

焊接技术

快速入门丛书

邱言龙 聂正斌 雷振国 编著 王 兵 审

等离子弧焊与切割技术

快速入门

DENGLIZI HUHAN YU QIEGE
JISHU
KUAISU RUMEN

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

等离子弧焊与切割技术快速入门/邱言龙, 聂正斌, 雷振国编著. —上海: 上海科学技术出版社, 2011. 6

(焊接技术快速入门丛书)

ISBN 978 - 7 - 5478 - 0736 - 1

I. ①等… II. ①邱… ②聂… ③雷… III. ①等离子焊 IV. ①TG456.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 041510 号

上海世纪出版股份有限公司
上海科学技术出版社

出版、发行

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 889 × 1194 1/32 印张: 6.25

字数: 180 千字

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 0736 - 1/TG · 29

定价: 18.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向工厂联系调换



内 容 提 要

本书内容主要包括:等离子弧焊与切割基础知识;等离子弧焊与切割设备;等离子弧焊与切割工艺;等离子弧焊与切割的质量分析与工程实例。同时,为了提高焊接质量,书中还介绍了焊接应力与变形、焊接质量检验及缺陷防止措施等内容,为应对焊接质量缺陷提供防止措施;此外,为增强焊工安全意识,特别介绍焊工安全知识与安全技术等。

本书文句简洁明了、浅显易懂,内容丰富,简明实用,可供刚入门的焊工阅读,也可供再就业部门对下岗、求职工人进行转岗、上岗再就业培训使用。



前 言

金属焊接是指在两金属件连接处通过加热熔化或加压,或两者并用,以造成金属原子间和分子间的结合而得到永久连接的方法。焊接技术被广泛应用于船舶、锅炉、车辆、飞机和其他金属结构或机器零件的制造。非金属材料(如塑料、玻璃等)也可用焊接方法连接。从焊接工艺的广泛应用,我们可以看出焊接具有如下特点:

(1) 与其他金属连接方法(铆接、螺纹连接)相比,有节约金属材料、生产率高、能保持水密性和气密性等优点。

(2) 焊接可以化大为小、以小拼大。在制造大型机件与结构件或复杂的机器零件时,可以采用化大为小、化复杂为简单的方法准备坯料,采用铸-焊、锻-焊联合工艺,用小型铸、锻设备生产大型或复杂零件。

(3) 焊接还可以制造双金属结构,如制造不同材料的复杂层容器。

所以,焊接是生产金属构件、机器零件等的重要加工工艺方法,如桥梁、建筑构件、船体、锅炉、车厢、容器等。此外,焊接还是修补铸、锻件的缺陷和磨损零件的重要方法。

为了方便青年工人自学及上岗、转岗再就业人员快速掌握一技之长,我们组织编写了本套“焊接技术快速入门丛书”。本套丛书包括《气焊与气割技术快速入门》、《焊条电弧焊技术快速入门》、《二氧化碳气体保护焊技术快速入门》、《手工钨极氩弧焊技术快速入门》、《等离子弧焊与切割技术快速入门》、《钎焊技术快速入门》、《电渣焊与电阻焊技术快速入门》、《埋弧焊技术快速入门》。每本书中均包含有作业基础知识、操作工艺,以及各种焊接材料、焊接工具、设备的应用,典型焊接工艺实例等内容。丛书还用具体章节详细介绍了焊工技术基础知识和焊工安全文明生产知识、劳动保护知识,包括预防触电及抢救的安全知识,防火、防爆、防辐射的安全知识,预防有害气体和金属烟尘中毒的安全知识,以及高空作

业焊接、水下焊接与热切割应注意的安全事项等。

本套丛书采用图文并茂的形式,把焊接技术和操作技能通过图表的方式一一解析,借助大量实习操作和工程技术图片,使复杂问题简单化,更加方便未入门和初入门的焊工理解与掌握。丛书力求简明扼要,不过于追求系统及理论的深度,突出“快速入门”的特点,且从应用标准、名词术语、计量单位等各方面全都贯穿着一个“新”字,便于工人尽快与现代化工业生产接轨,适应未来机械工业发展的需要。

本套丛书旨在通俗、易懂、简明、实用,编写时综合考虑实际需要和篇幅容量,让焊工通过各种焊接工艺入门知识的学习,了解本工艺的专业基础知识和基本操作技能,轻松掌握一技之长,快速迈入焊工之门。各书独立成书,既相互关联,又互为补充。

本套丛书由邱言龙、聂正斌、雷振国编著,由王兵审稿。

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中错误在所难免,望广大读者不吝赐教,以利提高!

