

焊接

主编 豆海 王编 钱任印

山西科学技术出版社

技术手册

焊接技术手册

安 珣 主审

钱在中 主编

参加编写人员

高慧玲 钱 红 彭传珽

钱 庆 冀慧芬

江苏工业学院图书馆
藏书章

山西科学技术出版社

手册内容简介

本手册是一本实用性强、通俗易懂、图文并茂的焊接专业工具书，全书共分四编：

第一编以焊接接头为中心，介绍了与焊接有关的必备基础知识。

第二编提出了气割性概念，分析了热切割对割口质量的影响，并重点介绍了数控气割技术及选择数控气割机时应考虑的主要问题，介绍了数控气割所必需的零件计算机流程和套料的概念和相应的实例。

第三编介绍了国内一般工厂中常用的熔焊方法的基本原理，国产焊接设备及焊材的型号与技术数据，每种焊接方法的工艺参数和操作要领。重点介绍了国内重点推广的优质、高效、低耗的气体保护焊和双丝窄间隙埋弧焊。

第四编介绍了工厂常用金属材料的焊接性、焊接方法、工艺措施及应用实例。其中绝大部分内容都是作者的亲身经历，既是技术总结，又具有一定的理论分析，更主要的是其内容是成功的经验。

需要特别强调是：本手册具有一定的理论深度和较多的应用实例，其着眼点是解决生产中的实际问题，重点介绍了国内最新的焊接标准。此书主要供从事焊接生产的工程技术人员、焊接技师及焊工使用，也可供焊接专业教师、学生及有关人员参考。

编者的话

解放后,我国的焊接事业发展很快,特别是改革开放以来,焊接事业更加蓬勃兴旺,目睹这一切改革成果,早就想编写一本焊接工作者自己的书,直到退休后,有了充足的时间和精力,在老朋友的支持下,才得以实现我们的共同心愿。

本手册的主要作者都是在生产一线工作了三十多年,可以说是把毕生精力都奉献给了我国的焊接事业,我们在生产一线参加过顶班劳动,亲手焊接过一些重要产品;我们参加过新产品的科研试验、工艺编制、生产服务及技术攻关等生产全过程;我们还参加了教学工作,培养出一批技校、中专和大学的焊接毕业生,所以比较了解生产一线焊接工作者的需要,因此,本手册突出了实用性、先进性和科学性。

近年来,我国一些大型企业与美、法、日等技术先进国家合作,引进了不少新的焊接设备、新工艺、新材料、新技术,促进了我国焊接技术的飞跃发展,使我国焊接结构的制造水平接近或达到国际先进水平。我们有幸参加了和一些国家合作的一些重大产品焊接生产的全过程,先后与德、美、日等国公司合作,生产了 $\varnothing 140\text{mm}$ 设备管轧机, 16m^3 挖掘机,大吨位桥式冶金起重机,大吨位高扬程履带式起重机,锻压设备,加压气体炉等大型设备。在消化引进国外先进焊接技术过程中,作者积累了丰富的经验。与此同时,还与国内哈尔滨焊接研究所、郑州机械研究所、清华大学等单位进行了有关新材料的焊接性试验,促进了合作产品的国产化过程,提高了国产化率,以上这些条件,为编写本手册提供了充实的素材。因此,本手册的内容能够反映我国当前焊接技术的一些基本情况。

本手册介绍的内容都是生产一线焊接工作者必需掌握的基础知识,是最常用的焊接方法和金属材料的焊接技术,提出了一些新颖的观点和成功的经验。全书共分四编,简介如下:

第一编 焊接基础知识。本编根据现代焊接理论,介绍了焊接接头的形成过程,可能产生的缺陷、接头的构成、组织特点与薄弱环节。众所周知:焊接接头是组成一切焊接结构的基本单位,焊接接头的质量是决定产品质量的重要因素,作者用全面质量管理的观点,阐述了控制接头质量的措施和检验方法。重点介绍了焊接性的概念、工厂中最常用的焊接性试验方法、焊接 CCT 图和冷却时间线算图的使用方法及应用实例。以焊接接头为核心,讨论生产中的共性问题,以焊接接头为核心来介绍有关理论知识,是本手册的特点之一。

