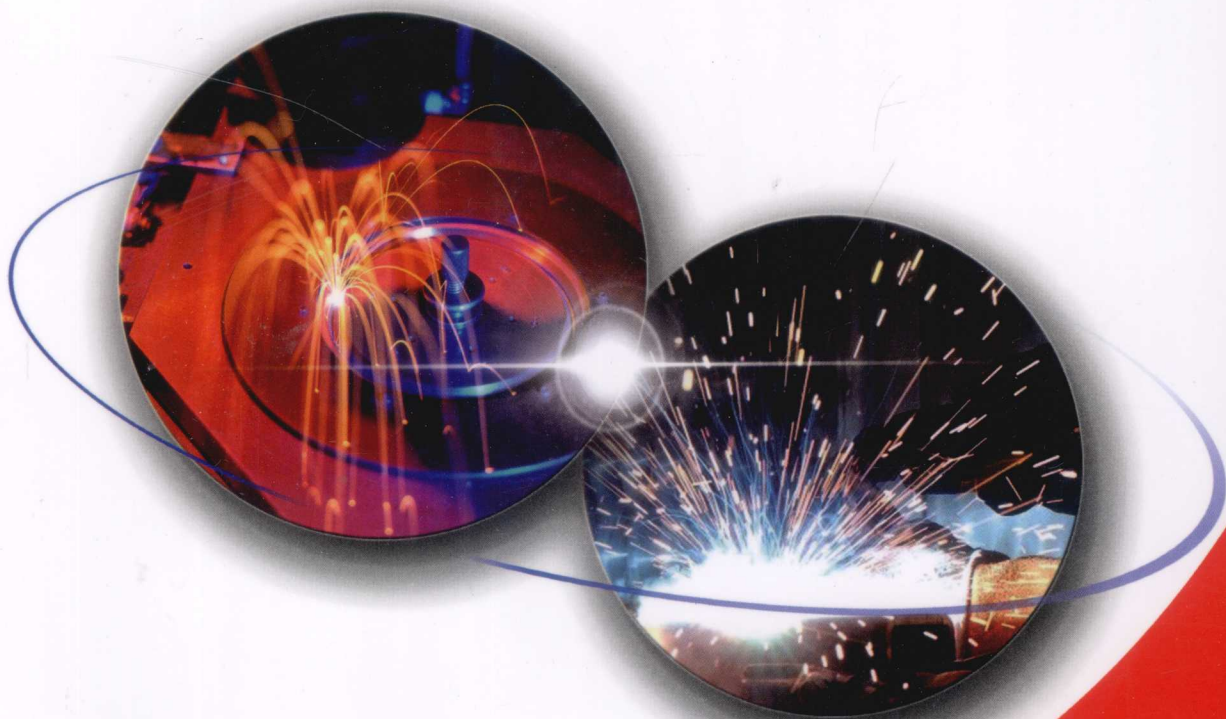


焊接操作技能

唐景富 主编



焊接操作技能

唐景富 主编
郑振太 刘淑英 审



机械工业出版社

本书以焊工技能等级标准为依据,集岗位规范、三大规程、操作技巧于一体,特选了理论精华和经典焊接技能,使专业知识与技能操作有机融合,文字简练,图文并茂,通俗易懂,有很强的针对性和实用性。

本书可作为焊工技能操作的培训教材,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接操作技能/唐景富主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 5
ISBN 978-7-111-26913-7

I. 焊… II. 唐… III. 焊接 IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 061301 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:吕德齐 责任编辑:白刚 版式设计:张世琴
责任校对:张媛 封面设计:赵颖喆 责任印制:邓博
北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)
2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 21 印张 · 518 千字
0 001—4 000 册
标准书号: ISBN 978-7-111-26913-7
定价: 36.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 68351729
封面无防伪标均为盗版

前 言

焊接技术是现代工业生产中的一项重要加工工艺，在桥梁、造船、水电、建筑、冶金、机械制造和国防等许多重要部门都有广泛应用，焊接工人的操作技能水平对保证产品质量、降低材料消耗、提高经济效益、增强市场竞争能力无疑是决定因素之一，因此建立一支高素质焊工队伍，对促进国民经济建设有着十分重要的意义。为适应焊工岗位培训提高操作技能水平的需求，特组织焊接专家和有经验的高级技师，吸取国内外焊接操作技能经验，结合国内各大企业的焊接操作特点和不同焊接需要，编制本书。

本书特选理论精华和经典焊接技能，可作为焊工技能操作培训辅导教材。

全书以焊工技能等级标准为依据，集岗位规范、三大规程、操作技巧于一体，实现了理论与实践的完美结合。

将专业知识与技能操作有机融合，形成本书内容上的新特色，此外本书在形式上也别具一格。

本书由唐景富任主编，参加编写的人员还有：郑振太、刘淑英、苗文玉、瞿忠智、马学芬、张卫、侯培平、冯国勇、曹俊峰、史艳秋、严娜、刘荣等，全书由郑振太、刘淑英审核。由于编者水平有限，书中错误和缺点在所难免，诚望读者和焊接工作者们批评指正。