编 者

目 录

第一章 等离子弧焊与切割基础知识	1
第一节 焊接相关基础知识	1
一、电弧特性及冶金特点.....	1
二、金属材料的力学性能.....	4
三、热处理的基本知识.....	7
四、电工常识.....	10
第二节 焊接接头	15
一、焊接接头的特点.....	15
二、焊缝金属的性能.....	15
三、熔合区和热影响区.....	18
四、影响焊接接头性能的因素.....	22
五、焊接接头的形式和位置.....	26
第三节 焊缝符号	30
一、焊缝符号的表示方法.....	30
二、焊缝基本符号的应用和组合.....	34
三、焊缝尺寸标注示例.....	35
第四节 等离子弧基础知识	36
一、等离子弧的形成.....	36
二、等离子弧的特点.....	38
三、等离子弧的类型.....	38
四、等离子弧的应用.....	39
第二章 等离子弧焊与切割设备	42
第一节 等离子弧焊接设备	43
一、焊接电源.....	43

二、控制电路	44
三、等离子弧引燃装置	44
四、焊枪	45
五、气路和水路系统	50
六、典型的等离子弧焊机	50
第二节 等离子弧切割设备	52
一、切割原理	53
二、切割分类	54
三、切割特点	58
四、切割设备	58
五、电源	60
六、控制箱	63
七、水路系统	64
八、气路系统	66
九、割炬	67
第三节 气体与电极	73
一、等离子弧切割用气体	73
二、电极的选择	74
第三章 等离子弧焊与切割工艺	77
第一节 等离子弧焊焊接工艺	77
一、接头形式	77
二、焊件装配与夹紧	77
三、焊接气体的选择	79
四、焊接工艺参数的选择	81
第二节 等离子弧焊的基本方法	83
一、基本方法	83
二、双弧现象	84
三、常用金属的等离子弧焊焊接参数	84
四、等离子弧焊的基本操作	87
第三节 等离子弧切割工艺	90
一、各类等离子弧切割工艺参数	90
二、等离子弧切割工艺参数的选择	96

三、等离子弧切割基本操作	100
第四章 等离子弧焊与切割的质量分析及工程实例	107
第一节 等离子弧焊与切割的质量分析	107
一、焊接缺陷及防止措施	107
二、切割缺陷及防止措施	108
第二节 等离子弧焊与切割的工程实例	115
一、不锈钢筒体的等离子弧焊	115
二、双金属锯条的等离子弧焊	117
三、波纹管部件的微束等离子弧焊	120
四、螺旋焊管的水再压缩式空气等离子弧在线切割	122
第三节 等离子弧喷涂及其运用	122
一、等离子弧喷涂原理	122
二、等离子弧喷涂特点	123
三、等离子弧喷涂设备	123
四、等离子弧喷涂工程实例	124
第五章 焊接应力与变形	126
第一节 概述	126
一、焊接应力与变形的危害性	127
二、焊接应力与变形产生的原因	127
三、焊接应力与变形的影响因素	129
第二节 焊接应力	130
一、内应力及焊接应力	130
二、焊接残余应力的调节	132
三、焊后消除内应力的方法	138
第三节 焊接变形	140
一、焊接变形的种类	140
二、焊接变形的控制与矫正	143
第六章 焊接质量检验及缺陷防止措施	148
第一节 焊接质量要求	148
一、焊接质量对外形尺寸的要求	148
二、焊接质量对焊接区内气体的要求	151
第二节 焊接质量检验	153

一、焊接质量检验的过程	153
二、焊接质量检验的方法	154
第三节 常见焊接缺陷及防止方法	164
一、焊缝外形尺寸不符合要求	164
二、咬边	165
三、烧穿	165
四、焊瘤	166
五、夹渣	166
六、未焊透	167
七、气孔	167
八、过热(过烧)	168
九、未熔合	169
十、弧坑	169
十一、裂纹	170
十二、错边	171
第七章 焊工安全知识	172
第一节 安全用电及个人防护	172
一、安全用电	172
二、个人防护	174
第二节 防火、防爆及防弧光辐射	181
一、防火、防爆	181
二、防弧光辐射	183
第三节 特殊环境焊接的安全知识	185
一、容器内的焊接	185
二、高空作业焊接	186
三、露天或野外作业焊接	187
第四节 等离子弧焊接与切割安全技术	187
一、紫外线及有害气体的防护	187
二、噪声及高频电磁的防护	188
三、钨极的选用与安全用电	189