第二编 热切割。主要介绍焊接结构生产中的主要备料方法。作者引入了气割性概念。按碳当量对常用钢材的气割性进行了分类,指出了不同类型钢材进行气割时应注意的问题,不同类型零件气割时的操作方法,重点介绍了精密割嘴的资料和数控气割。数控气割的应用是焊接生产的重大革命,不仅缩短了备料周期,提高了零件精度,而且节约了装配时间,提高了装配精度,为提高产品焊接质量,减小焊接变形创造了有利条件。本手册提供了应用数控气割的经验,提出了数控气割机选型中需考虑的问题,介绍了数控气割所必需的零件计算机编程和套料(排料)的概念和相应的实例。

第三编 常用熔焊方法。介绍了每种焊接方法的工作原理;设备的型号和技术参数;填充材料和焊接工艺参数的选用原则;不同形式和不同位置焊缝的操作要点及预防焊接缺陷的措

施,重点介绍了优质、高效、低耗的焊接方法,如气体保护焊和双丝窄间隙埋弧焊,先进的单面焊双面成形操作技术要点。

第四编 金属材料的焊接。介绍了工厂中常用金属材料的焊接性;焊接方法和焊材选用原则;焊接工艺措施及应用实例。实例的绝大部分都是作者的亲身经历,少数是作者精选出来的,都已成功地用于生产实践中,可供读者参考使用。

本手册引用的是1996年焊接标准汇编中最新的标准资料,还提供了常用焊接标准目录和常用标准等参考资料。

本手册贯彻了一切从实际出发,一切为了解决实际问题的原则,避免过多地讨论深奥的理论问题。焊接设备的工作原理和线路图的介绍,讲述的都是焊接生产中碰到的问题和处理方法,是适于推广的生产经验,相信会得到同行们的喜爱。

编一本手册的工作量很大,涉及的问题很多,本手册仅从作者有限的工作经历对一些问题进行了说明,由于时间仓促,篇幅有限,作者的水平不高,见识不广,只能起到抛砖引玉的作用,缺点和错误在所难免,望读者、专家们不吝赐教。

参加编写本手册的人员名单如下:

主审:安珣。教授级高级焊接工程师,曾任全国焊接学会和焊接协会副理事长,太原重型机械集团有限公司主管焊接的副总工程师。

主编:钱在中。高级焊接工程师,曾任中国焊接协会培训工作委员会主管。编写焊工培训教材的副秘书长、山西省焊接学会副秘书长。

高慧玲。高级焊接工程师,曾任太原重型机械集团有限公司焊接试验室主任,压力容器焊接试验责任工程师。

彭传琰。高级焊接工程师。

钱红:副教授,曾在北京工业大学焊接教研室工作,讲授焊接专业理论课,并从事药芯焊丝开发研究工作。

此外,钱庆焊接工程师、冀慧芬焊接工程师在我们的指导下,也参加了部分编写、绘图和校对工作。

编者

目 录

第一编 焊接基础知识

第一章 焊接方法的分类与焊接电

弧 (1)

第一节 焊接的定义及特点 (1)

一、焊接定义 (1)

二、焊接的优点 (2)

三、焊接的特点 (2)

第二节 焊接方法分类 (3)

一、按工艺特点分类 (3)

二、按焊接能源分类 (4)

三、焊接能源简介 (4)

第三节 焊接电弧 (6)

一、焊接电弧的产生、结构及 温度 (6)

二、电弧的静特性 (8)

三、电弧力 (9)

四、电弧极性及其应用 (10)

五、电弧介质 (12)

六、电弧偏吹 (14)

第二章 焊接接头 (16)

第一节 焊接接头的结构 (16)

一、焊缝 (16)

二、熔合区 (18)

三、热影响区 (HAZ) (18)

第二节 焊接的加热与传导 (19)

一、焊接过程的热效率 (19)

二、焊接线能量 (焊接热输入) (20)

三、焊接温度场 (20)

四、焊接热循环 (22)

第三节 焊缝金属的组织 and 性能 (26)

一、焊接熔池的一次结晶 (26)

二、焊缝金属的二次结晶 (31)

第四节 熔合区的性能 (35)

一、熔合区的构成 (35)

二、熔合区的宽度 (35)

三、熔合区的特征 (35)

第五节 焊接热影响区的组织和 性能 (38)

一、焊接过程的特点 (38)

二、焊接加热时的组织转变 (39)

三、焊接冷却时的组织转变 (40)

四、焊接热影响区的组织和性 能 (40)

五、焊接 CCT 图和冷却时间线 算图 (49)

