

职业技能培训教程

ZHIYEJINENGPEIXUNJIAOCHENG

电 焊 工

DIAN

HAN

GONG

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编



中国石油大学出版社

CHINA PETROLEUM UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电焊工/中国石油天然气集团公司人事服务中心编.
东营:中国石油大学出版社,2007.1

ISBN 978-7-5636-2207-8

I. 电... II. 中... III. 电焊—技术培训—教材
IV. TG443

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 030659 号

丛 书 名: 职业技能培训教程

书 名: 电焊工

作 者: 中国石油天然气集团公司人事服务中心

责任编辑: 沈海云 邵 云(电话 0546-8391282)

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: sanbianshao@126.com

排 版 者: 青岛海讯科技有限公司

印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546-8392565, 8399580)

开 本: 185×260 印张: 25.375 字数: 649 千字

版 次: 2007 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

职业技能培训教程

编审委员会

主任：孙祖岭

副主任：刘志华

委员：向守源

李钟磬

李爱民

王家夫

刘晓华

王阳福

王成

杨静芬

何明

蔡新江

孙金瑜

任一村

史殿华

刘文玉

刘瑞善

蔡激扬

郑兴华

商桂秋

纪安德

范积田

徐新福

职丽枫

马富

熊术学

丁传峰

阿不都·热西提

赵忠文

赵华

杨明亮

胡友斌

朱长根

关昱华

齐爱国

乔庆恩

刘孝祖

杨诗华

刘绍胜

多明轩

郭向东

郭学柱

刘振勇

申泽

郭建

时万兴

刘怀忠

姚斌

李明

前 言

为提高石油工人队伍素质,满足职工培训、鉴定需要,中国石油天然气集团公司人事服务中心继组织编写了第一批 44 个石油天然气特有工种的培训教程与鉴定试题集后,又组织编写了第二、三批 106 个工种的职业技能鉴定试题集,并分别由石油工业出版社和中国石油大学出版社出版。根据企业组织工人进行培训和职工学习技术的需要,我们在第二、三批题库的基础上,又组织编写了第二批 32 个工种的工人培训教材。

本批教材只编写基础理论知识与相关专业知识部分,内容、范围与题库基本一致,不分级别,与已编写出版的第二、三批题库配套使用,便于组织工人进行鉴定前的培训。由于在公开出版发行的习题集中,只选取了题库中的部分试题,因此本批教材对工人学习技术,提高知识技能将起到应有的作用。

《电焊工》由大庆石油管理局编写,沈岩、曹红霞任主编,参加编写的人员有沈岩、曹红霞、杨浩、周岩、全海涛、吕宾、姜静威、王立平、李松林、酃红岩、高延杰、庞忠瑞、李国庆、刘安铤。最后经中国石油天然气集团公司职业技能鉴定指导中心组织专家进行了终审,参加审定的专家有大庆石油管理局王健民、单忠斌、郑立娟、李文聪、高安翔、李民、苏芳,华北石油建设有限公司白青山、崔陆河、张琴、韩国红,中油管道局韩德辉。在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中的错误、疏漏之处恳请广大读者提出宝贵意见。

作 者

2006 年 10 月

目 录

第一章 焊接冶金基本知识	(1)
第一节 金属学的一般知识	(1)
第二节 焊接冶金基本原理	(13)
第二章 焊接方法及设备	(31)
第一节 焊条电弧焊	(31)
第二节 钨极氩弧焊	(83)
第三节 埋弧焊	(99)
第四节 CO ₂ 气体保护焊	(116)
第五节 等离子弧焊接与切割	(128)
第六节 电阻焊	(134)
第七节 碳弧气刨	(140)
第八节 特种焊接方法	(145)
第三章 焊接材料	(158)
第一节 焊条	(158)
第二节 焊丝	(174)
第三节 焊剂	(181)
第四节 保护气体	(185)
第五节 钨极	(188)
第四章 金属材料的焊接	(191)
第一节 焊接性及其试验方法	(191)
第二节 碳钢的焊接	(195)
第三节 低合金结构钢的焊接	(199)
第四节 珠光体耐热钢的焊接	(205)
第五节 奥氏体不锈钢的焊接	(208)
第六节 低温钢的焊接	(216)
第七节 铸铁的焊接	(217)
第八节 有色金属的焊接	(224)
第九节 异种金属的焊接	(239)
第十节 典型焊接工艺	(248)
第五章 焊接检验	(256)
第一节 焊接缺陷	(256)
第二节 焊接检验概述	(265)
第三节 破坏性检验	(267)
第四节 非破坏性检验	(273)

第五节 无损检验	(276)
第六章 焊接结构	(283)
第一节 焊接接头	(283)
第二节 焊接应力与变形	(298)
第三节 焊接结构的破坏	(309)
第七章 典型容器和结构的焊接	(320)
第一节 压力容器的焊接	(320)
第二节 球罐的焊接	(332)
第三节 梁和柱的焊接	(341)
第八章 焊接结构生产	(349)
第一节 概述	(349)
第二节 焊接结构的备料	(350)
第三节 焊接结构的装配	(356)
第四节 焊接工装夹具及其设计	(359)
第五节 焊接工艺评定	(368)
第六节 定额管理	(372)
第七节 焊接结构质量验收	(379)
第九章 焊接安全与卫生技术	(382)
第一节 安全用电知识	(382)
第二节 电焊工个人防护及其卫生保健措施	(386)
第三节 特殊环境焊接安全技术	(390)
参考文献	(398)