第一章 等离子弧焊 与切割基础知识

第一节 焊接相关基础知识

一、电弧特性及冶金特点

1. 电弧的构造

焊接电弧的构造可分为三个区域:阴极区、阳极区、弧柱(见图1-1)。

1) 阴极区 电弧紧靠负电极的区域称为阴极区,阴极区很窄,为 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm。在阴极区的阴极表面有一个明显的光亮斑点,它是电弧放电时,负电极表面上集中发射电子的微小区域,称为阴极辉点。

2) 阳极区 电弧紧靠正电极的区域称为阳极区,阳极区较阴极区宽,为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm。在阳极区的阳极表面也有光亮的斑点,它是电弧放电时,正电极表面上集中接收电子的微小区域,称为阳极辉点。

3) 弧柱 电弧阴极区和阳极区之间的部分称为弧柱。由于阴极区和阳极区都很窄,因此弧柱的长度基本上等于电弧的长度。

电弧两端(两电极)之间的电压降称为电弧电压。当弧长一定时,电弧电压的分布如图1-2所示。

电弧电压用下式表示:

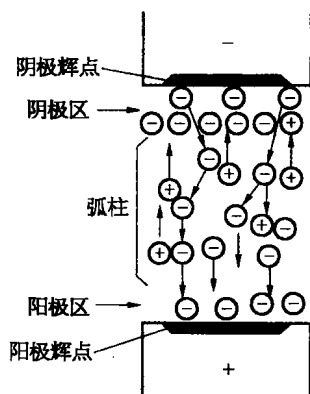


图1-1 焊接电弧的构造

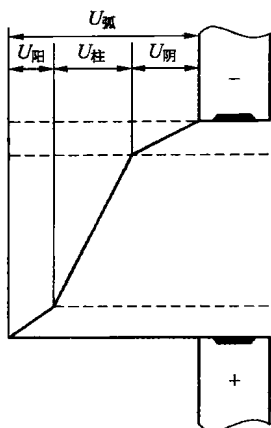


图 1-2 电弧各区域的电压分布示意图

$$U_{\text{弧}} = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}} + U_{\text{柱}} = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}} + bl_{\text{弧}}$$

式中 $U_{\text{弧}}$ ——电弧电压(V);

$U_{\text{阴}}$ ——阴极压降(V);

$U_{\text{阳}}$ ——阳极压降(V);

$U_{\text{柱}}$ ——弧柱压降(V);

b ——单位长度的弧柱压降(V/cm),一般为 20 ~ 40 V/cm;

$l_{\text{弧}}$ ——电弧长度(cm)。

2. 电弧的静特性

在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下,电弧稳定燃烧时,焊接电流与电弧电压变化的关系称为电弧静特性,一般也称伏-安特性。表示它们关系的曲线称为电弧的静特性曲线,如图 1-3 所示。

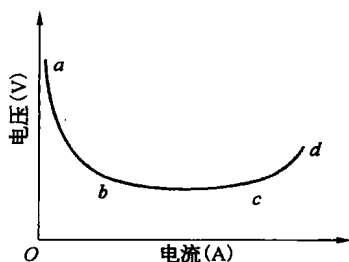


图 1-3 电弧的静特性曲线

电弧静特性曲线呈 U 形(见图 1-3), 它有三个不同的区域,当电流较小时(图 1-3 中的 ab 区),电弧静特性属下降特性区,即随着电流增加电压减小;当电流稍大时(图 1-3 中的 bc 区),电弧静特性属平特性区,即电流大小变化,而电压几乎不变;当电流较大时(图 1-3 中的 cd 区),电弧静特性属上升特性区,电压随

电流的增加而增加。

3. 电弧电源的极性

在焊接过程中,直流弧焊发电机的两个极(正极和负极)分别接到焊件和焊钳上。从点火的构造及温度可知,当焊件或焊钳所接的正、负极不同,则温度也相应不同。因此,在使用直流弧焊发电机时,应考虑选择电源的极性问题,以保证电弧稳定燃烧和焊接质量。