第六节 焊缝符号的表示方法 (60)

一、焊缝符号的组成 (60)

二、焊缝尺寸符号及标注位置 (64)

三、焊缝符号标注应用举例 (65)

第三章 焊接裂纹 (69)

第一节 焊接裂纹的分类 (69)

一、热裂纹 (69)

二、再热裂纹 (69)

三、冷裂纹 (69)

四、层状撕裂 (71)

五、应力腐蚀裂纹 (71)

第二节 焊接热裂纹 (71)

一、结晶裂纹 (71)

二、近缝区液化裂纹 (75)

第三节 焊接冷裂纹 (77)

一、冷裂纹的特征 (77)

二、冷裂纹的分类 (78)

三、冷裂纹的形成机理 (78)

四、防止冷裂纹的措施 (81)

第四节 再热裂纹 (83)

一、再热裂纹的主要特征 (83)

二、再热裂纹的产生机理 (84)

三、影响再热裂纹的因素及防止措施..... (85)	第六章 焊接缺陷和检验方法 (143)
第五节 层状撕裂 (86)	第一节 焊接缺陷 (143)
一、层状撕裂的特征、分类及危害..... (86)	一、焊接缺陷的定义和分类..... (143)
二、层状撕裂的形成机理..... (87)	二、焊缝的形状缺陷..... (143)
三、影响层状撕裂的因素..... (88)	三、气孔、夹渣和夹杂..... (143)
四、防止层状撕裂的措施..... (88)	四、未焊透与未熔合..... (144)
第四章 金属焊接性 (90)	五、裂纹..... (144)
第一节 焊接性概念 (90)	第二节 焊接检验 (147)
一、工艺焊接性..... (90)	一、概述..... (147)
二、使用焊接性..... (90)	二、破坏性检验..... (151)
三、影响焊接性的因素..... (90)	三、非破坏性检验..... (153)
第二节 焊接性试验方法 (92)	第二编 热切割
一、工艺焊接性试验方法..... (92)	第一章 气割 (159)
二、使用焊接性试验方法..... (98)	第一节 概述 (159)
第五章 焊接变形与应力 (105)	一、气体火焰..... (159)
第一节 焊接变形及焊接应力产生的原因 (105)	二、气焊..... (160)
第二节 焊接残余变形 (107)	三、气割..... (161)
第三节 焊接残余变形的影响因素及估算 (108)	第二节 气割气焊用材料 (161)
一、残余变形的估算..... (108)	一、气体..... (161)
二、影响焊接结构变形的因素..... (113)	二、焊丝与熔剂..... (164)
第四节 控制残余变形的预防措施 (117)	第三节 气焊气割用设备及工具 (166)
一、设计措施..... (117)	一、气瓶及瓶阀..... (166)
二、工艺措施..... (119)	二、液氧罐..... (171)
第五节 焊接残余变形的矫正 (124)	三、减压器..... (172)
一、机械法矫正焊接残余变形..... (125)	四、气焊焊炬..... (175)
二、火焰矫正残余变形..... (125)	五、割炬..... (177)
第六节 焊接残余应力 (132)	六、半自动气割机..... (187)
一、残余应力的分布..... (132)	七、氧气站与乙炔站..... (188)
二、残余应力的影响..... (134)	八、火焰加热器..... (190)
第七节 减小焊接残余内应力的措施 (135)	九、回火防止器..... (190)
一、设计措施..... (135)	十、气焊、气割用辅助工具..... (192)
二、工艺措施..... (138)	第四节 气割工艺 (193)
三、焊后消除残余应力的方法..... (140)	一、金属的气割性..... (193)
	二、气割的工艺参数..... (200)
	三、手工气割工艺及一般操作技能..... (203)
	四、半自动气割..... (212)