编 者

目 录

前言	
第一章 钢材基本知识和常用材料	1
第一节 金属材料性能	1
第二节 钢材的组织	3
第三节 常用钢材	7
第二章 焊接电弧与焊条电弧焊的电源	11
第一节 焊接电弧、焊接热循环及热输入 ..	11
第二节 焊条电弧焊电源	13
第三节 埋弧自动焊机	19
第三章 焊接材料	22
第一节 焊条电弧焊的焊条	22
第二节 埋弧焊的焊接材料	32
第三节 钨极氩弧焊的焊接材料	35
第四章 焊接安全技术	37
第一节 预防触电的安全技术	37
第二节 焊条电弧焊的安全技术	38
第三节 埋弧焊的安全技术	39
第四节 钨极氩弧焊的安全技术	39
第五章 焊条电弧焊的操作技能	41
第一节 焊条电弧焊的基本操作	41
第二节 平板对接焊	53
第三节 立板对接焊	55
第四节 平板对接 45° 爬坡焊	57
第五节 管子对接水平固定焊	59
第六节 管子对接垂直固定焊	61
第七节 平板对接横焊	64
第八节 平板对接斜立焊	66
第九节 T 形接头平角焊缝	68
第十节 T 形接头仰角焊缝	70
第十一节 T 形接头立角焊缝	71
第十二节 管子上半圆搭接角焊缝	72
第十三节 管子下半圆焊接角焊缝	73
第十四节 异径三通管角焊缝 (马鞍形) ..	74
第六章 单面焊双面成形焊接操作技能	76
第一节 平焊板状试件碱性焊条单面焊双面成形焊接操作技能	76
第二节 立焊板状试件操作技能	79
第三节 横、仰焊板状试件操作技能	80
第四节 管状试件水平固定焊接操作	82
第五节 管状试件垂直固定焊接操作	85
第六节 管状试件 45° 倾斜固定焊接操作	87
第七章 焊接缺陷及检验	88
第一节 常见的焊接缺陷	88
第二节 焊接缺陷的检验	89
第八章 堆焊、不锈钢、铸铁焊接操作技能	94
第一节 堆焊操作技能	94
第二节 不锈钢焊接操作技能	103
第三节 铸件焊补操作技能	110
第九章 异种金属的焊接	117
第一节 低碳钢与低合金高强度钢的焊接	117
第二节 不锈钢与其他黑色金属的焊接	119
第三节 耐热钢与其他黑色金属的焊接	132
第四节 钢与有色金属的焊接	135
第五节 异种金属的堆焊	144
第十章 埋弧焊	147
第一节 埋弧焊方法概论	147
第二节 埋弧焊工艺方法及其分类	148
第三节 埋弧焊的优缺点及适用范围	154
第四节 埋弧焊操作技能	155
第五节 埋弧焊工艺	160
第六节 埋弧焊实例	164
第十一章 气体保护焊	173
第一节 气体保护焊原理、特点及应用范围	173
第二节 二氧化碳气体保护焊	176
第三节 熔化极惰性气体保护焊	199
第十二章 电渣焊	208
第一节 电渣焊的分类及选用	208

第二节	丝极电渣焊的操作技能	209	第三节	操作实例	236
第三节	熔嘴电渣焊的操作技能	215	第十五章	火焰钎焊	238
第四节	手工电渣焊的操作技能	218	第一节	相关知识	238
第十三章	碳弧气刨	220	第二节	硬质合金刀具与管接头的火焰 钎焊	241
第一节	碳弧气刨的原理、特点及应用 范围	220	第十六章	各种焊接技术	245
第二节	碳弧气刨的设备、工具和材料	221	第一节	高能束焊接	245
第三节	碳弧气刨工艺	223	第二节	电阻焊	265
第十四章	等离子弧切割设备及操作 技能	229	第三节	气焊	285
第一节	等离子弧切割设备的组成及使用 方法	229	第四节	钎焊	293
第二节	等离子弧切割操作技能	233	第五节	高频焊	309
			第六节	其他焊接方法	313
			参考文献	329

第一章 钢材基本知识和常用材料

第一节 金属材料性能

一、物理和化学性能

1. 热膨胀性

钢材受热体积胀大的特性称为热膨胀性。通常用线膨胀系数作为衡量热膨胀性的指标。钢材类别不同，线膨胀系数也不同。如奥氏体不锈钢的线膨胀系数比铁素体-珠光体型的低碳和低合金钢高 50% 左右。随着温度的升高，线膨胀系数增大。

2. 导热性

钢材传导热量的性能称为导热性。不锈钢的导热性比低碳钢和低合金钢要差。

3. 导磁性

钢材的导磁性能称为导磁性。钢材中除单相奥氏体钢为无磁钢外，其余均为导磁钢。

4. 导电性

钢材能够传导电荷的性能称为导电性。通常用电阻系数来衡量导电性的指标。钢材的电阻系数越大，其导电性能越差，电流通过时所产生的热量也越多。铬镍奥氏体不锈钢的电阻系数比低碳钢和低合金钢大。

5. 耐蚀性

钢材抵抗不同介质侵蚀的能力称为耐蚀性。不锈钢与其他钢种相比具有最优良的耐蚀性。

6. 抗氧化性

钢材在一定的温度和介质条件下抵抗氧化的能力称为抗氧化性。抗氧化性差的钢材在高温条件下很容易被周围介质中的氧所氧化，形成氧化皮，逐渐剥落而损坏。耐热钢则具有良好的抗氧化性，而不锈钢的抗氧化性最好。

7. 长期组织稳定性

钢材在高温条件下工作时保持其原有组织的性能称为长期组织稳定性。钢材的性能除与化学成分有关外，在很大程度上取决于内部组织。钢材在高温条件下长期工作时，其内部组织可能会发生变化并导致原有的性能发生改变。所以对于长期在高温条件下工作的钢材必须在工作期间不产生显著的有害组织，以保证其性能的稳定。