第一章 焊接冶金基本知识

第一节 金属学的一般知识

一、金属的晶体结构

(一) 晶体与非晶体

晶体与非晶体的区别不在于物质的外表,而是在其内部原子的排列上。凡是物质内部的原子按一定规律排列的称为晶体,如食盐、冰糖等都是晶体;凡是物质内部的原子没有规律、无序堆积在一起的称为非晶体,例如松香、玻璃、橡胶等。晶体的最大特点就是其内部原子按一定的规律整齐地排列着。

由于晶体和非晶体中原子的排列不同,因而其性能也不同。晶体具有一定的熔点,而非晶体则没有;晶体的性能在不同方向上具有不同的数值,即各向异性,而非晶体则是各向同性。

(二) 晶格与晶胞

实际晶体中各原子是按一定的几何形状紧密地堆积在一起。但在研究晶体构造时,为便于分析各种晶体中原子的不同排列方式,我们把每一个原子抽象成一个点,代表原子的振动中心,把这些点用线连接起来就得到了一个能够反映原子在晶体中排列规律的空间格架,这个空间格架被称为晶格,如图 1-1-1a 所示。由于晶格具有周期性的特点,可以从晶格中提取一个具有代表性的几何小单元来研究,这个能够完整反映晶格特征的最小几何单元称为晶胞,如图 1-1-1b 所示。可以认为整个晶格就是由晶胞在空间重复堆积而成的,晶胞中原子的排列规律能够代表整个晶格的原子排列规律。

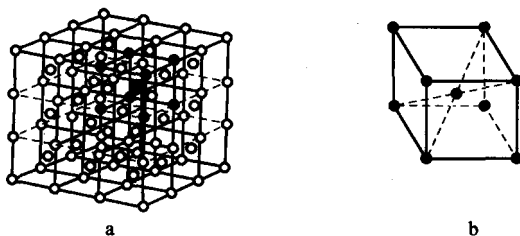


图 1-1-1 晶体中原子排列示图

a—晶格;b—晶胞

(三) 常见的三种金属晶胞结构

在已知的金属材料中大多数都具有比较简单的晶胞结构,其中最典型、最常见的晶胞结构有三种,即体心立方晶胞、面心立方晶胞和密排六方晶胞。

1. 体心立方晶胞

体心立方晶胞如图 1-1-2a 所示,其晶胞是一个立方体,在立方体的八个顶点上各分布着一个原子,另外在立方体的体中心上还有一个原子,体中心上的原子与角上的原子彼此接触。常见金属中属于这种晶胞的有: α -Fe、Cr、V、Mo 等。

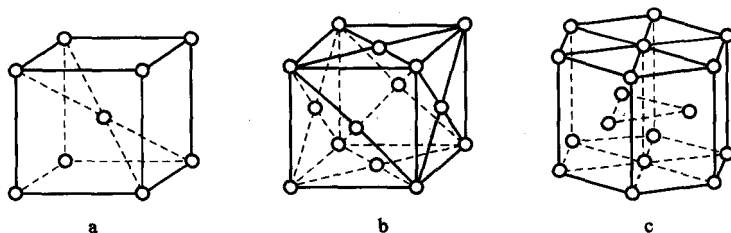


图 1-1-2 常见的三种金属晶胞结构

a—体心立方晶胞；b—面心立方晶胞；c—密排六方晶胞

2. 面心立方晶胞

面心立方晶胞如图 1-1-2b 所示，其晶胞是一个立方体，在立方体的八个顶点上各分布着一个原子，另外在立方体的六个面中心上还各有一个原子，面中心上的原子与角上的原子彼此接触。

常见金属中属于这种晶胞的有： γ -Fe、Al、Cu、Ag、Au、Ni、Pb 等。

3. 密排六方晶胞

密排六方晶胞如图 1-1-2c 所示，其晶胞是一个六方柱体，在六方柱体的十二个顶点上各分布着一个原子，另外在上下底面的面中心上还各有一个原子，晶胞内部还有三个原子。真正的密排六方结构上下底面的原子与晶胞中间三个原子紧密接触。

常见金属中属于这种晶胞的有：Mg、Zn、Cd、Be 等。

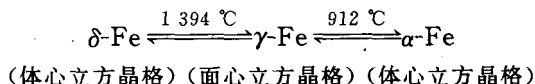
(四) 同素异构转变

1. 同素异构转变

许多金属材料在固态下只有一种晶格，如铝、铜、金、银等。而有些金属材料却不是这样，在固态下存在着两种以上的晶格类型，如铁、钛、钴等，它们在固态下随温度的改变，晶格类型会发生变化。金属材料在固态下随温度的改变由一种晶格转变为另一种晶格的现象称为金属的同素异构转变；同一种金属在不同温度下得到的不同晶格结构的晶体称为同素异晶体，按其稳定存在的温度，由低温到高温依次用希腊字母 α 、 β 、 γ 、 δ 等表示，如 α -Fe、 γ -Fe、 δ -Fe 等。

