

无师自通系列书

电焊工 操作技能

王亚君 周 岐 富玉竹 编著

第二版



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

无师自通 系列书

电焊工 操作技能

王亚君 周 岐 富玉竹 编著

第二版



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书针对当前电焊工的特点,通俗易懂地介绍了焊接相关基础知识、焊接材料、焊接设备、常用焊接操作、常用金属材料焊接、焊接缺陷与防止措施、焊接安全技术等内容,采用理论结合实际操作的形式,重点介绍了焊条电弧焊、埋弧焊、氩弧焊、CO₂ 气体保护焊、电渣焊、等离子弧焊的焊接方法和操作技术以及典型金属材料的焊接工艺与具体操作。

本书采用新规范、新标准,能满足电焊工不断提高实际操作技能的需求,直接指导他们的工作。读者通过本书的学习,进行简单的实操即可基本掌握焊接的相关技能。本书主要供各行业电焊工、焊接技术人员和管理人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

电焊工操作技能 / 王亚君, 周岐, 富玉竹编著. —2 版.
北京: 中国电力出版社, 2013. 10
(无师自通系列书)
ISBN 978 - 7 - 5123 - 4819 - 6

I. ①电… II. ①王…②周…③富… III. ①电焊 - 基本知识 IV. ①TG443

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 193492 号

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京市同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2010 年 1 月第一版
2013 年 10 月第二版 2013 年 10 月北京第五次印刷
850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 13.625 印张 360 千字
印数 9001—12000 册 定价 28.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

金属焊接广泛应用于工业生产中，现代焊接已成为机器制造、造船、航天、石油化工、电力等工业领域的重要共性技术和加工方法。增强焊接技术工人的技术素质是企业 在市场经济体制下提高竞争能力的重要手段。

为了满足焊接技术工人不断提高理论技术水平和实际操作技能的需求，根据焊工职业培训的要求和特点，编者总结多年实际工作和教学经验编写了本书。本书介绍了焊接相关基础知识、焊接材料、焊接设备、常用焊接方法的操作技术、常用金属材料的焊接、焊接缺陷与防止措施、焊接安全技术等内容；采用理论与实际操作相结合的形式，重点介绍了焊条电弧焊、埋弧自动焊、氩弧焊、CO₂ 气体保护焊、电渣焊等焊接方法的操作技术，以及典型金属材料的焊接工艺与具体操作。

本书采用新规范、新标准，内容通俗、知识面广，特别注重实用性，主要供各行各业焊工、焊接技术人员和管理人员学习使用。

由于编者水平有限，漏误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

前言

第一章 焊接基础	1
第一节 概述	1
第二节 金属学与热处理知识	2
第三节 金属熔焊原理	11
第四节 焊接接头形式与焊缝	25
第五节 焊接缺陷与检验	36
第二章 焊接材料	46
第一节 焊条	46
第二节 焊丝	54
第三节 焊剂	56
第四节 保护气体	60
第三章 焊接设备	63
第一节 电弧焊机概述	63
第二节 焊条电弧焊设备	70
第三节 埋弧焊设备	79
第四节 电渣焊设备	85
第五节 气体保护焊设备	90
第六节 等离子弧焊设备	106
第四章 焊条电弧焊技术	118
第一节 焊条电弧焊的基本操作	118
第二节 焊接规范	126
第三节 板材的焊接操作	129
第四节 管材焊条电弧焊技术	147
第五节 单面焊双面成形技术	157

第六节	管板焊接技术	161
第七节	向下立焊焊条焊接技术	166
第八节	焊条堆焊技术	170
第九节	焊条电弧焊的修补技术	172
第十节	焊条电弧焊的缺陷与防止	174
第十一节	焊条电弧焊的安全技术	177
第五章	埋弧自动焊技术	182
第一节	埋弧焊的影响因素	182
第二节	埋弧焊的规范选择及操作	185
第三节	对接直缝的焊接	189
第四节	对接环缝的焊接	198
第五节	角焊焊缝的焊接	200
第六节	埋弧焊的堆焊	202
第七节	埋弧焊的辅助装备	205
第八节	埋弧焊常见缺陷及防止方法	210
第九节	埋弧焊安全技术	213
第六章	氩弧焊技术	215
第一节	氩弧焊规范选择	215
第二节	氩弧焊基本操作	218
第三节	管道氩弧焊技术	222
第四节	薄板的氩弧焊技术	226
第五节	管板氩弧焊技术	228
第六节	自动钨极氩弧焊技术	230
第七节	熔化极氩弧焊技术	234
第八节	氩弧焊的缺陷与防止	237
第九节	氩弧焊的安全技术	241
第七章	CO₂ 气体保护焊技术	243
第一节	CO ₂ 气体保护焊熔滴过渡形式	243
第二节	CO ₂ 气体保护焊的焊接规范选择	245
第三节	CO ₂ 气体保护焊的基本操作技术	248