二、力学性能

钢材在一定的温度和外力作用下抵抗变形和断裂的能力称为力学性能。常规力学性能主要包括强度、塑性、硬度和韧性等；高温力学性能还包括抗蠕变性能、持久强度、瞬时强度和热疲劳性能等；低温力学性能还包括脆性转变温度等。

1. 强度

常用的强度指标有屈服强度、抗拉强度和疲劳极限等。

(1) 屈服强度 钢材在拉伸过程中当载荷不再增加甚至有所降低而继续发生塑性变形

的现象称为屈服现象。此时所承受的应力值称为屈服强度。

(2) 抗拉强度 钢材在拉伸试验时所能承受的最大名义应力值称为抗拉强度，以 σ_b 表示。

工程上所用的钢材，不仅希望具有高的屈服强度，而且希望具有一定的屈强比（即屈服强度与抗拉强度的比值）。屈强比越小，越不易发生危险的脆性破坏。但屈强比太低，钢材强度水平就不能充分发挥。

2. 塑性

塑性是指钢材在外力作用下产生塑性变形的能力。常用的塑性指标有伸长率和断面收缩率以及冷弯角等。

(1) 伸长率 伸长率就是试样在断裂时相对伸长的大小，即基准长度内试样的总伸长值与原始基准长度的比值。

(2) 冷弯角 将试样绕一定直径的轴（压头）进行弯曲，以检验受拉面的塑性和断面质量的试验，称为弯曲试验。在室温下进行弯曲试验称为冷弯试验。弯曲试验时把弯曲到受拉面出现裂纹时的角度叫做冷弯角，以 α 表示，其计量单位是度。

弯曲试验在检验钢材和焊接接头的性能和质量方面有重要意义。冷弯试验不仅可以考核钢材和焊接接头的塑性，而且可以发现受拉面材料中的缺陷以及焊缝、热影响区和母材三者的变形是否均匀一致。

3. 硬度

硬度是衡量钢材软硬的一项指标。生产中应用最多的是压入硬度法。所测得的硬度值反映了钢材表面抵抗另一更硬物压入时所引起的塑性变形能力。常用的硬度指标有布氏硬度 HBW，洛氏硬度 HRC、HRB、HRA，维氏硬度 HV 及肖氏硬度 HS 等。各种硬度值之间，硬度值与强度值之间存在着近似的经验关系，可以从对照表中查出或按近似公式进行换算。

4. 冲击韧性

所谓冲击韧性就是在冲击力作用下，具有一定形状的缺口试样抵抗变形和断裂的能力。常用的缺口形式有 V 形缺口和 U 形缺口两种。冲击韧性的大小称为冲击韧度，以 α_k 表示。

5. 抗蠕变性能

钢材在高温下受外力作用时，随着时间的延长缓慢而连续地产生塑性变形的现象，称为蠕变。钢材蠕变特征与温度和应力有很大关系。温度升高或应力增大，蠕变速度加快。如碳素钢当工作温度超过 300 ~ 500℃ 时，合金钢当工作温度超过 300 ~ 400℃ 时，就会发生蠕变。产生蠕变所需的应力低于试验温度时钢材的屈服强度。对于高温下长期工作的锅炉及压力容器，所用钢材应具有良好的抗蠕变性能，以防止因蠕变而产生大量变形导致结构破裂和造成爆炸事故。

6. 高温强度

钢材的室温力学性能与时间的关系不大，即瞬时强度与长时强度相差不大。可是当试验温度超过其一数值时，如钢材在超过 400℃ 进行试验时，则时间因素的影响很显著。常用的高温强度指标有持久强度和瞬时强度，并以持久强度为主要指标。

(1) 持久强度 钢材在高温下受外力作用时并不立即断裂，而是在持续相当长时间（如几百小时到几千小时）后断裂。所谓持久强度系指在一定温度下和规定时间内引起试样断裂的应力。持久强度不仅表示了在高温下钢材对断裂的抗力，同时还反映了断裂时材料的

长期塑性（残余伸长率和断面收缩率）。持久强度以 σ 符号表示，用上角标表示试验温度（ $^{\circ}\text{C}$ ），下角标表示断裂所需时间（h），如 σ_{100}^{700} 表示在温度 700°C 时，经 100h 断裂的持久强度。

(2) 瞬时强度 指在一定高温下，在短时间内引起试样断裂的应力。

7. 热疲劳性能

钢材如果长期一冷一热地工作，其内部在温差变化引起的热应力作用下，会产生微小裂纹。裂纹不断扩展，最后导致破裂。所以，在温度起伏变化工作条件下的结构，应考虑钢材的热疲劳性能。

8. 脆性转变温度

由于温度下降钢材由韧性状态过渡到脆性状态的现象称为冷脆性。钢材从韧性状态向脆性状态过渡的温度，称为脆性转变温度。

三、工艺性能

钢材的工艺性能系指承受各种冷热加工的能力，如锻造性能、轧制性能、成形性能和焊接性能等。钢材的工艺性能直接影响锅炉及压力容器的制造工艺和产品质量。

第二节 钢材的组织

一、金属晶格

金属的原子按一定方式有规则地排列成一定空间几何形状的格子，称为晶格。金属的晶格常见的有体心立方晶格和面心立方晶格，如图 1-1 所示。体心立方晶格的立方体的 8 个顶点和中心各有 1 个原子。