2. 纯铁的同素异构转变

液态纯铁在 1 538 °C 时进行结晶，得到具有体心立方晶格的 δ -Fe；温度继续降低到 1 394 °C 时，具有体心立方晶格的 δ -Fe 发生同素异构转变，转变为具有面心立方晶格的 γ -Fe；随着温度的继续降低，降到 912 °C 时，具有面心立方晶格的 γ -Fe 发生同素异构转变，转变为具有体心立方晶格的 α -Fe。当铁由体心立方晶格转变为面心立方晶格时体积会发生变化。温度再继续降低到室温，晶格类型不再发生变化。纯铁的同素异构转变可以用下面的表达式表示：



二、合金的组织结构

纯金属虽然得到了一定的应用，但由于其除了具有较高的导电、导热性外，强度、硬度都较低，而且冶炼困难，价格比较昂贵，因而工业生产中广泛应用的是合金。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组成的具有金属特性的物质。工业生产中应用最为广泛的碳钢和铸铁就是由铁和碳组成的合金，硬铝是由铝、铜和镁组成的合金。一般来说，组元可以是组成合金的元素及化合物，由两个组元组成的合金为二元合金，如碳钢；由

三个组元组成的合金为三元合金,如硬铝;由三个以上组元组成的合金为多元合金,如超硬铝(由铝、铜、镁、锌组成的合金)。

由两种或两种以上的组元组成合金时,在液态下,这些组元能够彼此溶解而形成均匀的液体,在固态下根据组元间的作用不同,可能构成不同的晶体结构。在合金中,凡是具有相同的化学成分、相同的结构和原子聚集状态并与其他部分有明显界面分开的物质部分称为相。在固态时,合金的组织是由数量、大小、形态和分布方式不同的各种相组成的。

在液态下,大多数合金的组元均能相互溶解,成为一个均匀的液体,因而只具有一个液相。在凝固后,由于各组元的晶体结构、原子结构等不同,各组元间的相互作用不同,在固态合金中可能会出现由不同的相组成的金属结构,固态合金的基本相结构为固溶体和金属化合物。在具体合金中,由于化学成分和各组元之间的作用不相同,除单相的固溶体和单相的金属化合物外,还可能出现由固溶体、金属化合物等不同的相组成的混合物组织。

(一) 固溶体

糖溶入水中可以得到糖的水溶液,其中糖是溶质,水是溶剂;如果将糖水凝固成冰,就得到了糖在固态水中的固溶体。在合金中,也有类似情况。如果液态下组元间相互溶解的状态在凝固后仍能保留下来,即组元在固态下仍能彼此溶解,则可形成固溶体。与固溶体晶格相同的组元是固溶体的溶剂,溶入溶剂晶格中的组元即晶格消失了的组元是固溶体的溶质。根据溶质在溶剂中的分布状况,固溶体可分为间隙固溶体和置换固溶体两类。

1. 间隙固溶体

溶质原子不占据溶剂晶格结点位置,而处于溶剂晶格间隙而形成的固溶体称为间隙固溶体。

2. 置换固溶体

溶质原子代替一部分溶剂原子而占据溶剂晶格中的某些结点位置所形成的固溶体称为置换固溶体。

无论是形成间隙固溶体还是形成置换固溶体,随着溶质含量的增加都会使溶剂的晶格发生畸变,使位错移动的阻力加大,塑性变形抗力增加,从而导致固溶体强度、硬度提高而塑性、韧性有所下降。由于溶质原子的溶入,而使固溶体强度、硬度升高的现象称为固溶强化,它是提高合金材料力学性能的重要手段之一。

(二) 金属化合物

金属化合物是合金组元间发生相互作用而形成的一种新相。例如,碳钢中的 Fe_3C 就是铁和碳相互化合而形成的。金属化合物一般可用化学分子式来表示它的组成,它的晶格类型和性能不同于组成它的任一组元。金属化合物一般具有复杂的晶格结构,熔点高,硬度高,脆性大,它能提高合金的强度、硬度和耐磨性,是各类合金钢、硬质合金和许多有色金属的重要组成相。

(三) 混合物

由两种或两种以上的相按一定的质量分数组成的物质叫混合物。混合物是由两相或多相组成的,各个组成相仍保持自己的性能和晶格结构,因此混合物的性能取决于各组成相的性能,以及各相的形状、大小和分布状况。

三、铁碳合金相图

(一) 铁碳合金的基本组织

钢铁材料是工业生产中应用最为广泛的合金,它们都是由铁和碳为基本组元组成的复杂合金。在铁碳合金中,碳可以溶入铁中形成固溶体,也可以与铁化合形成金属化合物,还可以形成化合物和固溶体的混合物。因此,在铁碳合金中会出现以下基本相及组织:

1. 铁素体

铁素体是碳溶入 α -Fe 中所形成的间隙固溶体,用符号“F”表示。在铁素体中碳是溶质, α -Fe 是溶剂,铁素体保持了 α -Fe 的体心立方晶格。铁素体的力学性能几乎和纯铁相同,强度、硬度不高,但具有优良的塑性和韧性。