第四节	CO ₂ 焊单面焊双面成形技术·····	251
第五节	板材 CO ₂ 焊技术 ·····	256
第六节	管子 CO ₂ 气体保护焊技术 ·····	258
第七节	管板 CO ₂ 气体保护焊 ·····	260
第八节	药芯焊丝 CO ₂ 焊 ·····	261
第九节	CO ₂ 电弧点焊 ·····	263
第十节	CO ₂ 气体保护焊的缺陷与防止·····	267
第十一节	CO ₂ 气体保护焊的安全技术·····	269
第八章	电渣焊 ·····	272
第一节	电渣焊的影响因素 ·····	272
第二节	丝极电渣焊 ·····	273
第三节	板极电渣焊 ·····	281
第四节	熔嘴电渣焊 ·····	283
第五节	管极电渣焊 ·····	288
第六节	环缝的多丝极电渣焊 ·····	291
第七节	电渣焊的缺陷与防止 ·····	294
第八节	电渣焊的安全技术 ·····	296
第九章	等离子弧焊 ·····	299
第一节	等离子弧穿孔焊的规范选择 ·····	299
第二节	厚板的等离子弧穿孔焊 ·····	304
第三节	环缝的等离子弧穿孔焊 ·····	307
第四节	微束等离子弧焊的规范选择 ·····	309
第五节	脉冲等离子弧焊的规范选择 ·····	314
第六节	脉冲等离子弧全位置焊接 ·····	316
第七节	等离子弧焊的缺陷与防止 ·····	320
第八节	等离子弧焊安全技术 ·····	321
第十章	碳弧气刨与等离子弧切割 ·····	323
第一节	碳弧气刨设备及材料 ·····	323
第二节	气刨规范参数的选择 ·····	327

第三节	碳弧气刨操作与安全技术	329
第四节	等离子弧切割的设备与材料	333
第五节	等离子弧切割规范及操作技术	336
第十一章	焊接应力与变形	341
第一节	焊接应力与变形的产生	341
第二节	影响焊接变形的因素	349
第三节	防止和减少焊接应力与变形的措施	352
第四节	焊接残余应力与变形的消除和矫正	364
第十二章	常用金属材料的焊接	370
第一节	金属材料的焊接性	370
第二节	碳钢的焊接	373
第三节	合金结构钢的焊接	377
第四节	不锈钢的焊接	381
第五节	铬钼耐热钢的焊接	385
第六节	铸铁的焊接	388
第七节	铝及铝合金的焊接	394
第八节	铜及铜合金的焊接	399
第九节	钛及钛合金的焊接	405
第十节	异种金属材料的焊接	410
附录 A	焊条牌号的编制方法及含义	419
附录 B	常用钢号推荐选用的焊接材料	423
参考文献		427



第一章

焊接基础

第一节 概述

焊接是根据被焊工件的材质(同种或异种),通过加热、加压或二者并用,并且用或不用填充材料,使工件的材质达到原子间的结合而形成永久性连接的工艺过程。按焊接的工艺特点和母材金属所处的状态,焊接方法可分为熔焊、钎焊、压焊和特种焊四类,如图1-1所示。

