

石油工人技术培训系列丛书

管道焊接 技术

主 编 李建军
副主编 修长征 茹慧灵 刘光云

石油工业出版社

石油工人技术培训系列丛书

管道焊接技术

主编 李建军

副主编 修长征 茹慧灵 刘光云

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是为了适应管道焊接技术发展需要而编写的,在取材上注重了理论的实用性。重点介绍了管道焊接工程的新技术、新工艺、新方法,同时也介绍了一些相关标准。

本书是管道焊接工人技术培训的首选教材,也可供科研人员及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

管道焊接技术/李建军主编.

北京:石油工业出版社,2007.8

(石油工人技术培训系列丛书)

ISBN 978-7-5021-6154-5

I. 管…

II. 李…

III. 管道-焊接工艺-技术培训-教材

IV. TG457.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 097883 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

编辑部:(010)64523582 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本:1/16 印张:21.75

字数:360 千字 印数:1—4000 册

定价:35.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《石油工人技术培训系列丛书》

编 委 会

主 任：郑 虎

副 主 任：李万余 王永春 孙祖岭 白泽生

刘志华 孙金瑜

委 员：（按姓氏笔画排序）

上官建新 万志强 马卫东 马平凡

马自勤 王立民 王忠仁 尹君泰

申尧民 石桂臣 许 飞 许大坤

朱长根 向守源 百连刚 齐振林

张凤山 张景仁 张 剑 张启英

张晗亮 李储龙 李越强 岳丛林

范卓瑛 段世民 钟启刚 郭向东

侯浩杰 赵益红 郝春生 夏中伏

郭跃武 韩 炜

《管道焊接技术》

编 写 组

主 编：李建军

副 主 编：修长征 茹慧灵 刘光云

编写人员：张玉芝 吕向阳 韩德辉 于英姿

王乐生 孙冬梅 袁 浩 张志清

主 审：杜则裕

努力造就更多的高技能人才

(代序)

《石油工人技术培训系列丛书》的出版,十分及时,很有必要,对加强中国石油天然气集团公司(以下简称“集团公司”)经营管理、专业技术和操作技能三支人才队伍建设,特别是操作技能人才队伍建设具有重要意义。

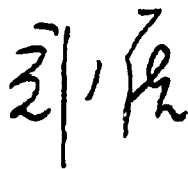
小康大业,人才为本。集团公司员工队伍中的高技能人才,是推动技术创新和实现科技成果转化不可缺少的重要力量,是集团公司三支人才队伍中重要组成部分。集团公司各项事业的发展,不仅需要广大专家的智慧 and 心血,也需要千千万万高技能人才的聪明和才智。长期以来,集团公司高技能人才奋战在油田勘探开发、炼油化工等生产一线,为科技成果的转化、产业结构的升级、企业竞争力的增强,发挥了不可替代的作用。我们要像尊重高级专家那样尊重高技能人才,要像重视高级专家那样重视高技能人才,要像关心高级专家成长那样关心高技能人才的成长。只有三支人才队伍比翼齐飞,各自发挥应有的作用,才能带动集团公司这艘巨轮乘风破浪,扬帆远航。

这些年,集团公司大力实施人才强企战略,坚持三支人才队伍一起抓,紧紧抓住培养、吸引和使用三个环节,不断改进人才工作方式方法,积极营造有利于各类人才脱颖而出的环境,有力推进了三支人才队伍建设,为建设跨国企业集团提供了人才保障。其中,在操作技能人才队伍建设方面,制定了《集团公司加强高技能人才队伍建设的意见》和《技师、高级技师管理办法》,积极组织技师、高级技师培训,全面开展班组长培训,不断提高技能鉴定工作质量,组织开展职业技能竞赛,促进了操作技能队伍素质的不断提高。但是,进一步加强高技能人才队伍建设,尽快形成一支结构合理、技术精湛、一专多能、适应国际市场规模施工作业要求的操作技能人才队伍,仍

是一项十分重要而紧迫的任务。《石油工人技术培训系列丛书》的编写与出版,将为加强操作技能人才队伍培训,造就更多的高技能人才,发挥重要作用。

这套丛书从生产实际出发,以满足需求为导向,以促进员工持续学习为目的,以重点培养员工的学习能力、实践能力和创新能力为目标,内容涵盖勘探、开发、炼化、销售等领域,实践性和针对性都很强。同时,大批专家的参与写作也使教材的权威性有了保证。希望这套丛书的出版发行,能为促进集团公司员工培训工作的深入开展,为促进更多高技能人才的成长,为形成一支门类齐全、梯次合理、素质优良、新老衔接、充分满足集团公司持续有效较快协调发展需要的人才队伍做出积极的贡献。