2. 奥氏体

奥氏体是碳溶入 γ -Fe 中所形成的间隙固溶体,用符号“A”表示。在奥氏体中碳是溶质, γ -Fe 是溶剂,奥氏体保持了 γ -Fe 的面心立方晶格。这类晶体的最大间隙尺寸较铁素体大,因而碳在 γ -Fe 中的溶解度比在 α -Fe 中的溶解度要大。奥氏体的强度、硬度不高,但具有良好的塑性,是绝大多数钢在高温进行锻造和轧制时所要求的组织。

3. 渗碳体

渗碳体是铁和碳相互化合而形成的化合物,常用分子式“ Fe_3C ”来表示。它的晶格不同于铁和碳,而是形成了一种新的复杂的斜方晶体结构,它的含碳量为 6.69%,熔点为 1 227 $^{\circ}\text{C}$ (理论计算值),具有很高的硬度,但脆性很大。渗碳体是碳钢的主要强化相,它的分布和形状对碳钢的性能影响很大。

4. 珠光体

珠光体是铁素体和渗碳体的混合物,用符号“P”表示,在缓慢冷却的条件下,它的含碳量为 0.77%。珠光体是由硬的渗碳体和软的铁素体组成的混合物,所以其性能取决于渗碳体和铁素体的性能。一般认为珠光体的强度较高,硬度适中,具有一定的塑性。

5. 马氏体

马氏体是碳在 α -Fe 中的过饱和固溶体,用符号“M”表示,具有较高的硬度和强度,但塑性、韧性极低,几乎不能承受冲击载荷。

(二) 铁碳合金相图

铁碳合金相图是研究铁碳合金的基础,在铁碳合金中,铁和碳可以形成一系列的化合物,但由于工业生产中用的铁碳合金的含碳量一般不超过 5%,所以我们研究的铁碳相图只限于 Fe- Fe_3C (含碳量为 6.69%) 部分。

1. 简化后的铁碳相图的画法

在铁碳相图中纵坐标代表温度,横坐标代表含碳量,将 Fe- Fe_3C 相图中实用意义不大的左上角和左下角部分予以简化,就得到了简化后的 Fe- Fe_3C 相图,如图 1-1-3 所示。

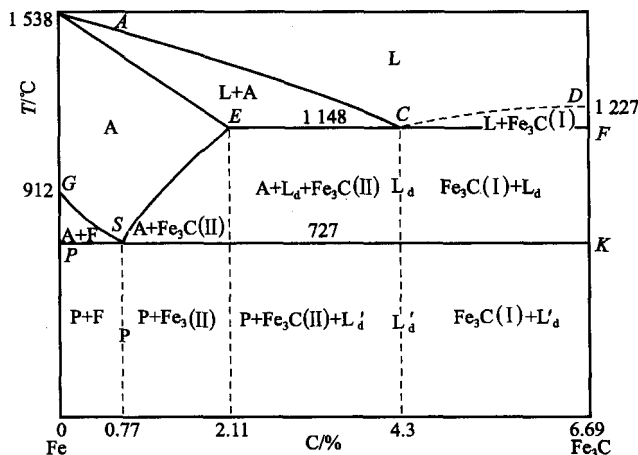


图 1-1-3 简化后的 Fe- Fe_3C 相图

2. 相图中特性点、线的含义

(1) 相图中几个特性点的温度、含碳量及含义见表 1-1-1。

(2) 相图中的特性线:

ACD 是液相线,在此线以上合金全部为液相。

AECF 是固相线,合金冷到此线全部结晶为固相。

GS 又叫 A₃ 线,是冷却时 A 中析出 F 的开始线或加热时 F 溶入 A 中的终了线。

ES 又叫 A_{cm} 线,是碳在 A 中的固溶线。

ECF 是共晶转变线。

PSK 又叫 A₁ 线,是共析转变线。

表 1-1-1 相图中特性点的温度、含碳量及含义

特性点	温度/℃	含碳量/%	含 义
A	1 538	0	纯铁的熔点
C	1 148	4.3	共 晶 点
D	1 227	6.69	渗碳体的熔点
E	1 148	2.11	碳在 A 中的最大溶解度
G	912	0	纯铁的同素异构转变点
S	727	0.77	共 析 点

四、钢的热处理基本知识

热处理是将固态金属或合金采用适当的方法进行加热、保温和冷却,改变其内部组织获得所需性能的一种工艺方法。

利用热处理可以消除上道工序的缺陷,也可以为下道工序做准备,更重要的是提高合金的性能,从而充分发挥材料的潜力,在机械制造业中占有非常重要的地位。根据加热和冷却的方式不同,热处理可分为退火、正火、淬火、回火以及表面热处理。

(一) 钢的退火

1. 退火工艺

将工件加热到适当温度,保温一定时间,然后缓慢冷却的热处理工艺称为退火。

2. 退火目的

(1) 降低硬度,提高塑性,以利于切削加工和冷变形加工。

(2) 消除残余内应力,防止工件变形和开裂。

(3) 细化晶粒,均匀钢的组织 and 成分,提高钢的力学性能,为最终热处理(淬火、回火)做好组织上的准备。

3. 常用的退火方法及应用

根据钢的成分、目的及工艺特点,常用的退火方法有完全退火、球化退火和去应力退火等。在机械零件、工具、模具等的制造过程中,经常采用退火做预备热处理,安排在铸造、锻造之后,粗加工之前,消除前一道工序带来的缺陷,为后面的工序做准备。