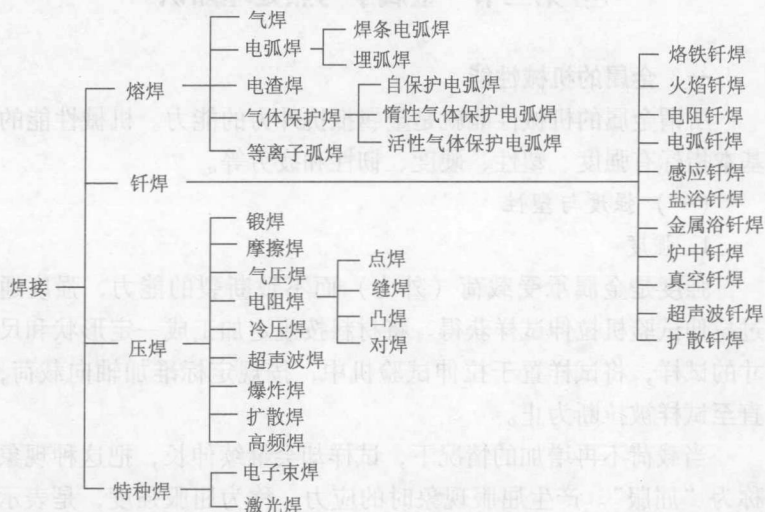


图1-1 焊接方法的分类

焊接生产是现代工业生产中主要的加工工艺之一,采用焊接结构具有节省金属材料、减轻结构质量、简化加工和装配工序、

接头的密封性好、能承受高压、易实现机械化和自动化生产,缩短建造周期、提高质量和生产效率等一系列优点,在机械制造、交通运输、石油化工、基建及国防等工业部门得到了广泛的应用。

焊接也有不足之处,焊接由于局部和加热不均匀容易引起变形和产生内应力,焊后有时要作矫正处理,对重要构件还要进行焊后热处理,以消除内应力。通过热处理或加工硬化形成的金属内部有利组织性能,在焊接后受到破坏,焊接热影响区塑性下降,硬度增大,从而容易导致裂纹产生。另外,某些焊接方法会产生强光或有害气体和烟尘,必须采取相应的劳保措施,以保护工人的身体健康,这些不足之处需要在焊接生产中特别注意并采取一定的工艺措施和防护措施。

↓ 第二节 金属学与热处理知识

一、金属的机械性能

所谓金属的机械性能就是金属抵抗外力的能力。机械性能的基本指标有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳等。

(一) 强度与塑性

1. 强度

强度是金属承受载荷(外力)而不致断裂的能力,强度通过拉伸试验机拉伸试样获得。将材料按规定加工成一定形状和尺寸的试样,将试样置于拉伸试验机中,按规定标准加轴向载荷,直至试样被拉断为止。

当载荷不再增加的情况下,试样却会继续伸长,把这种现象称为“屈服”。产生屈服现象时的应力,称为屈服强度,是表示材料抵抗塑性变形的能力。屈服强度以 σ_s 表示,通过屈服时所承受的载荷除以试样的原始横截面积得到,度量单位为 MPa。

抗拉强度是试样抵抗被拉断的能力,是试样在拉断前所能承受的最大标称拉应力。抗拉强度以 σ_b 表示,度量单位为 MPa。

抗拉强度通过拉断前试样所承受的最大载荷除以试样的原始横截面积得到。

2. 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下，产生塑性变形而不被破坏的能力。衡量塑性的指标有延伸率 (δ)、断面收缩率 (ψ) 和弯曲角 (α)。

延伸率是指断裂后试样的残余总变形量与原始长度的百分比。断面收缩率是指试样拉断后断口面积的缩减量与原截面面积之比值，同样用百分率来表示。弯曲角是指一定形状和尺寸的试样，在被弯曲到出现第一条裂缝时所测得的角度，用 α 表示，如图 1-2 所示。



图 1-2 弯曲角

由于弯曲时试样与压头接触的一面受压缩，另一面受拉伸，弯曲角度越大时，试样在出现裂纹前的变形也越大，即塑性越好。当弯曲角等于 180° 时塑性最好。

(二) 硬度与韧性

1. 硬度

硬度是金属材料表面抵抗其他更硬物体压入的能力。常用的硬度指标有布氏硬度 (HB)、洛氏硬度 (HR) 和维氏硬度 (HV) 等。

布氏硬度常用来测量硬度不高的材料，而且，通常根据测得的布氏硬度近似计算出其抗拉强度。对于低碳钢， $\sigma_b \approx 0.36HB$ ；对于高碳钢， $\sigma_b \approx 0.34HB$ ；对于调质合金钢， $\sigma_b \approx 0.325HB$ 。