所谓电弧的极性,就是在直流等离子弧焊或电弧切割时,焊件与电源输出端正、负极的接法,有正接和反接两种。正接就是焊件接电源正极,电极接电源负极的接线法,正接也称正极性。反接就是焊件接电源负极,电极接电源正极的接线法,反接也称反极性(见图 1-4)。对于交流电焊机来说,由于电源的极性是交变的,所以不存在正接和反接。

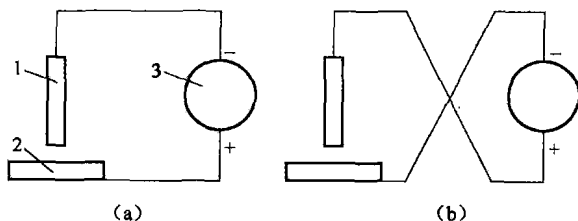


图 1-4 焊接电源的极性

(a) 正极性; (b) 反极性

1—焊条; 2—焊剂; 3—直流弧焊机

4. 电弧冶金特点

焊接冶金反应实质是焊接填充金属和母材金属的再冶炼过程,在金属熔化过程中,将在金属-熔渣-气体之间发生复杂的化学反应和物理反应。

焊接冶金过程与普通化学冶金不同,是分区域连续进行的。焊条等离子弧焊过程中有三个反应区,即:熔滴反应区、药皮反应区和熔池反应区。

1) 熔滴反应区 在这个反应区内,从熔滴的形成、长大、直至过渡到熔池中去,具有以下特点:

(1) 温度高,温度变化大。电弧的弧柱区温度为 $4\,500 \sim 7\,800^{\circ}\text{C}$,焊接黑色金属时,熔滴上的活性斑点温度接近于焊芯材料的沸点(约为 $2\,800^{\circ}\text{C}$);由于焊接参数不同,熔滴的平均温度为 $1\,800 \sim 2\,400^{\circ}\text{C}$ 。在这

样高的温度下,金属将强烈蒸发。

(2) 反应时间短。熔滴在焊条末端的停留时间为 $0.01 \sim 0.1 \text{ s}$ 。熔滴向熔池过渡的速度高达 $7.5 \sim 10 \text{ m/s}$,通过弧柱区的时间只有 $0.0001 \sim 0.001 \text{ s}$ 。在这个区内各相接触的平均时间为 $0.01 \sim 1 \text{ s}$ 。

(3) 熔滴金属与气体、熔渣的反应接触面大。由于熔滴的尺寸很小,所以熔滴的比表面积(单位质量熔滴所占有的表面积)极大,可达 $1\,000 \sim 10\,000 \text{ cm}^2/\text{kg}$,比炼钢时约大 $1\,000$ 倍,与气体、熔渣极易发生冶金反应。

总之,在这个反应区内主要进行的物理化学反应是:金属的蒸发、气体的分解和溶解、金属的氧化还原以及合金化等。

2) 药皮反应区 在这个反应区内,焊条药皮被加热,在固态下它的各种组成物之间也会发生物理化学反应,主要是水分的蒸发、某些物质的分解和铁合金的氧化,对整个焊接化学冶金过程(焊接质量)有一定的影响。

3) 熔池反应区 在这个反应区内,熔池的平均温度比较低,为 $1\,600 \sim 1\,900^\circ\text{C}$;熔池的体积小,质量一般在 5 g 以下,冷却速度大,平均冷却速度为 $4 \sim 100^\circ\text{C/s}$ 。因此,熔池的冶金反应时间非常短,冶金反应不充分。

由于散热和导热的作用,金属熔池的温度分布极不均匀,同一熔池的前后部分往往发生相反的反应。如熔池前部的高温区,发生金属的熔化和气体的吸收,以及硅、锰的还原反应;在熔池的后半部则发生金属的凝固和气体的析出过程,以及硅、锰的氧化反应。

在焊接电弧的热作用下,上述三个反应区内除了发生金属熔化以外,还要进行一系列的冶金反应,主要有:氧化还原反应、脱氮反应、脱硫反应、脱磷反应、合金化等。

二、金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料在力或能的作用下,材料所表现出来的一系列力学性能,如强度、弹性、塑性、韧性、硬度和疲劳等。它反映了金属材料在各种形式外力作用下抵抗变形或破坏的能力。

1) 强度 强度是指金属材料在缓慢加载的静载荷作用下,抵抗永久变形和断裂的能力,其载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切和扭转等。按照用力的性质不同,可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗

剪强度和抗扭强度等。在工程上常用的是屈服强度和抗拉强度。

2) 弹性 金属材料在外力作用下发生变形,当外力去掉后,仍能恢复其原来形状和尺寸的变形,称为弹性变形。具有弹性变形能力的特性称为弹性。

3) 塑性 当作用在材料上的外力超过某一限度,在去掉外力后大部分变形随之消失(弹性变形部分),但留下部分变形不能完全恢复原来的形状和尺寸而出现残余变形,这部分残余变形称为塑性变形。塑性是指断裂前材料发生不可逆永久变形的能力。金属塑性主要用断后伸长率、断面收缩率和冷弯角来表示。

4) 韧性 韧性是指在冲击载荷的作用下,金属在破断前吸收变形能量的能力。通常用冲击吸收功或冲击韧度来表示。

5) 硬度 硬度是指金属抵抗较硬物体压入的能力。它不是一个单纯的物理量,是反映材料强度、塑性、弹性的综合力学性能指标。硬度可以用不同的方法在不同的仪器上测定,主要有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

6) 疲劳 疲劳是指金属在交变外力的作用下,所承受的最大应力低于屈服点发生突然断裂的现象,其衡量指标是疲劳极限。

测定上述性能的试验,称为金属的力学性能试验,主要有以下几种。

1. 拉伸试验

拉伸试验可以测得金属材料的抗拉强度、屈服强度、伸长率和断面收缩率,即从同一个拉伸试样上可以取得四种数据。焊缝金属和焊接接头的拉伸试验也是暴露焊接缺陷的一种手段。拉伸试样的示意图见图1-5,如图1-6所示的拉力与试样变形量的关系曲线称为拉伸曲线。