(1) 完全退火。又称重结晶退火,是将工件加热到 A_{c3} 以上 30~50 ℃,保温一定时间,然后随炉缓慢冷却下来,以获得接近于平衡状态组织的工艺。完全退火主要用于各种中碳钢、低中碳合金结构钢的铸、锻件及热轧型材,有时也用于焊接结构件,一般为一些不太重要零件的最终热处理或某些重要零件的预备热处理。

(2) 球化退火。是将工件加热到 A_{c1} 以上 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间，再以 $\leq 50\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 的冷却速度随炉缓慢冷却下来，使钢中的渗碳体球状化的工艺。球化退火主要适用于共析或过共析成分的碳素工具钢、合金工具钢和滚动轴承钢，以改善切削加工性能并为后面热处理做准备。

(3) 去应力退火。又称低温退火，是将工件加热到 $500\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间，随炉缓慢冷却下来的工艺。去应力退火主要用于消除铸件、锻件、焊接件和冷冲压件的残余应力及切削加工过程中产生的应力。由于加热温度在 A_1 线以下，所以去应力退火过程中没有组织转变，只是消除内应力。

(二) 钢的正火

1. 正火工艺

将工件加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上 $30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间，空冷至室温的热处理工艺。

2. 正火目的

正火的目的与退火目的基本相同，只是正火的冷却速度稍快，组织更细，力学性能更好。

3. 正火应用

- (1) 改善低碳钢和低碳合金钢的切削加工性能。
- (2) 作为普通结构件或一些大型及形状复杂零件的最终热处理。
- (3) 代替中碳钢和低中碳合金结构钢的完全退火。
- (4) 消除过共析钢中的网状渗碳体，以利于球化退火。

(三) 钢的淬火

1. 淬火工艺

淬火是将钢加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 以上 $30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间，以适当的冷却方式冷却到室温，以获得马氏体和贝氏体的工艺方法。

2. 淬火目的

淬火就是为了获得马氏体，提高钢的强度和硬度。

(四) 钢的回火

1. 回火工艺

回火是将淬火钢再加热至 A_1 以下某一温度，保温一定时间，然后冷却至室温的热处理工艺。

2. 回火目的

- (1) 降低零件脆性，减小或消除淬火钢的内应力。
- (2) 给予工件所要求的力学性能。
- (3) 稳定组织，保证工件的精度。

3. 常用的回火方法及应用

凡是重要的零件都要进行淬火和回火处理，根据工件性能要求的不同，按回火的温度将回火分为三种：

(1) 低温回火 ($150\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$)。低温回火所得到的组织是回火马氏体，其性能是具有高硬度 ($58\sim 64\text{HRC}$) 和高耐磨性，内应力有所下降，韧性有所提高。这种回火方法主要适用于各种高碳的切削工具、冷模具钢、滚动轴承钢和渗碳零件等。

(2) 中温回火 ($350\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$)。中温回火所得到的组织是回火托氏体，其性能是具有高的弹性极限和屈服点，具有较高的韧性，硬度为 $35\sim 50\text{HRC}$ 。这种回火方法主要适用于各种弹

簧和热模具钢。

(3) 高温回火(500~650℃)。高温回火所得到的组织是回火索氏体,其性能是具有较高的综合力学性能,即高强度和高韧性相配合的性能,硬度为200~350HBS。通常将淬火后高温回火的热处理工艺称为调质。这种回火方法主要适用于性能要求较高的重要结构零件,如机床主轴、螺栓、齿轮和连杆等。在锅炉压力容器上,调质主要用于处理设备主螺栓和钢质高压无缝气瓶等。调质处理的目的是提高钢材的综合机械性能。

五、常用金属材料知识

金属材料的性能分为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所表现出来的性能,它包括物理性能、化学性能和力学性能;工艺性能是指金属材料在制造工艺过程中适应加工的性能。

(一) 金属材料的物理性能

1. 密度

某种物质单位体积的质量称为该物质的密度。密度的表达式如下:

$$\rho = m/V$$

式中 ρ ——物质的密度, kg/m³;

m ——物质的质量, kg;

V ——物质的体积, m³。

不同的金属材料具有不同的密度,在体积相同的情况下,材料的密度越大,其质量也就越大。材料的密度直接关系到制成设备的自重和效能。利用密度公式可以计算大型零件的质量,可以确定金属铸件的致密程度。

2. 熔点

熔点是金属或合金从固态向液态转变时的温度。金属都具有固定的熔点。合金的熔点取决于它的成分,是金属和合金冶炼、铸造以及焊接时的重要工艺参数。熔点高的金属称为难熔金属(如钨、钒和钼等),可以用来制造耐高温零件;熔点低的金属称为易熔金属(如锡、铅等),可以用来制造熔断丝、防火安全阀。