洛氏硬度可分为 A、B、C 三级，分别表示为 HRA、HRB、HRC，生产中常用的是 C 级。洛氏硬度常用于测量硬度较高的材料，如淬硬钢等。洛氏硬度的数值没有单位，当 $HB > 220$ 时，洛氏硬度和布氏硬度值的关系大致为 1:10。

维氏硬度主要用于测定材料表面薄硬层的硬度。此外，材料或焊缝区显微组织的硬度也常用 HV 测定。

2. 韧性

韧性（冲击韧性）是承受冲击载荷的零件，要求材料应具有抵抗冲击载荷而不被破坏的能力，它表示金属经受突然施加较大冲击力的能力，即在冲击载荷作用下，衡量金属在断裂前吸收变形能量能力的指标。

冲击韧性通过冲击试验测定，冲击试验是将被测试的金属材料加工成一定形状和尺寸的试样，放在专用的冲击试验机上，并加上一定的冲击载荷将试样打断，试验机一般采用悬臂梁式试验机。

焊接接头的冲击试验可用来测定焊接接头的冲击韧性和缺口敏感性，作为评定材料断裂韧性和时效敏感性的一个指标。

（三）疲劳

有许多机械结构是在变动的载荷下工作，它的安全使用性能就不能以一般的强度要求来考虑。这是因为它承受着不断变化的工作应力，结果可能在远低于该材料抗拉强度（甚至低于屈服强度）的情况下，就发生断裂，这种现象称为金属材料的疲劳。在受到交变载荷的情况下尤其如此。在机械结构的使用过程中不允许产生疲劳，应保证在无数次交变载荷作用下仍不会断裂，这时的最大应力值称为疲劳强度。

提高材料的疲劳强度，可通过改善结构的形状、避免应力集中，提高表面光洁度和进行表面强化措施来实现。

二、金属与合金的结构

1. 金属的晶体结构

金属和其他物质一样是由原子构成的，人们把原子在三维空间作有规则的周期性重复排列的物质称为晶体。由于金属内原子的排列是有规则、有次序的，因此金属的构造属于晶体。金属的原子有一定的排列规则，形成了所谓“空间晶格”，它具有固定的熔点。金属晶格常见的有体心立方晶格、面心立方晶格与密排六方晶格，如图 1-3 所示。

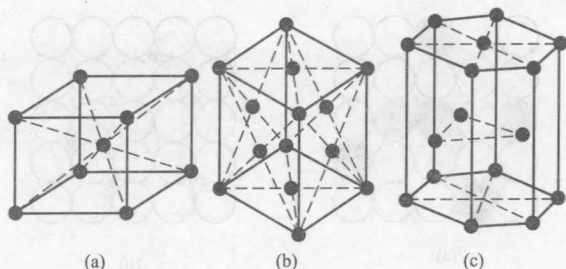


图 1-3 典型金属晶体结构

(a) 体心立方晶格；(b) 面心立方晶格；(c) 密排六方晶格

2. 合金的组织结构

合金是由两种或两种以上的金属元素或金属元素与非金属元素熔合在一起所得到的具有金属特性的物质。合金组织中有金属化合物、固溶体和机械混合物三种类型。

工业上使用的金属材料，绝大部分是以固溶体为基体，有的甚至完全由固溶体组成，如碳钢和合金钢，均以固溶体为基体相，其含量占组织中的绝大部分。

按溶质原子在晶格中所占位置可将固溶体分为置换固溶体和间隙固溶体。置换固溶体是指溶质原子位于溶剂晶格的某些结点位置所形成的固溶体，犹如这些结点上的溶剂原子被溶质原子所置换一样，如图 1-4 (a) 所示。间隙固溶体是指溶质原子不是占据溶剂晶格的正常结点位置，而是填入溶剂原子间的一些间隙中，如图 1-4 (b) 所示。

三、铁碳合金状态图

铁碳合金状态图是研究铁碳合金的成分、组织与温度之间关系的图形。根据铁碳合金状态图，可以了解铁碳合金的内部组织随含碳量和温度而变化的规律，是学习热加工和热处理的重要理论基础。铁碳合金相图如图 1-5 所示。图上的纵坐标表示温度，横坐标表示成分，即铁碳合金中碳的百分含量。