铁由于所处的温度不同，有时是体心立方晶格，有时是面心立方晶格。随着温度的变化，铁可以由一种晶格转变为另一种晶格。这种晶格类型的转变，称为同素异晶转变。纯铁在常温下是体心立方晶格（称为 $\alpha\text{-Fe}$ ）；当温度升高到

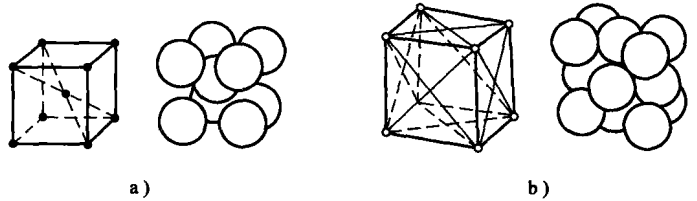


图 1-1 纯铁的晶格

a) 体心立方晶格 b) 面心立方晶格

910 $^{\circ}\text{C}$ 时，纯铁的晶格由体心立方晶格转变为面心立方晶格（称为 $\gamma\text{-Fe}$ ）；再升温到 1390 $^{\circ}\text{C}$ 时，面心立方晶格又重新转变为体心立方晶格（称为 $\delta\text{-Fe}$ ），然后一直保持到纯铁熔化温度。纯铁的这种特性十分重要，是钢材所以能通过各种热处理方法来改变其内部组织，从而改善性能的内在因素之一，也是焊接热影响区中各个区段与母材相比具有不同组织的原因之一。

二、合金构造

合金是两种或两种以上的金属元素（或金属与非金属）溶合在一起的复合体。如钢是铁与碳的合金；黄铜是铜与锌的合金等。组成合金的独立的、基本的单元称为组元。

合金中具有化学成分均匀、晶体结构相同并以界面相分开的各个均匀组成部分，称为相。合金中的相结构分为固溶体、化合物及机械混合物。

1. 固溶体

两种或两种以上的化学元素在液态时互相溶解，在固态时也互相溶解，构成单一的均匀的物质称为固溶体。其中含量较多的元素称为“溶剂”，含量较少的元素称为“溶质”。固溶体的晶格与溶剂元素的晶格相同。固溶体可分为两类，一类是溶质原子部分代替溶剂原子占据溶剂原子晶格结点位置而形成的固溶体叫置换式固溶体。另一类是溶质原子挤入溶剂晶格的间隙而形成的固溶体叫做间隙固溶体。一般情况固溶体的硬度和强度随固溶体中溶质元素浓度的增加而增大。这种溶质元素使固溶体的硬度、强度升高的现象称为固溶强化。普通低合金钢就是在铁素体基体上利用锰、硅的固溶强化作用获得的。

2. 化合物

两种或两种以上元素按一定比例化合，形成一种与元素性质完全不同的新物质，称为化合物。合金组织中的化合物一般都具有较高的硬度和较大的脆性。如钢中碳化铁（ Fe_3C ），可使钢的强度、硬度提高；硫化亚铁（ FeS ）使钢变脆。

3. 机械混合物

由两种固溶体或一种固溶体和化合物机械地掺和在一起所组成的合金结构，称为机械混合物。如碳钢退火状态下组织就是铁素体与化合物碳化铁的机械混合物。

合金在结晶后，即可形成单相的固溶体组织，也可得到单相的化合物组织，但更为常见的是多相组织。固态合金组成，可以通过金相显微镜观察到，通常称为“金相组织”。

三、钢材组织

$w(\text{C})$ 小于 2% 的铁碳合金称为钢。锅炉及压力容器用钢含碳量更低，一般 $w(\text{C})$ 不超过 0.25%。

钢材的性能不仅取决于钢材的化学成分，而且取决于钢材的组织。钢材的组织无法直接观察，只有经过取样、打磨抛光、腐蚀显示后，在金相显微镜下才能观察到钢材的组织。

钢材的组织主要有以下七种：

1. 铁素体

铁素体是碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体，如图 1-2 所示。由于体心立方晶格的原子间隙很小，故碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度极小，室温下仅能溶解 0.006% 的碳，铁素体的强度和硬度低，但塑性和韧性很好，所以含铁素体多的钢（低碳钢）就表现出软而韧的性能。

2. 渗碳体

渗碳体是铁和碳的化合物，分子式是 Fe_3C ，其性能与铁素体相反，硬而脆。随着钢中含碳量的增加，钢中渗碳体的量也增多，钢的硬度、强度也增加，而塑性、韧性则下降，常温下碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中溶解度很小，大部分碳以渗碳体形式出现。

3. 珠光体

珠光体是铁素体和渗碳体组成的机械混合物。只有温度低于 723°C 时才存在。在高倍金相显微镜下可以清楚地看到珠光体中的片状铁素体与渗碳体一层一层交替分布的情况。

珠光体的性能介于铁素体和渗碳体之间，其硬度和强度比铁素体高。

4. 奥氏体

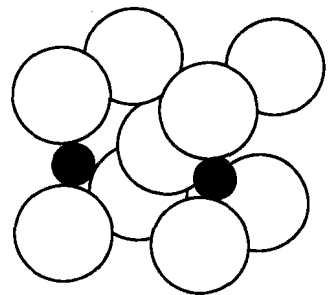


图 1-2 铁素体的晶体结构

奥氏体是碳在 γ -Fe 中的固溶体，如图 1-3 所示。由于面心立方晶格原子间隙较大，故碳在 γ -Fe 中的溶解度要比在 α -Fe 中大得多，在 732℃ 时溶解度为 0.8%，在 1130℃ 时为 2%。碳钢只有加热到 732℃（称为临界点）以上，组织发生转变时才存在奥氏体。在 732℃ 以下，随着钢中含碳量和冷却条件不同，奥氏体分别转变为铁素体、珠光体和中温转变产物等。奥氏体的强度和硬度并不高，但塑性和韧性很好。奥氏体的另一特点是没有磁性。