中国石油天然气集团公司党组成员、副总经理



2005 年 1 月 28 日

前 言

采用管道输送石油或天然气是最经济、最安全的运输方式。随着国民经济的发展及人类对能源需求的日益增长,世界各国的管道铺设量正在迅速增加。我国在“十五”期间将管道运输列入重点发展项目,如西气东输重点工程,就为我国的冶金工业、焊接工业的发展提供了可贵的机遇。

本书是为了适应管道焊接技术发展需要而编写的。在编写过程中,编者在总结多年来焊接技术实践经验的基础上,从社会发展对高素质劳动者和工程技术人才的需求出发,在取材上注重了理论的实用性,介绍了管道焊接工程的新技术与新工艺,并且增加了相关标准介绍,以便于读者参考及使用。

本书由中国石油管道学院李建军教授任主编,国家质量检验检疫总局修长征高级工程师,中国石油管道学院茹慧灵教授、刘光云硕士任副主编。中国石油管道学院多位教师参加了编写,具体撰写的章节如下:第一章由张玉芝副教授编写;第二章由吕向阳硕士编写;第三章、第七章由韩德辉副教授编写;第四章由王英姿硕士编写;第五章、第六章由茹慧灵教授、刘光云硕士编写;第八章由王乐生高级工程师编写;第九章由李建军教授、吕向阳硕士编写;第十章由孙冬梅教授编写;第十一章由李建军教授、张志清副教授编写;第十二章由修长征、袁浩编写。

全书由天津大学博士生导师杜则裕教授审阅。在编写过程中还得到了中国石油管道学院李学恕教授的支持和帮助,在此一并致谢!

由于编写时间紧,任务重,书中难免有不妥之处,敬请广大读者及同行专家批评指正。

编 者

2006 年 11 月

目 录

第一章 压力管道用金属材料	(1)
第一节 金属材料基础知识	(1)
第二节 金属材料的力学性能	(16)
第三节 管线钢相关标准介绍	(21)
思考题	(32)
第二章 焊接材料	(33)
第一节 焊材标准	(33)
第二节 焊条	(34)
第三节 焊剂	(40)
第四节 焊丝	(42)
第五节 保护气体	(48)
第三章 电弧焊基础知识	(51)
第一节 焊接电弧及其特性	(51)
第二节 常用弧焊电源	(57)
第三节 常用焊接接头及焊缝形式	(67)
思考题	(79)
第四章 焊条电弧焊	(80)
第一节 焊条电弧焊的特点	(80)
第二节 焊条电弧焊工艺	(81)
第三节 焊条电弧焊设备	(93)
思考题	(97)
第五章 二氧化碳气体保护电弧焊	(98)
第一节 CO ₂ 电弧焊的特点及应用	(98)
第二节 CO ₂ 电弧焊工艺	(100)
第三节 CO ₂ 电弧焊设备	(116)
思考题	(125)

第六章 钨极惰性气体保护电弧焊	(126)
第一节 TIG 焊的特点和应用	(126)
第二节 TIG 焊工艺	(128)
第三节 TIG 焊设备	(142)
思考题	(151)
第七章 焊接缺陷的产生及防止	(152)
第一节 焊接缺陷的种类及特征	(152)
第二节 焊接缺陷的危害、产生原因及防止措施	(166)
思考题	(171)
第八章 焊接质量检验	(172)
第一节 焊缝外观及尺寸检验	(172)
第二节 射线检测	(175)
第三节 超声波检测基础	(183)
第四节 表面检测	(194)
第五节 焊接接头的力学性能试验	(203)
附录 1 GB/T 3323—1987《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》(节选)	(207)
附录 2 API STD 1104—2005《管道和相关设备的焊接》(节选)	(209)
附录 3 SY/T 4109—2005《石油天然气钢质管道无损检测》(节选)	(215)
思考题	(220)
第九章 管道焊接技术	(221)
第一节 概述	(221)
第二节 管道焊接技术发展现状	(223)
第三节 管线用钢	(225)
第四节 管道焊接方法及工艺	(235)
第五节 国产管道自动焊机及管道焊接附属设备	(249)
第六节 工程案例	(256)
第十章 常用施工验收标准	(267)
第一节 概述	(267)
第二节 常用施工验收标准实例	(269)
思考题	(295)