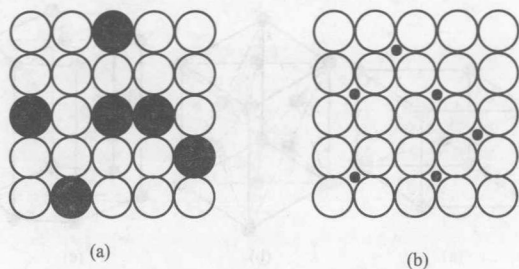


图 1-4 固溶体的两种类型

(a) 置换固溶体; (b) 间隙固溶体

○—溶剂原子; ●、•—溶质原子

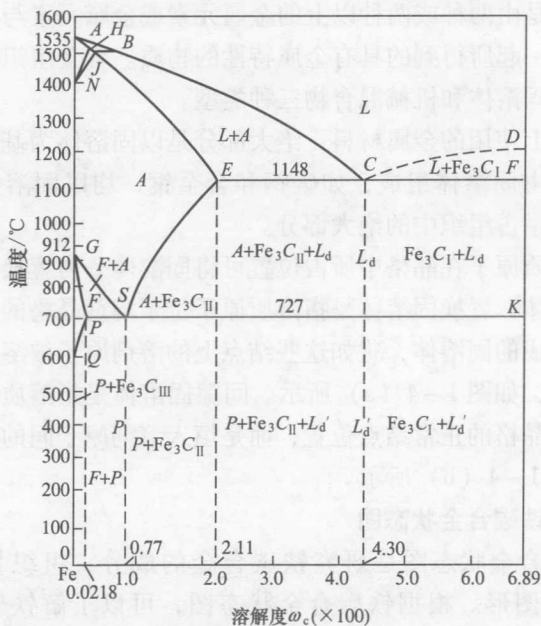


图 1-5 铁碳合金相图

铁碳合金的不同含碳量和在不同温度时, 可得到不同的组织, 这些组织的不同组成物见表 1-1。

表 1-1

铁碳合金组织的组成物

名称	表示符号	描 述	性 能
铁素体	F 或 α	碳溶于 α -Fe 晶格的间隙中而形成的间隙固溶体	在低于 910℃ 时出现。其性能与纯铁相似, 强度低, 但塑性较好
	δ	碳溶于体心立方晶格 δ -Fe 中的间隙固溶体, 称为 δ 铁素体	
渗碳体	Fe_3C	由铁与碳以一定比例形成的金属化合物称为渗碳体。其中铁原子和碳原子的比例为 3:1	硬度极高, 强度很低, 脆性也很大, 伸长率和断面收缩率几乎为零
奥氏体	A 或 γ	碳溶于 γ -Fe 晶格的间隙中而形成的间隙固溶体。碳钢中的奥氏体只出现在高温区域内, 当温度低于 723℃ 时, 奥氏体就随钢中含碳量的不同, 分别转变为铁素体、珠光体和渗碳体	强度和硬度比铁素体高, 塑性和韧性良好, 无磁性
珠光体	P	由铁素体和渗碳体组成的机械混合物, 铁素体与渗碳体都是片状, 并且是一层一层交替排列	介于铁素体与渗碳体之间, 强度、硬度比铁素体高, 塑性则比渗碳体高很多

图 1-5 中有五条线, 各线具有不同的意义。ABCD 线表示液体合金在冷却时开始凝固结晶的温度。该线最左端说明, 纯铁在 1535℃ 开始凝固; 而当钢中含碳量增高时, 合金的凝固点则降低。AHJECF 线为固相线, 表示液态合金在冷却时全部凝固结晶为固溶体的温度。HJB 水平线是包晶反应线, 表示在此温度 (1495℃) 发生包晶转变, 即 $L + \delta \rightarrow \gamma$, 转变产物是奥氏体。GS 线表示含碳量低于 0.77% 的钢在缓慢冷却条件下由奥氏体中开始析出铁素体的温度, 同理, GS 线即是铁素体转变为奥氏体的终了温度, 用 A_3 表示。ES 线表示含碳量在 0.77% ~ 2.11% 的钢在缓慢冷却条件下由奥氏体开始沉淀渗碳体的温度, 用 A_{cm} 表示。