3. 导热性

导热性是金属材料传导热量的能力。金属材料导热性的好坏通常用热导率 λ [单位为W/(m·K)]的数值来衡量,热导率越大,则金属的导热性越好。金和银的导热性最好,铜和铝的导热性仅次于金和银,合金的导热性不如纯金属。

4. 导电性

导电性是金属材料传导电流的能力。金属材料导电性的好坏通常用电阻率 ρ (单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$)的数值来衡量,电阻率越大,金属的导电性越差。金和银的导电性最好,铜和铝的导电性仅次于金和银,合金的导电性不如纯金属。

5. 热膨胀性

热膨胀性是金属随着温度变化膨胀、收缩的特性。一般来说,金属受热膨胀而体积增大,冷却收缩而体积缩小。金属材料的线胀系数越大,表示该材料热胀冷缩的程度越大。实际工作中要考虑热膨胀性的地方很多,例如,异种金属的焊接要考虑它们的热膨胀系数是否接近,如果热膨胀系数不同,焊接过程中会产生很大的内应力,容易使焊后的金属构件发生变形,甚至损坏。

6. 磁性

磁性是金属材料在磁场中受到磁化的性能。根据金属材料在磁场中受到磁化的程度不同,可分为铁磁性材料(在外磁场中能被强烈磁化),如铁、钴等;顺磁性材料(在外磁场中只能微弱地被磁化),如锰、铬等;抗磁性材料(能抗拒或削弱外磁场对材料本身的磁化作用),如铜、锌等。

(二) 金属材料的化学性能

1. 耐蚀性

耐蚀性是金属材料在常温下抵抗氧、水蒸气及其他化学介质腐蚀破坏作用的能力。腐蚀对金属材料的危害很大,它不仅使金属材料本身受到损伤,严重时还会使金属构件遭受破坏,引起重大事故。因此,提高材料的耐蚀性,对于节约材料、延长材料的使用寿命,具有现实的经济意义。

2. 抗氧化性

抗氧化性是金属材料在加热时抵抗氧化作用的能力。金属材料的氧化随温度的升高而加速,在铸造、锻造、焊接和热处理时,氧化比较严重,这不仅造成材料的浪费,还会形成各种缺陷。因此,常在工件的周围造成一种保护气氛,避免金属材料的氧化。

金属材料的耐蚀性和抗氧化性统称为化学稳定性。

(三) 金属材料的力学性能

在机械设备及工具的设计、制造中,选用金属材料大多是以金属材料的力学性能为主要依据,所谓力学性能是金属在外力作用时表现出来的性能,包括强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度。

1. 强度

强度是金属材料抵抗塑性变形和断裂的能力,衡量强度的指标有屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。屈服点是在拉伸试验过程中,力不增加变形仍能继续伸长时的应力。抗拉强度是材料在拉断前所承受的最大应力。

屈服点和抗拉强度是金属材料的重要力学性能指标。一般机器构件都是在弹性状态下工作的,不允许有微小的塑性变形,所以在设计中常采用 σ_s (或 $\sigma_{0.2}$) 作为主要依据,再加上适当的安全系数。由于 σ_b 测量方便,而且数据较为准确,所以设计时也可以直接采用 σ_b ,但需要较大的安全系数。

2. 塑性

塑性是金属材料在拉断前产生塑性变形的能力。衡量材料塑性的指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。伸长率是试样拉断后,标距的伸长与原始标距的百分比,断面收缩率是试样拉断后缩颈处截面积的减缩量与原始截面积的百分比。

金属材料的 δ 和 ψ 数值越大,材料的塑性越好,塑性好的材料可以通过塑性变形加工成复杂零件。但对于具体零件来说,对塑性的要求是有一定限度的,并不是越大越好,否则会限制材料强度水平的提高。

3. 硬度

硬度是金属材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。常用的硬度试验方法有布氏硬度法、洛氏硬度法和维氏硬度法。布氏硬度法用符号 HBS 或 HBW 表示。主要用来测试铸铁、有色金属及合金以及各种退火、正火、调质的钢材,但不能用于成品件和薄件的测试。

洛氏硬度法用符号 HRA、HRB 和 HRC(常用洛氏硬度法的三种标尺)表示。HRA 常用

来测试表面淬火、硬质合金等材料的硬度；HRB 常用来测试软钢、铜合金等的硬度；HRC 常用于测试一般淬火钢的硬度。维氏硬度法用符号 HV 表示。常用来测试表面渗碳、表面渗氮材料的硬度。

4. 冲击韧性

冲击韧性是金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力。冲击韧性是用冲击韧度 a_k (单位为 J/cm^2) 来衡量的。一般认为 a_k 越大, 材料韧性越好。但实践表明, 承受冲击载荷的零件很少因一次的大能量冲击而破坏, 绝大多数是在一次冲击不足以使零件破坏的小能量多次冲击作用下而破坏的, 对于这样的零件用冲击韧度来设计是不合适的。大量的生产实践表明, 在小能量多次冲击条件下, 材料的冲击抗力是以材料的强度为主, 以一定的塑性和韧性相互配合的综合性能。