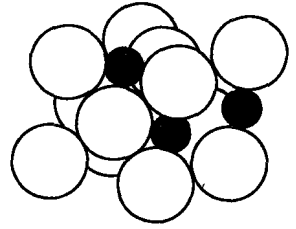


图 1-3 奥氏体的晶体结构

5. 马氏体

马氏体是碳在 α -Fe 中的过饱和固溶体。马氏体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构件变形和开裂。高碳淬火马氏体具有很高的硬度和强度，但很脆，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的强度、良好的塑性和韧性相结合的特点。马氏体加热后容易分解为其他组织。

6. 贝氏体

贝氏体是介于珠光体和马氏体之间的一种组织，是铁素体和渗碳体的机械混合物，属于中温转变产物。根据形成温度不同分为粒状贝氏体、上贝氏体（呈贝壳片状）和下贝氏体（呈针状）。粒状贝氏体强度较低，但具有较好的韧性；下贝氏体既具有较好的强度，又具有良好的韧性；上贝氏体的韧性最差。

7. 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。

四、钢的相图

用来表示不同含碳量的铁碳合金在不同温度下所处的状态、晶体结构和显微组织特征的图，称为铁碳合金相图。 $w(C)$ 小于 2.0% 的铁碳合金相图又称为钢的相图，如图 1-4 所示。图上的纵坐标表示温度，横坐标表示碳的含量，即铁碳合金中碳的质量分数。

从图的左上端可以看出，工业纯铁（ $w(C)$ 小于 0.02% 的铁碳合金）的熔点是 1535℃。ABC 线为液相线，钢加热到此线表示相应的温度时，全部变为液相，而冷却到此线时，开始结晶出固相。AHJE 线为固相线，钢加热到此线表示的相应温度时，开始出现液相；而冷却到此线时，全部转变成固相）。

图 1-4 有 4 个单相区，ABC 以上为液相区；AHN 区为 δ 铁素体区；NJESG 区为奥氏体区；GPQO 区为 α 铁素体区。在相邻两个单相区之间都夹有双相区。ABJH 为 δ 铁素体与液相共存区；HJN 区为 δ 铁素体与液相共存区；JBCE 区为液相与奥氏体共存区；GSP 区为奥氏体与铁素体共存区；EK'S 区为奥氏体与渗碳体共存区。图中 S 点成分相当于 $w(C) = 0.8\%$ 。当 $w(C) = 0.8\%$ 的奥氏体冷至 PSK' 水平线所表示的温度（723℃）时，将从奥氏体中同时析出铁素体和渗碳体的机械混合物，即是珠光体。在 S 点成分的钢，室温下组织全部是珠光体。图中 P' 点的成分相当于 $w(C) = 0.02\%$ 。当温度下降时，由于碳在铁素体中的溶解度随着温度下降而减小，便从铁素体中析出渗碳体，称为三次渗碳体。PSK' 线以下区

域都是铁素体和渗碳体二相构成的。 $PP'Q$ 区为铁素体与三次渗碳体共存区； $PSS'P'$ 区为铁素体与珠光体共存区； $SK'MS'$ 区为珠光体与渗碳体共存区。

钢在加热或冷却过程中，其内部组织发生转变的温度称为临界温度，或称临界点。临界点 A_1 (PSK' 线) 表示钢在缓慢冷却时，奥氏体转变为珠光体的温度；或在缓慢加热时，珠光体转变为奥氏体的温度。临界点 A_2 (ES 线) 表示钢在缓慢冷却时由奥氏体开始析出铁素体的温度；或在缓慢加热时铁素体转变为奥氏体的终了温度。临界点 A_3 (GS 线) 表示钢在缓慢冷却时由奥氏体开始析出渗碳体的温度；或在缓慢加热时渗碳体转变为奥氏体的终了温度。

从相图可以看出，锅炉及压力容器用钢在室温时的组织为铁素体和珠光体。

钢的相图对于热加工工艺有着重要的意义。钢的热处理制度的确定，焊接结构焊后热处理工艺的选择，以及钢在焊接过程中焊接接头区的组织变化的分析和研究等，都是以相图为基础的。

五、钢的热处理

钢在固态下加热到一定温度，在这个温度下保持一定时间，然后以一定的冷却速度冷却到室温，以获得所希望的组织性能称为热处理。在冷却过程中，不同的冷却速度对钢的组织变化将产生重大的影响。

1. 钢的热处理过程

1) 将钢由室温加热到高温（一般在临界点以上），使钢全部或部分地转变为奥氏体，称为奥氏体化。

2) 由奥氏体化温度以各种不同的方式冷却（如水冷、油冷、空冷或炉冷等），以获得所希望的组织。

3) 把冷却后的某种组织（如马氏体），再加热到临界点以下的温度，以获得所要求的回火组织。

2. 钢的热处理工艺

(1) 淬火 将钢加热到临界点 A_3 以上，经适当保温使钢的组织全部转变为奥氏体，然后快速冷却以得到马氏体组织的一种热处理方法，称为淬火。淬火能大大提高钢材的硬度。但 $w(C)$ 小于 0.25% 的普通低碳钢，由于含碳量低，故不宜通过淬火来获得马氏体组织。