PSK 水平线相当于 727°C , 它表示所有含碳量的钢在缓慢冷却时, 奥氏体全部转变为珠光体的温度; 相反, 在缓慢加热时, 该线表示由珠光体转变为奥氏体的温度。为了简化起见, PSK 线常用符号 A_1 表示, ES 用 A_{cm} 表示, GS 用 A_3 表示。

图 1-5 中 E 点为区分钢和生铁的分界点。S 点称为共析点, 正对 S 点成分的钢称为共析钢, S 点左边的钢称为亚共析钢, 其组织结构为铁素体加珠光体; S 点右边的钢称为过共析钢, 其结构为珠光体加渗碳体。

四、钢的分类

1. 按用途分类

(1) 结构钢。包括碳钢中的甲类钢、乙类钢、特类钢以及普通低合金钢、渗碳钢、调质钢、弹簧钢、滚动轴承钢等。

(2) 工具钢。工具钢是用于制造各种加工工具的钢种。根据工具的不同用途, 又可分为刀具钢、模具钢、量具钢。

(3) 特殊性能钢。特殊性能钢是指具有某种特殊物理或化学性能的钢种, 包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢、电工钢等。

2. 按化学成分分类

按钢的化学成分可分为碳素钢和合金钢两大类。碳素钢又分为: ① 低碳钢, $w_c \leq 0.25\%$; ② 中碳钢, $w_c = 0.25\% \sim 0.6\%$; ③ 高碳钢, $w_c > 0.6\%$ 。合金钢也可分为: ① 低合金钢, 合金元素总含量 $w \leq 5\%$; ② 中合金钢, 合金元素总含量 $w = 5\% \sim 10\%$; ③ 高合金钢, 合金元素总含量 $w > 10\%$ 。另外, 根据钢中所含主要合金元素种类的不同, 也可分为锰钢、铬钢、铬镍钢、硼钢等。

3. 按显微组织分类

(1) 按平衡状态或退火状态的组织分类, 可以分为亚共析钢、共析钢、过共析钢和莱氏体钢。

(2) 按正火组织分类, 可分为珠光体钢、贝氏体钢、马氏体钢和奥氏体钢。

(3) 按加热冷却时有无相变和室温时的显微组织分类, 可分为铁素体钢、奥氏体钢和复相钢。

4. 按品质分类

主要是按钢中的 P、S 等有害杂质的含量分类,可分为:① 普通钢, $w_p \leq 0.045\%$, $w_s \leq 0.055\%$; ② 优质钢, $w_p \leq 0.040\%$, $w_s \leq 0.040\%$; ③ 高级优质钢, $w_p \leq 0.035\%$, $w_s \leq 0.030\%$ 。

五、热处理

热处理就是将金属加热到一定温度,并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,从而通过改变钢的内部组织来达到改善钢的性能的一种工艺方法。它不仅是广泛用来强化钢材的重要手段,而且是改善钢材加工性能,提高产品质量,延长使用寿命的关键因素之一。

焊接时,焊缝及其热影响区受到焊接加热及冷却条件的影响,实际上经受了热处理。焊后热处理就是把焊接接头按不同钢种所严格规定的温度和保温时间均匀加热,然后按规定条件冷却。焊后热处理的类型及目的见表 1-2。常用钢号焊后热处理规范见表 1-3。

表 1-2 焊后热处理的类型及目的

热处理类型		控制温度范围	热处理目的
淬火		亚共析钢加热到 A_3 线以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$, 共析钢或过共析钢加热到 A_1 线以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$	淬火后的钢得到高硬度马氏体。主要用于提高钢的硬度,但焊接接头要防止淬火
回火	低温回火	回火温度为 $150 \sim 200^\circ\text{C}$	得到回火马氏体。主要用于要求高硬度和高耐磨性的刀具及量具等
	中温回火	回火温度为 $300 \sim 450^\circ\text{C}$	得到回火屈氏体(铁素体与渗碳体极细的机械混合物),主要用于弹簧和锻模的回火
	高温回火	回火温度为 $500 \sim 650^\circ\text{C}$	得到回火索氏体(铁素体和细粒渗碳体的混合组织),主要用于综合机械性能好的重要零件和焊件以及消除焊接残余应力
调质		淬火后又进行高温回火	