5. 疲劳强度

疲劳强度是金属材料在无限次交变应力作用下而不破坏时的最大应力。因不能做无限次交变载荷试验, 所以一般规定: 钢材应力循环次数达到 $10^6 \sim 10^7$ 次仍不发生破坏时的最大应力值为它的疲劳强度; 有色金属及合金、不锈钢应力循环次数达到 $10^7 \sim 10^8$ 次不发生破坏时的最大应力值为它的疲劳强度, 对于对称应力循环, 疲劳强度通常用 σ_{-1} 表示。

(四) 金属材料的工艺性能

工艺性能是指金属材料对不同加工工艺方法的适应能力, 包括铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能。

1. 铸造性能

铸造性能是金属及合金成型获得优良铸件的能力。衡量铸造性能的指标有流动性、收缩性和偏析等。流动性好的金属, 容易充满铸型, 从而获得外形完整、尺寸精确和轮廓清晰的铸件; 铸件在冷却过程中, 其体积和尺寸会发生收缩, 铸件的收缩不仅影响尺寸, 还会使铸件产生缩孔、疏松和内应力; 铸件凝固后, 成分和组织的偏析会引起铸件各部分的力学性能有差异, 降低铸件的质量。因而, 金属和合金的流动性越好、收缩性越小、偏析越小, 其铸造性能就越好。

2. 锻造性能

锻造性能是金属材料利用锻压加工方法成型的难易程度。锻造性能的好坏主要同金属的塑性和变形抗力有关, 塑性越好、变形抗力越小, 其锻造性能就越好。

3. 焊接性能

焊接性能是指金属材料对焊接加工的适应性。对于碳钢和低合金钢, 焊接性主要与化学成分有关(其中碳的影响最大), 低碳钢具有良好的焊接性能, 但高碳钢和铸铁的焊接性能较差。

4. 切削加工性能

切削加工性能是金属材料接受切削加工的难易程度。一般认为材料具有适当的硬度 ($170 \sim 230HBS$) 和足够的脆性时较易切削。

六、钢的分类及编号

(一) 钢的分类

钢的分类方法很多, 可以按化学成分、冶炼方法、品质、用途及金相组织等进行分类。

1. 按化学成分分类

按化学成分可分为碳素钢(简称碳钢)、合金钢两大类。碳素钢是指碳的质量分数低于 2.06% 的铁碳合金, 根据碳质量分数的不同, 碳钢又可分为工业纯铁 ($w_c \leq 0.02\%$)、低碳钢 ($w_c \leq 0.30\%$)、中碳钢 (w_c 为 $0.30\% \sim 0.60\%$) 和高碳钢 ($w_c > 0.60\%$)。合金钢是在碳钢的

基础上,为了改善钢的性能专门加入某些合金元素炼制而成的钢。按照合金元素总量的不同,合金钢可分为低合金钢(合金元素总量 $<5\%$)、中合金钢(合金元素总量为 $5\%\sim 10\%$)和高合金钢(合金元素总量 $\geq 10\%$)。

2. 按冶炼方法分类

根据炼钢炉类别分类,可分为平炉钢、转炉钢和电炉钢三大类。

根据冶炼时脱氧程度的不同,可分为沸腾钢、镇静钢及半镇静钢。沸腾钢是脱氧不完全的钢,以符号“F”表示。沸腾钢耐蚀性和力学性能差,不宜用于重要结构。

镇静钢为完全脱氧钢,浇注和凝固时钢液镇静不沸腾,故称为镇静钢。这种钢冷凝后有集中缩孔,所以成材率低,成本高。但气体含量低,偏析少,时效倾向低,质量较高,因此得到广泛应用。镇静钢以符号“Z”表示,但一般省略。

半镇静钢为半脱氧钢,脱氧程度介于上述两者之间,用符号“b”表示。

3. 按品质分类

(1) 碳素钢。根据钢中有害杂质硫、磷的含量高低,碳素钢可分为普通碳素钢、优质碳素钢和高级优质碳素钢。

① 普通碳素钢。 $w_P \leq 0.045\%$, $w_S \leq 0.050\%$ 。

② 优质碳素钢。 w_P 、 w_S 均为 0.035% ,其他非有意加入而是从原材料带入的残余杂质如Cr、Ni、Cu等的含量也有一定的限制。

③ 高级优质碳素钢。 $w_P \leq 0.035\%$, $w_S \leq 0.030\%$,混入的其他杂质含量限制得更加严格。

普通碳素钢一般采用转炉和大型平炉冶炼,产量大、成本低;优质碳素钢一般用电炉或平炉冶炼,杂质少;高级优质碳素钢主要是电炉钢或采用精炼的方法,质量最好、成本也高,它主要用来制造工具和要求很高的机器零件及焊接材料用钢。