(2) 回火 将淬火的钢材加热到 A_1 以下的某一温度保温，然后在空气或油中冷却的一种热处理方法，称为回火。按回火温度的高低，分为低温回火（150 ~ 250℃）、中温回火（350 ~ 500℃）和高温回火（500 ~ 650℃）。低温回火后可得到回火马氏体组织。低温回火

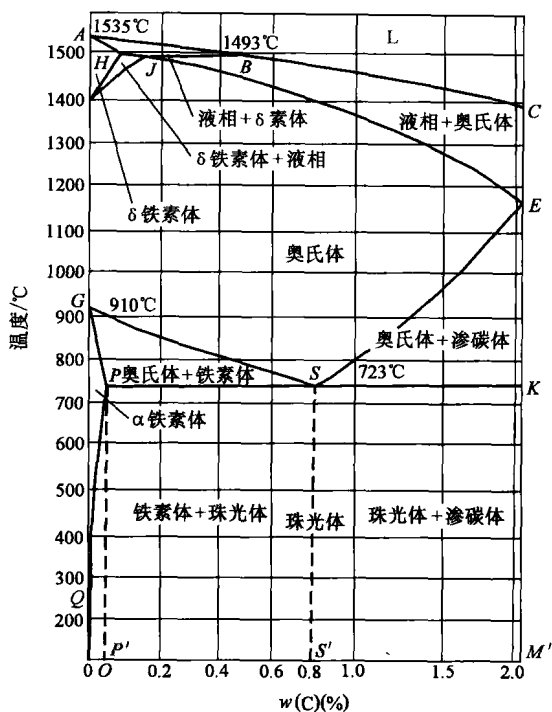


图 1-4 钢的相图

可以消除部分淬火应力，降低淬火钢的脆性。中温回火后可得到回火托氏体组织。回火温度再高，则得到回火索氏体组织。高温回火可以获得强度适当而塑性和韧性较高的综合力学性能。这种淬火加高温回火的热处理方法，称为调质处理。

(3) 退火 将钢材加热到 A_3 或 A_1 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ 保温后，缓慢而均匀地冷却到常温或低于 A_1 的某一温度后停留，再在空气中冷却的一种热处理方法，称为退火。退火可以细化晶粒，使组织均匀化，降低硬度，提高塑性和消除内应力。

(4) 正火 将钢材加热到 A_3 或 A_2 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ 保温后，在空气中冷却的一种热处理方法，称为正火。由于在空气中冷却速度较快，故钢材经正火后所获得的组织要比退火后的细。所以，同一钢材正火后的强度和硬度也比退火后的高，具有较好的综合力学性能。

第三节 常用钢材

一、钢中杂质和气体的危害

钢中除碳元素外，冶炼时还带入一定量的硅、锰、磷、硫等。为了改善和提高钢的某些性能和使之获得某些特殊性能而专门加入的元素称为合金元素。常用的合金元素有硅、锰、铬、镍、钼、钨、钒、钛、铌、铝、铜、硼和稀土元素等。通常情况下，钢中硫、磷、氧、氢、氮都属于有害元素。

1. 硫

硫几乎不溶于钢，它与铁生成低熔点的硫化亚铁 (FeS)。热加工时，存在于晶界的低熔点化合物局部熔化并导致加工开裂，称为钢的热脆性。焊接时，低熔点化合物的存在，导致焊缝热裂纹和在热影响区出现液化裂纹，使焊接性能变坏。同时，硫以薄膜形式存在于晶界使钢的塑性和韧性下降。

2. 磷

磷使钢的塑性和韧性下降，提高钢的脆性转变温度，引起冷脆性。磷还恶化钢的性能，使焊缝和热影响区产生裂纹。

3. 氧

钢中超过溶解度部分的氧以各种夹杂的形式存在，降低钢材的强度及塑性和韧性，使钢材的脆性转变温度明显提高，并大大降低钢材的疲劳强度和冷热加工性能。

4. 氢

氢使钢产生氢脆现象和形成白点，严重降低钢的韧性。

5. 氮

室温下氮在铁素体中的溶解度较低，当钢只含极少铝、钛、锆等元素时，大部分氮与铁形成非常硬脆的铁氮化合物，剧烈降低钢材的塑性和韧性。低碳钢中，残余的氮会导致时效脆性。

综上所述，为了改善钢的性能，应尽可能降低钢中的杂质元素和气体的含量。

二、钢中常见的缺陷

钢中常见的缺陷有重皮、分层、低熔点夹杂物、白点等。这些缺陷不仅降低钢材的性能，而且直接影响到焊接接头的质量。如分层和低熔点夹杂物会增加焊缝中的非金属夹杂物含量，使热影响区产生液化裂纹或层状撕裂等缺陷。