第十一章	HSE 管理	(296)
第一节	HSE 管理基础知识	(296)
第二节	石油天然气行业 HSEMS 标准的主要内容分析	(297)
第三节	安全、健康、环境保护知识	(308)
思考题		(318)
第十二章	压力管道焊接安全技术	(319)
第一节	安全用电	(319)
第二节	防火、防爆基础知识	(321)
第三节	焊接安全规定	(323)
第四节	焊接劳动卫生和防护	(326)
第五节	焊接安全管理	(330)
参考文献		(334)

第一章 压力管道用金属材料

第一节 金属材料基础知识

一、金属的结构

(一) 金属晶体

1. 晶体与非晶体

在物质内部,凡是原子呈无序堆积状态的,称为非晶体,例如普通玻璃、松香、树脂等,都属于非晶体。相反,凡是原子作有序、有规则排列的,称为晶体。绝大多数金属和合金都属于金属晶体。

晶体与非晶体相比,由于原子排列方式不同,它们的性能也有差异。晶体具有固定熔点,其性能呈各向异性,而非晶体则没有固定熔点,而且表现为各向同性。

2. 晶体结构的概念

晶体内部原子是按一定的几何规律排列的。为了便于理解,把原子看成是一个小球,则金属晶体就是由这些小球有规律地堆积而成的物体。

为了形象地描述晶体中原子排列的规律,可以将原子简化成一个点,用假想的线将这些点连接起来,就构成了有明显规律的空间格子。这种表示原子在晶体中排列规律的空间格架,叫做晶格。

晶格是由许多形状、大小相同的最小几何单元重复堆积而成的。能够完整地反应晶格特征的最小几何单元称为晶胞。

3. 金属晶格的类型

金属晶格的类型很多,但绝大多数(占85%)金属属于下面三种晶格。

1) 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 1-1 所示。它是一个立方体,原子位于立方体的八个顶角上和立方体的中心。属于这种晶格类型的金属有铬(Cr)、钒(V)、钨(W)、钼(Mo)及 α -铁(α -Fe)等金属。

2) 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 1-2 所示。它也是一个立方体,原子位于立方体的八个顶角上和立方体六个面的中心。属于这种晶格类型的金属有铝(Al)、铜(Cu)、铅(Pb)、镍(Ni)及 α -Fe 等金属。

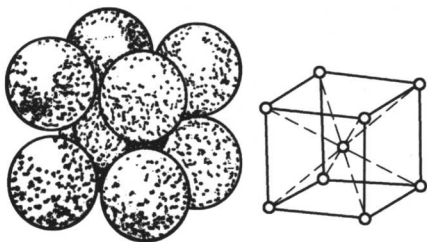


图 1-1 体心立方晶格晶胞

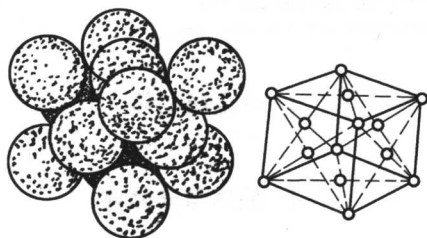


图 1-2 面心立方晶格晶胞

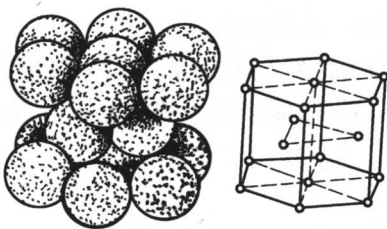


图 1-3 密排六方晶格晶胞

3) 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞如图 1-3 所示。它是一个正六方柱体,原子排列在柱体的每个角顶上和上下底面的中心,另外还有三个原子排列在柱体内。属于这种晶格类型的金属有镁(Mg)、锌(Zn)等金属。

4. 金属的同素异构转变

有些金属在固态下,存在着两种以上的晶格形式。这类金属在冷却或加热过程中,随着温度的变化,其晶格形式也要发生变化。

金属在固态下随温度的改变而由一种晶格转变为另一种晶格的现象,称为同素异构转变。具有同素异构的金属有铁、钴、钛、锡、锰等。以不同晶格形式存在的同一金属元素的晶体称为该金属的同素异构体。同一金属的同素异构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。