五、气割面的质量要求和气割件的精度	(214)	三、光电跟踪切割的工艺特点 ...	(259)
六、回火及预防措施	(216)	四、四合一光电、数控切割机	(260)
第五节 气割的特殊方法	(217)	第四节 数控切割	(261)
一、氧-丙烷气割	(217)	一、数控切割的优点	(261)
二、表面气割	(220)	二、数控切割机的构成及功能	(262)
三、振动气割	(221)	三、国内生产的数控切割机的型号、规格和主要技术参数	(267)
四、氧熔剂气割	(221)	四、数控切割机选型考虑要点 ...	(268)
五、氧矛切割与穿孔	(223)	五、数控切割程序编制系统	(269)
第二章 其它热切割方法	(225)	六、数控切割工艺要点	(271)
第一节 等离子弧切割	(225)	第三编 常用熔焊方法	
一、概述	(225)	第一章 手工电弧焊	(275)
二、等离子切割用材料	(227)	第一节 概述	(275)
三、等离子弧切割用设备	(228)	一、手工电弧焊的工作原理及优缺点	(275)
四、等离子弧切割工艺	(233)	二、焊接电弧	(276)
五、空气等离子切割	(240)	三、直流电弧的偏吹	(277)
六、水再压缩等离子弧切割	(244)	第二节 电焊条	(277)
七、水下等离子弧切割	(246)	一、电焊条的构造与用途	(277)
八、等离子弧气刨	(247)	二、焊条的分类	(281)
第二节 碳弧气刨与碳弧气割	(248)	三、焊条的型号	(283)
一、概述	(248)	第三节 手工电弧焊设备与工具 ...	(316)
二、碳弧气刨的设备、工具及材料	(249)	一、对手工电弧焊电源的基本要求	(316)
三、碳弧气刨工艺	(250)	二、手工电弧焊机的型号及技术特性	(317)
四、碳弧切割	(254)	三、常用手工电弧焊机	(318)
第三章 数控切割及其它自动化切割	(255)	四、弧焊电源的正确使用与维护	(330)
第一节 概述	(255)	五、常用工具	(335)
第二节 机械仿形气割	(255)	第四节 焊接工艺	(339)
一、仿形气割的工作原理和机构	(255)	一、接头及坡口形式与焊接位置	(339)
二、适用范围	(256)	二、焊接工艺参数的选择	(340)
三、CG ₂ -150 仿形气割机技术性能	(256)	三、基本操作技术	(344)
四、仿形样板制作注意事项	(257)	四、单面焊双面成形操作技术 ...	(348)
第三节 光电跟踪火焰切割	(257)		
一、光电跟踪切割机的装置及功能	(257)		
二、光电跟踪切割机的技术性能	(259)		

五、各种位置焊接的操作要点 ... (351)	三、熔化极气体保护焊的熔滴过渡形式 (419)
第五节 手工电弧焊的特殊方法 ... (368)	四、CO ₂ 气体保护焊 (CO ₂ 焊) (428)
一、躺焊 (368)	五、熔化极惰性气体保护焊 (MIG 焊) (431)
二、重力焊 (368)	六、混合气体保护焊 (MAG 焊) (432)
第二章 不熔化极惰性气体保护焊 (371)	第二节 焊接材料 (434)
第一节 概述 (371)	一、保护气体 (434)
一、工作原理及应用范围 (371)	二、实芯焊丝 (436)
二、电弧的静特性 (372)	三、药芯焊丝 (441)
第二节 焊接材料 (372)	第三节 焊接设备 (450)
一、填充金属 (372)	一、设备的基本配置 (450)
二、电极材料 (375)	二、熔化极气体保护焊电源 (452)
三、保护气体 (377)	三、送丝机构 (453)
第三节 焊接设备 (380)	四、焊枪 (455)
一、TIG 焊设备的基本知识 (380)	五、供气系统 (459)
二、电源与控制设备 (384)	六、焊机的使用与维护 (459)
三、焊炬 (391)	第四节 焊接工艺 (463)
四、氩气流量调节器 (俗称氩气表) (394)	一、坡口形式 (463)
五、钨极磨尖机 (395)	二、焊接工艺参数的选择 (463)
六、TIG 焊设备的保养和故障处理 (395)	三、基本操作技术 (471)
第四节 焊接工艺 (396)	四、单面焊双面成形的操作方 (475)
一、常用接头与坡口形式 (396)	五、各种位置焊接的操作要领 ... (476)
二、焊前清理 (397)	六、常见故障和缺陷 (482)
三、焊接工艺参数 (398)	第五节 药芯焊丝电弧焊 (483)
四、基本操作手法 (404)	一、工作原理及应用范围 (483)
五、各种焊接位置的操作要点 ... (407)	二、熔滴过渡及冶金特性 (485)
六、常见缺陷产生原因与预防措施 (412)	三、药芯焊丝电弧焊设备的特 (488)
第五节 特种 TIG 焊方法 (412)	四、焊接工艺 (489)
一、TIG 点焊 (412)	第四章 埋弧焊与电渣焊 (491)
二、脉冲 TIG 焊 (413)	第一节 概述 (491)
三、预热焊丝的 TIG 焊 (417)	一、埋弧焊的工作原理 (491)
四、多电极 TIG 焊 (418)	二、埋弧焊的优缺点及应用范 (491)
五、钨极正极性氦弧焊 (418)	三、埋弧焊的冶金特点 (492)
第三章 熔化极气体保护焊 (419)	四、埋弧焊的特殊方法 (495)
第一节 概述 (419)	
一、工作原理及应用范围 (419)	
二、电弧的静特性 (419)	