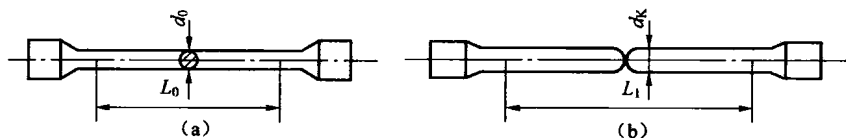


图 1-5 圆形拉伸试样

(a) 拉伸前; (b) 拉伸后

2. 冲击韧度试验

冲击韧度指金属材料受冲击力作用下,抵抗变形和断裂的能力。冲

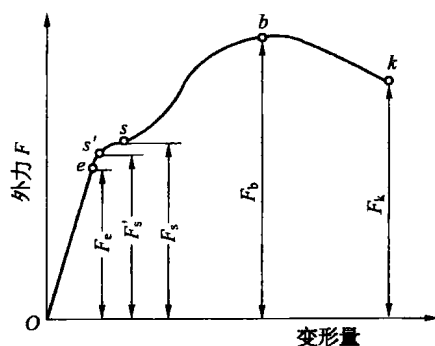


图 1-6 低碳钢拉伸曲线

击韧度试验大多采用的方法是一次摆锤冲击试验(见图 1-7)和小能量多次冲击试验(见图 1-8),目前使用最为普遍的是一次摆锤冲击试验方法。

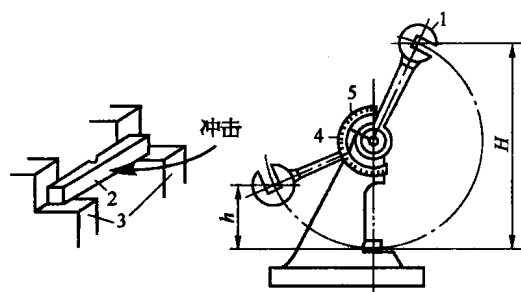


图 1-7 一次摆锤冲击试验

1—摆锤; 2—试样; 3—支承面; 4—刻度盘; 5—指针

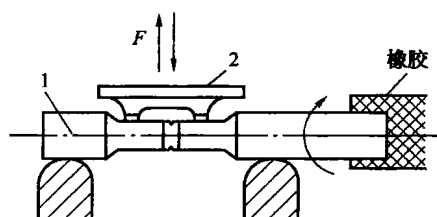


图 1-8 小能量多次冲击试验示意图

1—试样; 2—锤头

3. 弯曲试验

弯曲试验是指把金属材料或焊接接头试样绕一定直径的轴(压头)进行弯曲,以检验材料的塑性和表面质量的试验,如图 1-9 所示。

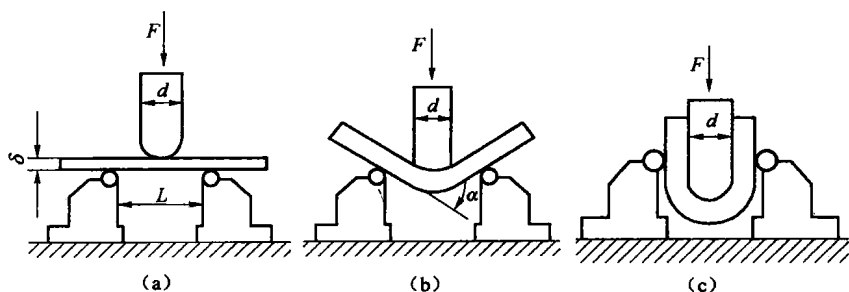


图 1-9 塑性材料的弯曲试验

(a) 弯曲试验法; (b) 弯曲到规定的角度; (c) 平行弯曲

4. 硬度试验

硬度试验是用不同方法在不同仪器上进行的金属抵抗较硬物体压入能力的试验。图 1-10 是布氏硬度和洛氏硬度试验原理图。

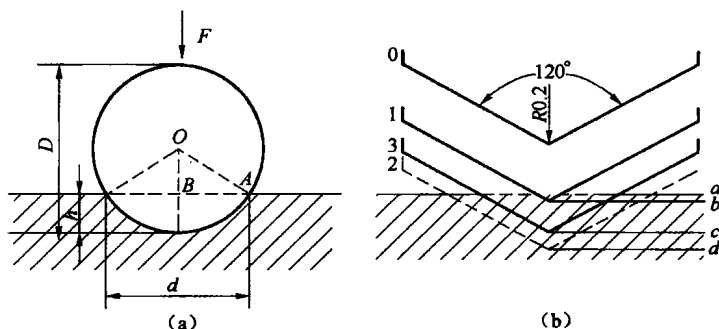


图 1-10 布氏硬度和洛氏硬度试验原理图

(a) 布氏硬度试验原理图; (b) 洛氏硬度试验原理图

F —载荷; d —压痕直径; D —钢球直径

三、热处理的基本知识

热处理主要是作为一种金属热加工工艺在工业中应用,使得某一金

属材料在不同的热处理以后获得多种不同的组织和性能。此外,焊接时靠近焊缝的母材热影响区受焊接加热及冷却过程的影响,实际上是经受了热处理。在多层焊时,热影响区和已焊完的前面几层焊缝要经受多次的热处理。

常用的热处理方法有淬火、回火、退火和正火等。

1. 淬火

将钢加热到临界点 (A_3 或 A_1 线) 上某一温度,在此温度下保持一段时间,使钢的组织全部转变为奥氏体,然后在水或油等冷却介质中快速冷却,使奥氏体来不及分解为珠光体和铁素体,而是形成马氏体,这个过程称为淬火。碳钢淬火的加热温度范围如图 1-11 所示。

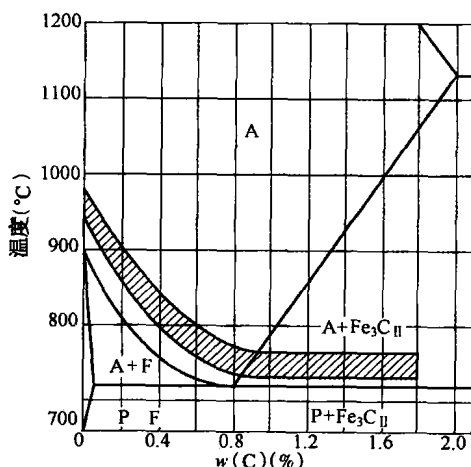


图 1-11 碳钢淬火的加热温度范围

淬火的目的是获得马氏体组织,以提高金属材料的强度和硬度。同时,与适当温度的回火相配合,可获得需要的力学性能。

2. 回火

将淬火钢重新加热到 A_1 线以下预定温度,保温预定时间,然后冷却到室温的热处理工艺称为回火。钢淬火后一般都要进行回火,可以在一定程度上恢复钢的韧性,同时获得所需要的组织和性能。

某些合金钢及其焊接结构,在淬火后随即进行高温回火,这一连续的热处理操作称为调质处理。调质处理能使钢在保持高的冲击韧度的同