5. 晶粒大小对金属力学性能的影响

金属的晶粒大小对金属的力学性能有重要的影响。一般地说,在室温下,细晶粒金属具有较高的强度和韧性。

(二)铁碳合金

合金是一种金属元素与其他金属元素或非金属元素通过熔炼或其他方法结合成的具有金属特性的物质。组成合金的最基本的独立物质称为组元。在合金中具有相同的物理和化学性能并与其他部分以界面分开的一种物质部分称为相。数量、形态、大小和分布方式不同的各种相组成了合金的组织。

1. 合金的组织

在液态时,大多数合金的组元都能相互溶解,形成一个均匀的液溶体。在结晶时,由于各个组元之间相互作用的不同,在固态时合金中可能出现固溶体、金属化合物或混合物。

1) 固溶体

固溶体是合金中一组元溶解其他组元,或组元之间相互溶解而形成的一种均匀固相。其所溶解的物质,即使在显微镜下也不能区别开来。合金中与固溶体晶格相同的组元为溶剂,在合金中含量较多;另一种组元为溶质,含量较少。

根据溶质原子在溶剂晶格中所处位置不同,固溶体可分为间隙固溶体和置换固溶体。间隙固溶体是指溶质原子分布于溶剂晶格间隙之中而形成的固溶体;置换固溶体是指溶质原子置换了溶剂晶格中某些结点位置上的溶剂原子而形成的固溶体。

固溶体中由于溶质原子的溶入而使晶格发生畸变,使金属的强度、硬度提高,塑性、韧性下降的现象称为固溶强化,它是提高金属材料力学性能的重要途径之一。

2) 金属化合物

合金组元间发生相互作用而形成一种具有金属特性的物质称为金属化合物。金属化合物的组成一般可用化学分子式来表示。金属化合物的晶格类型和性能完全不同于任一组元。一般特点是熔点高、硬度高、脆性大。合金中含有金属化合物后,其强度、硬度和耐磨性有所提高,而塑性和韧性则降低,它是合金的重要组成相。

3) 混合物

两种或两种以上的相按一定质量分数组成的物质称为混合物,混合物中各组成部分可以是纯金属、固溶体或化合物各自的混合,也可以是它们之间的混合。混合物中各组成部分仍保持自己原来的晶格,在显微镜下可以明显辨别出各组成部分的形貌。混合物的性能取决于各组成相的性能以及它们分布的形态、数量及大小。

2. 铁碳合金的相和组织

在铁碳合金中,碳可以与铁组成化合物,也可以形成固溶体,或者形成混合物。

1) 铁素体

碳溶解在 α -Fe中形成的间隙固溶体用符号F来表示,其晶胞如图1-4所示。由于 α -Fe是体心立方晶格,晶格间隙较小,所以碳在 α -Fe中的溶解度较低。在727℃时, α -Fe中的最大溶碳量仅为0.0218%,随着温度的降低, α -Fe中的溶碳量逐渐减少,在室温时碳在 α -Fe中的溶解度几乎为零。由于铁素体的含碳量低,所以铁素体具有良好的塑性和韧性,而强度和硬度却较低。

2) 奥氏体

碳溶解在 γ -Fe中所形成的间隙固溶体称为奥氏体,常用符号A来表示,图1-5为奥氏体的晶胞示意图。由于 γ -Fe是面心立方晶格,晶格的间隙较大,故奥氏体的溶碳能力较强。在1148℃时溶碳量可达2.11%,随着温度的下降,溶解度逐渐减小,在727℃时溶碳为0.77%。奥氏体的强度和硬度不高,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。

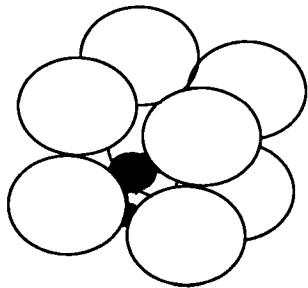


图1-4 铁素体的晶胞示意图

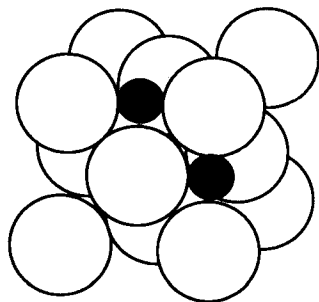


图1-5 奥氏体的晶胞示意图

3) 渗碳体

渗碳体为含碳量 6.69% 的铁与碳的金属化合物,其分子式为 Fe_3C ,图 1-6 为渗碳体的晶胞示意图,它与铁和碳的晶体结构完全不同。按计算,其熔点为 1227°C ,不发生同素异构转变。渗碳体的硬度很高,塑性很差,是一种硬而脆的组织。在钢中,渗碳体以不同形态和大小晶体出现于组织中,对钢的力学性能影响较大。