(2) 合金钢。合金钢按硫磷含量可分为优质钢、高级优质钢和特级优质钢。

① 优质钢。 $w_P \leq 0.035\%$, $w_S \leq 0.035\%$ 。

② 高级优质钢。 $w_P \leq 0.025\%$, $w_S \leq 0.025\%$ 。

③ 特级优质钢。 $w_P \leq 0.025\%$, $w_S \leq 0.015\%$ 。

4. 按金相组织分类

钢按金相组织可分为铁素体-珠光体型钢、贝氏体型钢、马氏体型调质高强度钢、铁素体型钢和奥氏体型钢等。

5. 按用途分类

钢按用途可分为结构钢、工具钢和特殊用途钢三大类。

结构钢还分为建筑及工程机械用钢、机械制造用钢、超高强度钢、轴承钢和弹簧钢等。

建筑及工程机械用钢还包括碳素结构钢、低合金高强度钢、钢筋用钢等;机械制造用钢包括调质钢、表面硬化钢、易切削钢、冷加工成型用钢等。

工具钢分为碳素工具钢、合金工具钢和高速工具钢,包括量具、刀具、模具钢等。

特殊用途钢分为不锈钢耐酸钢、耐热钢、电工用钢、耐磨钢、低温用钢、各种专业用钢等。专业用钢主要有锅炉钢、压力容器用钢及船舶、桥梁、钢轨用钢等。

(二) 钢的编号及特性

我国的钢材牌号表示方法,是采用国际化学元素符号、汉语拼音字母和阿拉伯数字并用的原则,即钢号中化学元素用国际化学符号表示;钢材名称、用途、冶炼和浇注方法等一般以

汉语拼音的缩写字母来表示；钢中主要化学元素含量(质量分数)采用阿拉伯数字表示。

1. 碳素钢的牌号、性能及用途

碳素钢价格便宜，产量较大，杂质较多，具有一定的力学性能，一般在热轧状态下供应，广泛应用于金属结构件和一般机械零件。

(1) 普通碳素结构钢。根据 GB/T 700—1988《碳素结构钢》标准，钢的牌号由代表屈服点的字母、数值、质量等级符号、脱氧方法符号 4 个部分按顺序组成。

例如 Q235AF 中：

Q——表示钢的屈服点，为“屈”字拼音字母；

235——数字表示钢的屈服点数值，单位为 MPa；

A——为质量等级符号，可分为 A、B、C、D 四个等级，其中 A 级质量最低，D 级质量最高；

F——脱氧方法，F 表示沸腾钢，b 表示半镇静钢，Z 表示镇静钢，TZ 表示特殊镇静钢。

主要钢种有 Q195、Q215A、Q215B、Q235A、Q235B、Q235C、Q235D、Q255A、Q255B、Q275。

(2) 优质碳素结构钢。主要用于制造重要的机器零件、结构，其钢号用两位数字表示。两位数字表示该钢种平均碳质量分数的万分率，如 20、45 钢，分别表示钢中平均碳质量分数为 0.20%、0.45% 的优质碳素结构钢。常用的钢号有：10、15、20、30、35、40、45 等。高级优质碳素结构钢在钢号后附加“高”或“A”。含锰量较高， w_{Mn} 为 0.70%~1.00% 的优质碳素钢，应将锰元素标出，如 15Mn、60Mn 等。

10、20 钢具有良好的冲击韧度，良好的焊接性能，常用于各种结构件；35、40、45、55 钢属于调质钢，调质处理后可获得良好的综合力学性能，多用于制造机器零件等。

(3) 碳素工具钢。用钢的平均碳质量分数的千分率数字表示。为了与合金工具钢相区别，在数字前冠以“T”字，读成“碳”。如碳质量分数为 0.70% 的碳素工具钢，其钢号写成 T7，读成“碳 7”。常用的钢号有 T7、T8、T9、T10、T12 等。高级优质碳素工具钢含磷、硫较低，表示为 T10A、T12A 等。碳素工具钢一般要经热处理后使用。

(4) 其他专业用钢。在一般碳素结构钢基础上为满足某些专业用途的特殊需要，发展了一些专业用钢，如锅炉钢、压力容器用钢、焊接气瓶用钢、船用钢、桥梁用钢、铁轨用钢等。锅炉用钢板在钢号后加“g”字；压力容器用钢板加“R”字；焊接气瓶用钢板加“HP”字母；多层压力容器用钢板加“RC”字母。如 20g、20R、20HP、15MnHP、16MnRC、15MnVRC 等。

表 1-1-2 常见钢号中表示用途的符号

名 称	汉字	符号	在钢号中的位置	名 称	汉字	符号	在钢号中的位置
易切削结构钢	易	Y	头	桥梁钢	桥	q	尾
钢 轨 钢	轨	U	头	锅 炉 钢	锅	g	尾
船 用 钢	船	C	尾	焊 接 用 钢	焊	H	头
矿 用 钢	矿	K	尾	压力容器用钢	容	R	尾

2. 合金钢的牌号、性能及用途

(1) 低合金高强度结构钢的编号。根据 GB/T 1591—1994《低合金高强度结构钢》标准，低合金高强度结构钢的牌号由代表屈服点的汉语拼音字母(Q)、屈服点数值、质量等级符号(A、B、C、D、E)3 个部分组成，并按顺序排列。如：钢号 Q390A 中，“Q”表示钢屈服点“屈”字拼音首位字母；“390”表示屈服点数值，单位 MPa；“A”表示质量等级符号为 A 级。

低合金高强度结构钢共有 Q295A(B)、Q345A(B、C、D、E)、Q390A(B、C、D、E)、Q420(A、B、C、D、E) 和 Q460C(D、E) 5 个牌号。一般以热轧、控轧、正火及正火加回火状态交货。Q420、Q460 的 C、D、E 级钢也可按淬火加回火状态交货。