三、钢材分类

钢材可按其化学成分、品质、冶炼方法、组织和用途进行分类。

1. 按化学成分分类

(1) 碳素钢 钢中除含有铁之外, 还含有碳、硅、锰、硫、磷几种元素。这些元素总质量分数不超过 2%。

(2) 合金钢 这种钢除含有碳素钢所含有的元素外, 还含有一些其他合金元素, 如铬、锰、硅、钛、镍、钒等。

2. 按品质分

(1) 普通钢 钢中 $w(\text{Si})$ 为 0.05% ~ 0.065%, $w(\text{P})$ 为 0.045% ~ 0.055%。

(2) 优质钢 钢中 $w(\text{Si})$ 为 0.030% ~ 0.045%, $w(\text{P})$ 为 0.035% ~ 0.040%。

(3) 高级优质钢 钢中 $w(\text{Si})$ 为 0.020% ~ 0.030%, $w(\text{P})$ 为 0.027% ~ 0.035%。

3. 按冶炼方法分类

(1) 按炉别分 有平炉钢、转炉钢及电炉钢。

(2) 按脱氧程度分 有沸腾钢、镇静钢和半镇静钢。

4. 按用途和组织分类

(1) 低碳钢和低合金高强度钢 分为铁素体-珠光体型钢、低碳奥氏体型钢和马氏体调质高强度钢。

(2) 耐热钢 分为低合金珠光体型钢、高铬马氏体型钢和奥氏体型钢。

(3) 低温钢 分为铁素体型钢、低碳马氏体型钢和奥氏体型钢。

(4) 不锈钢 分为铁素体型钢、奥氏体型钢、奥氏体-铁素体型钢和马氏体型钢。

5. 按含碳量分类

(1) 低碳钢 是指 $w(\text{C})$ 低于 0.25% 的钢。

(2) 中碳钢 是指 $w(\text{C})$ 等于 0.25% ~ 0.60% 的钢。

(3) 高碳钢 是指 $w(\text{C})$ 大于 0.60% 的钢。

四、钢号表示方法

1. 钢号表示法

我国钢号表示方法是采用合金元素符号和汉语拼音字母并用的原则, 即钢号中的化学元素采用国际化学符号或汉字表示 (仅稀土元素不用化学符号而以“RE”表示)。产品名称、用途、冶炼和浇注方法以汉语拼音的缩写字母表示, 详见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 钢号中合金元素的符号

元素名称	铬	镍	硅	锰	铝	磷	硫	钨	钼	钒
国际化学符号	Cr	Ni	Si	Mn	Al	P	S	W	Mo	V
元素名称	钛	铜	铁	硼	钴	铌	氮	钙	碳	稀土
国际化学符号	Ti	Cu	Fe	B	Co	Nb	N	Ca	C	RE

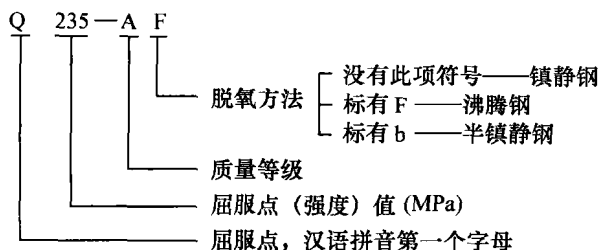
表 1-2 钢铁牌号中表示用途、冶炼和浇注方法的代号

名称	牌号表示	名称	牌号表示	名称	牌号表示	名称	牌号表示
平炉	P	沸腾钢	F	高级优质钢	A ^①	锅炉钢	g
酸性侧吹转炉	S	半镇静钢	b	甲类钢	A	压力容器钢	R
碱性侧吹转炉	J	焊条用钢	H	乙类钢	B	低温钢	DR
顶吹转炉	D	—	—	特类钢	C	多层容器用钢	ge

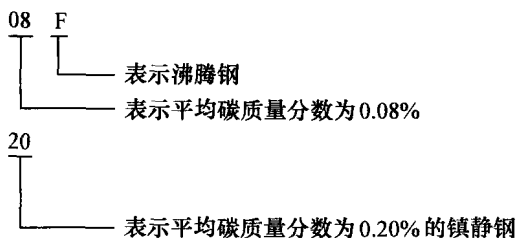
① 高级优质钢“A”标在钢号的尾部, 甲类钢“A”标在钢号的冠首。

2. 钢牌号表示方法举例

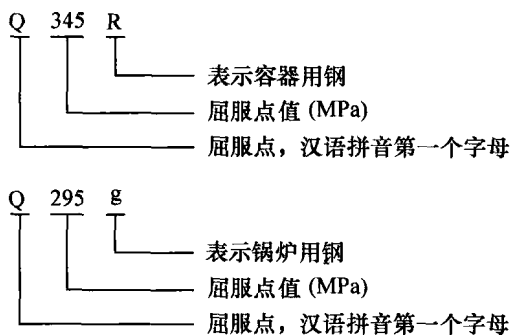
(1) 普通碳素钢 以 Q235—AF 为例说明如下：



(2) 优质碳素钢 以 08F 及 20 钢为例, 分别说明如下：



(3) 普通低合金钢 以 Q345R 及 Q295g 为例, 分别说明如下：



(4) 不锈钢和耐热钢牌号 表示法同普通低合金钢, 但元素符号前的数字表示平均碳质量分数为千分之几。如标一个零, 表示 $w(C) \leq 0.08\%$ 或 $w(C) \leq 0.09\%$; 标两个零, 表示 $w(C) \leq 0.03\%$ 。元素符号后数字的合金量(质量分数)为 1.50% ~ 2.49%, 2.50% ~ 3.49%, ..., 22.50% ~ 23.49%, 相应地写成 2, 3, ..., 23, ...