第二节 焊接材料	(495)	五、脉冲等离子弧焊接	(599)
一、焊丝	(495)	第二节 电子束焊	(601)
二、焊剂	(498)	一、电子束焊工作原理及应用范围	(601)
第三节 埋弧焊设备	(509)	二、真空电子束焊机	(603)
一、埋弧焊的自动调节系统	(509)	三、电子束焊工艺	(603)
二、埋弧焊机的型号与技术特性	(511)	四、安全防护	(604)
三、MZJ1000 型埋弧焊机 (MZ-1000 的换代产品)	(513)	第三节 激光焊接	(604)
四、MZ1—1000 型埋弧焊机	(517)	一、激光焊的工作原理及应用范围	(604)
五、焊机的维护及故障排除	(520)	二、激光焊机	(606)
六、常用辅助设备	(521)	三、激光焊工艺	(606)
第四节 焊接工艺	(527)	第四节 气焊	(607)
一、焊前准备	(527)	一、气焊的冶金特点	(608)
二、焊接工艺参数的选择	(527)	二、气焊工艺	(610)
三、常用接头的埋弧焊工艺	(534)	三、各种位置的操作要点	(614)
四、埋弧焊生产中的几个重要问题	(541)	第四编 金属材料的焊接	
五、埋弧焊常见缺陷产生原因及预防措施	(543)	第一章 碳钢的焊接	(621)
第五节 特种埋弧焊技术	(545)	第一节 碳钢的分类、成分及性能	(621)
一、带极埋弧焊	(545)	一、碳钢的分类	(621)
二、窄间隙埋弧焊	(546)	二、碳钢牌号表示方法	(621)
第六节 电渣焊	(552)	三、常用碳钢的化学成分和力学性能	(622)
一、概述	(552)	第二节 碳钢的焊接性	(626)
二、电渣焊用材料	(555)	一、碳钢的冷裂敏感性	(627)
三、电渣焊设备	(556)	二、碳钢的热裂纹敏感性	(628)
四、丝极电渣焊工艺	(559)	三、碳钢的层状撕裂敏感性	(629)
五、各种金属的电渣焊	(565)	第三节 低碳钢的焊接	(629)
六、电渣堆焊与补焊	(579)	一、低碳钢的焊接性	(629)
七、电渣焊的特殊应用	(584)	二、低碳钢的焊接工艺特点	(629)
第五章 其它熔焊方法	(590)	三、低碳钢焊接材料的选用	(631)
第一节 等离子弧焊接	(590)	第四节 中碳钢的焊接	(633)
一、等离子弧焊接工作原理及应用范围	(590)	一、中碳钢的焊接性	(633)
二、等离子弧焊设备	(591)	二、中碳钢的焊接工艺	(634)
三、大电流等离子弧焊接工艺	(594)	三、焊接材料的选用	(635)
四、微束等离子弧焊接工艺	(599)	第五节 高碳钢的焊接	(636)
		一、高碳钢的焊接性	(636)

第四编 金属材料的焊接

第一章 碳钢的焊接	(621)
第一节 碳钢的分类、成分及性能	(621)
一、碳钢的分类	(621)
二、碳钢牌号表示方法	(621)
三、常用碳钢的化学成分和力学性能	(622)
第二节 碳钢的焊接性	(626)
一、碳钢的冷裂敏感性	(627)
二、碳钢的热裂纹敏感性	(628)
三、碳钢的层状撕裂敏感性	(629)
第三节 低碳钢的焊接	(629)
一、低碳钢的焊接性	(629)
二、低碳钢的焊接工艺特点	(629)
三、低碳钢焊接材料的选用	(631)
第四节 中碳钢的焊接	(633)
一、中碳钢的焊接性	(633)
二、中碳钢的焊接工艺	(634)
三、焊接材料的选用	(635)
第五节 高碳钢的焊接	(636)
一、高碳钢的焊接性	(636)

