钢、耐热钢、耐酸钢、磁钢等。

2. 碳素结构钢牌号的表示方法

根据《碳素结构钢》(GB/T 700—2006)、《钢铁产品牌号表示方法》(GB/T 221—2008)等规定,碳素结构钢牌号的表示方法如下:

(1)通用碳素结构钢

采用代表屈服点的字母“Q”、屈服点的数值(单位为 MPa)和质量等级、脱氧方法等符号表示(表示镇静钢的符号“Z”和表示特殊镇静钢的符号“TZ”可以省略),按顺序组成牌号。例如 Q235AF 中,“Q”表示屈服点的字母,“235”表示钢屈服点的数值为 235MPa;“A、B、C、D”分别为质量等级;“F”表示沸腾钢。通用碳素结构钢的牌号、化学成分、力学性能和用途见表 1-2。

表 1-2 通用碳素结构钢的牌号、化学成分、力学性能和用途

牌号	等级	化学成分(%)					脱氧方法	拉伸实验			相当 GB 700—79 牌号	应用举例
		w(C)	w(Mn)	w(Si)	w(S)	w(P)		σ_s (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)		
				不大于								
Q195	—	0.06~0.12	0.25~0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、Z	(195)	315~390	33	A1、B1	用于制作钉子、铆钉、垫块及轻负荷的冲压件
Q215	A	0.09~0.15	0.25~0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z	215	335~410	31	A2 B2	
	B				0.045							
Q235	A	0.14~0.22	0.30~0.65	0.30	0.050	0.045	F、b、Z	235	375~460	26	A3 C3	用于制作小轴、拉杆、连杆、螺栓、螺母、法兰等不太重要的零件
	B	0.12~0.20	0.30~0.70		0.045							
	C	≤0.18	0.35~0.80	0.30	0.040	0.040	Z				—	
	D	≤0.17			0.035	0.035	TZ					
Q255	A	0.18~0.28	0.40~0.70	0.30	0.050	0.045	Z	255	410~510	24	A4 C4	用于制作拉杆、连杆、转轴、心轴、齿轮和键等
	B				0.045							
Q275	—	0.28~0.38	0.50~0.80	0.35	0.050	0.045	Z	275	490~610	20	C5	

(2)优质碳素结构钢

优质碳素结构钢中含有的有害元素及非金属夹杂物比普通碳素结构钢少,所以一般用来制造重要的机械零件,使用前一般都要经过热处理来改善力学性能。

优质碳素结构钢牌号通常由五部分组成:

第一部分:以二位阿拉伯数字表示平均碳含量(以万分之几计);

第二部分(必要时):较高含锰量的优质碳素结构钢,加锰元素符号 Mn;

第三部分(必要时):钢材冶金质量,即高级优质钢、特级优质钢分别以 A、E 表示,优质钢不用字母表示;

第四部分(必要时):脱氧方式表示符号,即沸腾钢、半镇静钢、镇静钢分别以“F”、“b”、“Z”表示,但镇静钢表示符号通常可以省略;

第五部分(必要时):产品用途、特性或工艺方法表示符号。