五、压力容器用钢材

1. 压力容器用钢要求

各种用途的压力容器对材料有不同的要求, 但是最主要的是: 材料的力学性能; 材料的耐蚀性能; 材料加工工艺性能; 材料的经济性。

2. 压力容器常用钢材

制造压力容器用钢主要有低碳钢、低合金钢及合金钢。根据使用的环境不同, 常用耐热钢、低温钢和不锈钢。常用压力容器的低碳钢、低合金钢见表 1-3。

3. 入厂材料要求

根据《压力容器安全监察规程》的要求，压力容器受压元件用钢材的质量及规格应符合国标、部标或有关技术条件，并应附有钢厂的质量证明书（或其复印件）。质量证明书上应列出以下项目：炉（罐）号、批号、实测的化学成分和力学性能（包括抗拉强度、屈服强度、伸长率、断面收缩率、冲击韧度，对奥氏体不锈钢可不提供 a_k 值），供货熔炼热处理状态。对于低温（ $< -20^{\circ}\text{C}$ ）容器用的材料还应提供夏比 V 形缺口试样的冲击韧度和脆性转变温度。材料质量证明书还应提供弯曲角（ α ）。当质量证明书少项或对质量证明书有怀疑以及设计图样上规定特殊要求项目时，应进行复验，复验合格，方可使用。一般压力容器用钢的 $w(\text{C})$ 应低于 0.24%。

表 1-3 压力容器用钢

种类	钢号	适用范围		使用情况及焊接性能
		许用压力/MPa	工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	
碳素钢	Q235F	≤ 0.6	0 ~ 250	使用厚度不大于 12mm，不得用于盛装易燃、有毒介质的容器
	Q235	≤ 1	0 ~ 350	使用厚度不大于 16mm，不得用于盛装液化石油气的容器
	Q235R	不限	-20 ~ 475	焊接性能良好
合金钢	16MnP	不限	140 ~ 475	焊接性能良好。不低于 0°C 不预热， 0°C 以下预热。厚度 $\delta \geq 30\text{mm}$ 预热 100 ~ 150 $^{\circ}\text{C}$ ，并作焊后热处理，600 ~ 650 $^{\circ}\text{C}$ 回火
	Q390R	不限	-40 ~ 400	$\delta > 28\text{mm}$ ，预热 100 ~ 150 $^{\circ}\text{C}$ ，焊后 550 $^{\circ}\text{C}$ 或 650 $^{\circ}\text{C}$ 回火
	Q390gE	不限	0 ~ 400	同上
	Q390HR	不限	-40 ~ 400	正火状态应用， $\delta \geq 25\text{mm}$ ，预热 100 ~ 150 $^{\circ}\text{C}$
	14MnMoVBRE	不限	推荐 0 ~ 520	推荐预热温度 $\geq 150^{\circ}\text{C}$
	14MnMoVg	不限	0 ~ 520	$\delta > 15\text{mm}$ ，预热 $\geq 200^{\circ}\text{C}$ ，焊后 600 ~ 650 $^{\circ}\text{C}$ 回火
	18MnMoNbR	不限	-20 ~ 520	$\delta > 5\text{mm}$ ，预热 $\geq 200^{\circ}\text{C}$ ，焊后 600 ~ 650 $^{\circ}\text{C}$ 回火

第二章 焊接电弧与焊条电弧焊的电源

第一节 焊接电弧、焊接热循环及热输入

一、焊接电弧

1. 焊接电弧的特点

电弧是两电极之间一种强烈而持久的气体放电现象，其特点如下：

- 1) 维持电弧放电的电压较低，一般为 10 ~ 15V。
- 2) 电弧中的电流很大，可从几安到几千安。
- 3) 具有很高的温度，弧柱温度可达 3000 ~ 5000K。

2. 电弧的产生

将焊条和焊丝与被焊工件瞬时短路，然后拉开，在焊条或焊丝与工件之间即产生电弧。当短路时，一是电流很大，二是很大电流集中在几个互相接触的点上通过，电流密度极大，产生大量的热，使接触处温度升高，当提起焊条时，焊条与工件之间存在高温空气和金属及药皮的蒸气，高温气体电离成正负离子，在电场力的作用下，自由电子及负离子奔向阳极，正离子奔向阴极。在它们运行中，不断发生碰撞和复和，产生大量的热和弧光，产生了电弧。

3. 电弧的结构

电弧由三个电场强度不同的区域构成。阳极附近的区域为阳极区，阴极附近的区域为阴极区，中间部分为弧柱区。

阴极区的阴极表面有一个明亮的斑点，称为阴极斑点。阴极斑点是一次电子的发射源，也是正离子与电子复和的地方，是阴极区温度最高的部位。

阳极区的阳极表面也存在着一个明亮的斑点，称为阳极斑点。从电弧飞来的电子，大部分都从此斑点进入阳极。

弧柱区是阴极区和阳极区中间的区域，它的长度比阴极区和阳极区大得多。

4. 电弧电压

电弧电压由三部分组成，即阳极电压降、阴极电压降和弧柱压降。其中阴极和阳极电压降在电极材料和气体介质一定时为一常数，电弧电压仅取决于电弧长度。电弧拉长时，电弧电压升高；当电弧缩短时，电弧电压降低。

5. 电弧温度分布

电弧的温度分布如图 2-1 所示，弧柱的温度较高，两个电极上的温度较低。电极温度的升高受到电极材料、导热性能、熔点和沸点的限制，而弧柱则不受材料的限制，温度在 5000 ~ 8000K 范围内。但在一般电弧焊接过程中，弧柱的热量不能直接用于加热焊条或基体金属，只有很少一部分热量通过辐射传



图 2-1 电弧的温度分布