二、焊接材料的选择	(636)	焊接实例	(678)
三、高碳钢焊接工艺要点	(636)	第三章 不锈钢的焊接	(682)
第六节 碳钢焊接实例	(637)	第一节 不锈钢的分类、化学成分及性能	(682)
一、22g 钢高压容器环缝焊接 ...	(637)	一、不锈钢的分类及化学成分 ...	(682)
二、大型锤头的 CO ₂ 气体保护焊修复	(638)	二、不锈钢的物理性能和力学性能	(684)
三、起重机主梁道轨的焊接	(640)	三、不锈钢的耐腐蚀性能	(687)
第二章 低合金钢的焊接	(642)	第二节 奥氏体不锈钢的焊接	(690)
第一节 低合金钢的分类及性能 ...	(642)	一、奥氏体不锈钢的焊接性	(690)
一、高强钢 (强度用钢)	(642)	二、奥氏体不锈钢焊接工艺	(693)
二、低温用钢	(642)	第三节 马氏体不锈钢的焊接	(699)
三、低合金耐腐蚀钢	(642)	一、马氏体不锈钢的焊接性	(699)
四、镀层钢	(642)	二、马氏体不锈钢的焊接工艺 ...	(699)
第二节 热轧、正火钢的焊接	(642)	第四节 铁素体不锈钢的焊接	(701)
一、热轧、正火钢的成分和性能	(642)	一、铁素体不锈钢的分类、特点和用途	(701)
二、热轧、正火钢的焊接性	(645)	二、高铬铁素体不锈钢的焊接性	(702)
三、热轧、正火钢的焊接工艺 ...	(646)	三、高铬铁素体不锈钢的焊接工艺	(703)
第三节 低碳调质钢的焊接	(652)	第五节 铁素体-奥氏体双相不锈钢的焊接	(705)
一、低碳调质钢的成分和性能 ...	(652)	一、铁素体-奥氏体双相不锈钢的特性	(705)
二、低碳调质钢的焊接性	(655)	二、铁素体-奥氏体双相不锈钢的焊接工艺	(707)
三、低碳调质钢的焊接工艺	(656)	第六节 焊接工程实例	(709)
第四节 中碳调质钢的焊接	(658)	一、不锈钢容器的焊接生产	(709)
一、中碳调质钢的成分和性能 ...	(658)	二、蒸煮锅的焊接	(711)
二、中碳调质钢的焊接性	(658)	三、煤仓漏斗 4Cr13 衬板的焊接	(712)
三、中碳调质钢的焊接工艺	(660)	第四章 耐热钢的焊接	(714)
第五节 低合金钢焊接工程实例 ...	(663)	第一节 耐热钢的种类	(714)
一、16Mn 钢的焊接实例	(663)	一、耐热钢的分类	(714)
二、Ø2.8m 碎煤加压机气化炉膨胀冷凝器焊接工艺	(665)	二、耐热钢的许用温度	(714)
三、20MnMoNb 钢高压蓄势器的双丝窄间隙埋弧焊	(668)	第二节 低合金耐热钢的焊接	(715)
四、CC1000 履带起重机制造中高强度细晶粒钢 StE460 及 StE690 的焊接	(670)	一、低合金耐热钢的化学成分和力学性能	(715)
五、16m ³ 挖掘机主体结构低合金高强度钢的焊接	(673)	二、低合金耐热钢的焊接性	(715)
六、大直径钻杆中碳调质钢的焊接	(675)		
七、30CrMnSiA 钢焊接工艺分析及工程			