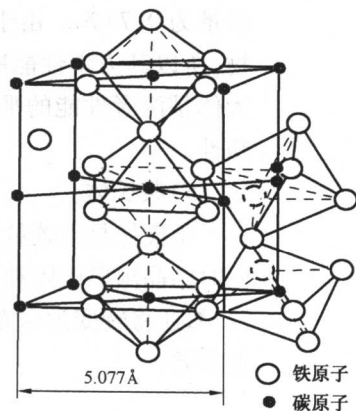
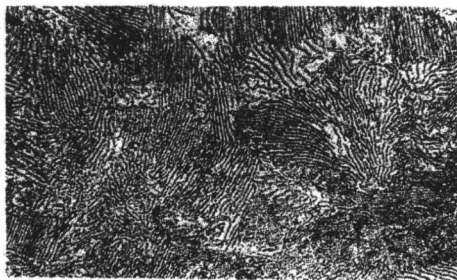


图 1-6 渗碳体(Fe_3C)的晶胞示意图

$1\text{Å} = 0.1\text{nm}$

4) 珠光体

珠光体是铁素体和渗碳体的机械混合物,用符号 P 来表示,它是渗碳体和铁素体片层相间交替排列而成的混合物,图 1-7 为珠光体的显微组织。在缓慢冷却条件下,珠光体的含



(a)



(b)

图 1-7 珠光体的显微组织

(a) 光学显微镜观察组织; (b) 电子显微镜观察组织

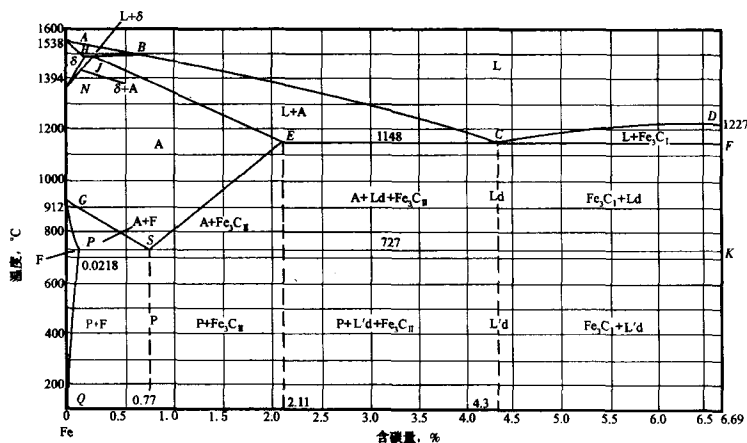
碳量为 0.77%。由于珠光体是由硬的渗碳体和软的铁素体组成的混合物,所以其力学性能决定于铁素体和渗碳体的性质以及它们各自的特点,大体是两者性能的平均值,故珠光体的强度较高,硬度适中,具有一定的塑性。

5) 莱氏体

莱氏体是含碳量为 4.3% 的合金, 这种合金在 1148℃ 时可以从液相中同时结晶出奥氏体和莱氏体的混合物, 用符号 L_d 来表示。由于奥氏体在 727℃ 还将转变为珠光体, 所以在室温下的莱氏体和渗碳体相似, 硬度高, 塑性很差。

3. Fe - Fe₃C 相图

相图是合金的成分、温度和组织之间关系的一个简明图表。 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图表示在缓慢冷却(或缓慢加热)的条件下,不同成分的铁碳合金的状态或组织随温度变化的图形,如图1-8所示。

图 1-8 Fe-Fe₃C 相图

1) 合金相图的组成

在铁碳合金中,铁和碳可以形成一系列的化合物,如 Fe_3C 、 Fe_2C 、 FeC 等,如图 1-9 所示。

工业用铁碳合金的含碳量一般不超过 5%。因此我们研究的铁碳合金只限于 Fe-Fe₃C (含碳量为 6.69%) 范围内 (见图中阴影部分)。故铁碳合金相图也可以认为是 Fe-Fe₃C 相图。图 1-9 中纵坐标为温度, 横坐标为