三、低合金耐热钢的焊接工艺 … (717)	二、抛丸室焊接结构制造工艺 … (759)
四、低合金耐热钢焊接接头的性能 …… (722)	三、合金钢铲斗齿与奥氏体锰钢唇缘的焊接 …… (760)
第三节 中合金耐热钢的焊接 …… (724)	第六章 钢的铸锻件补焊 …… (762)
一、中合金耐热钢的化学成分和力学性能 …… (724)	第一节 铸锻件的成分与性能 …… (762)
二、中合金耐热钢的焊接性 …… (724)	第二节 铸锻件的焊接性分析 …… (769)
三、中合金耐热钢的焊接工艺 … (726)	一、铸锻件的焊接性 …… (769)
四、中合金耐热钢焊接接头的性能 …… (729)	二、铸锻件焊接性的评定方法 … (770)
第四节 高合金耐热钢的焊接 …… (730)	第三节 补焊工艺 …… (773)
一、高合金耐热钢的化学成分和力学性能 …… (730)	一、焊接方法和焊接材料的选择 …… (773)
二、高合金耐热钢的焊接性 …… (734)	二、焊前准备 …… (774)
三、高合金耐热钢的焊接工艺 … (737)	三、焊接工艺参数和焊接线能量的选择 …… (776)
四、高合金耐热钢焊接接头的性能 …… (741)	四、补焊操作方法 …… (777)
第五章 奥氏体高锰钢的焊接 …… (744)	五、焊后热处理 …… (777)
第一节 高锰钢的化学成分和性能 …… (744)	第四节 铸锻件补焊实例 …… (778)
一、高锰钢的应用范围 …… (744)	一、中碳钢的补焊工艺 …… (778)
二、高锰钢的化学成分及其对组织和性能的影响 …… (744)	二、28CrMnMo 大型齿轮缺陷的修复 …… (783)
三、高锰钢的热处理和性能 …… (747)	第七章 铸铁的焊接 …… (785)
第二节 高锰钢的焊接性 …… (749)	第一节 铸铁的种类和性能 …… (785)
一、焊接热影响区的脆化 …… (750)	一、铸铁的组成相 …… (785)
二、焊接热裂纹 …… (750)	二、铸铁的基体组织 …… (786)
三、高锰钢铸件质量对焊接性的影响 …… (751)	三、石墨与基体对铸铁性能的影响 …… (786)
四、焊接工艺因素对高锰钢堆焊质量的影响 …… (751)	四、影响铸铁组织和性能的主要因素 …… (787)
五、高锰钢气体保护焊热影响区组织和性能 …… (752)	五、铸铁的种类和性能 …… (788)
第三节 高锰钢的焊接与切割工艺 …… (753)	第二节 铸铁的焊接性 …… (790)
一、高锰钢的焊接 …… (753)	一、灰口铸铁的焊接性 …… (790)
二、高锰钢铸件的切割 …… (755)	二、球墨铸铁的焊接性 …… (793)
第四节 高锰钢的焊接工程实例 … (756)	三、可锻铸铁的焊接性 …… (794)
一、大型挖掘机铲斗铸-焊结构焊接工艺 …… (756)	四、蠕墨铸铁的焊接性 …… (794)
	五、白口铸铁的焊接性 …… (794)
	第三节 铸铁的焊接方法及焊接材料 …… (794)
	一、铸铁的焊接方法 …… (794)
	二、铸铁的焊接材料 …… (796)
	第四节 灰口铸铁的焊接工艺 …… (800)

一、电弧热焊和半热焊焊接工艺	(800)	五、铝及铝合金热处理的有关问题	(824)
二、电弧冷焊焊接工艺	(802)	第二节 铝及铝合金的焊接特点及焊接性分析	(825)
三、氧-乙炔焰气焊工艺	(806)	一、铝及铝合金焊接的共性特点	(825)
四、灰口铸铁钎焊工艺	(807)	二、铝及铝合金焊接性分析	(826)
第五节 球墨铸铁的焊接工艺	(809)	第三节 焊接铝和铝合金的方法	(828)
一、同质焊缝的熔焊工艺	(809)	一、气焊	(828)
二、异质焊缝电弧冷焊工艺	(811)	二、手工电弧焊	(828)
第六节 可锻铸铁的焊接工艺	(812)	三、钨极氩弧焊	(828)
一、黄铜钎料钎焊	(812)	四、脉冲钨极氩弧焊	(828)
二、电弧焊工艺	(812)	五、熔化极氩弧焊	(828)
三、气焊工艺	(812)	六、等离子弧焊	(828)
第七节 蠕墨铸铁的焊接工艺	(812)	七、真空电子束焊	(829)
一、蠕墨铸铁的气焊工艺	(812)	八、激光焊	(829)
二、同质焊缝的电弧冷焊工艺	(812)	第四节 焊接材料	(829)
三、异质焊缝的电弧冷焊工艺	(812)	第五节 焊前准备	(830)
第八节 白口铸铁的焊接工艺	(813)	一、化学清洗	(830)
一、新型白口铸铁电弧冷焊焊条 (BT-1, BT-2)	(813)	二、机械清理	(831)
二、白口铸铁轧辊补焊工艺	(813)	第六节 铝及铝合金的气焊	(831)
第九节 变质铸铁的焊补工艺	(814)	一、气焊的特点	(831)
一、变质铸铁焊补特性分析	(814)	二、气焊熔剂	(831)
二、变质铸铁焊补方法的选择	(815)	三、气焊接头形式及坡口	(832)
三、变质铸铁焊补工艺	(815)	四、气焊工艺	(833)
第十节 铸铁件焊补实例	(817)	第七节 铝及铝合金的氩弧焊	(835)
一、飞轮轮缘裂纹的气焊修复 (加热减应区气焊法)	(817)	一、钨极氩弧焊 (TIG 焊)	(835)
二、铸铁冲床床身采用镍基焊条冷焊修复	(817)	二、熔化极氩弧焊 (MIG)	(840)
三、球墨铸铁气缸的电弧补焊	(818)	第八节 焊接实例	(844)
四、汽车发动机铸铁排气管裂纹的焊补	(819)	一、产品结构	(844)
第八章 铝及铝合金焊接	(820)	二、工艺方案	(844)
第一节 概述	(820)	三、焊接工艺	(844)
一、铝及铝合金的化学和物理性能	(820)	第九章 铜及铜合金焊接	(846)
二、铝和铝合金的分类和化学成分	(820)	第一节 常用铜及铜合金成分及性能	(846)
三、常用铝合金的力学性能	(823)	一、紫铜	(846)
四、铝合金的合金化及其特性	(823)	二、黄铜	(847)
		三、青铜	(847)
		四、白铜	(848)
		第二节 铜和铜合金焊接性分析	(849)

一、铜及铜合金焊接的共性	(849)	第十章 钛和钛合金焊接	(878)
二、铜及铜合金焊接的个性	(851)	第一节 钛和钛合金的种类、成分和性能	(878)
第三节 焊接方法的选择	(852)	一、工业纯钛	(878)
第四节 焊接材料的选择	(853)	二、钛合金	(880)
一、焊丝	(853)	第二节 钛和钛合金的焊接性	(881)
二、焊剂	(854)	一、钛和钛合金焊接的共性问题	(881)
三、焊条	(855)	二、钛和钛合金焊接的个性问题	(884)
第五节 焊前预处理	(856)	第三节 焊接方法及焊接工艺	(885)
第六节 气焊工艺	(857)	一、焊前清理	(885)
一、焊接材料的选用	(857)	二、手工钨极氩弧焊工艺	(885)
二、焊接工艺参数的选择	(857)	三、脉冲钨极氩弧焊工艺	(890)
三、操作技术	(858)	四、熔化极氩弧焊 (MIG) 工艺	(890)
四、质量控制	(858)	五、等离子弧焊接工艺	(890)
第七节 碳弧焊工艺	(859)	第四节 焊接实例	(891)
第八节 手工电弧焊工艺	(860)	一、管、板结构焊接	(891)
一、焊条的选用	(860)	二、TC3 钛合金的焊接	(891)
二、预热温度的确定	(860)	第十一章 铅的焊接	(893)
三、焊接工艺参数的选择	(860)	第一节 概述	(893)
四、焊后处理	(860)	一、铅及铅合金的成分和性能	(893)
第九节 埋弧焊工艺	(861)	二、铅的焊接特点	(894)
一、焊接材料的选择	(861)	第二节 铅的焊接技术	(894)
二、焊前预热和焊接工艺参数的选择	(862)	一、焊接方法选择	(894)
第十节 钨极氩弧焊工艺	(864)	二、铅焊接器具	(895)
一、焊丝的选择	(864)	三、操作技术和焊接工艺	(896)
二、预热温度的选择	(865)	四、操作方法	(897)
三、焊接工艺参数的选择	(865)	第三节 焊接实例	(898)
第十一节 熔化极氩弧焊	(866)	第四节 质量检验和劳动防护措施	(899)
一、焊丝的选择	(867)	一、焊缝质量检验	(899)
二、焊接工艺参数的选择	(867)	二、安全与防护措施	(899)
三、坡口形式	(868)	第十二章 异种金属焊接	(901)
第十二节 焊接实例	(869)	第一节 概述	(901)
一、紫铜结晶器的熔化极氩弧焊	(869)	第二节 异种金属的焊接性	(902)
二、锡青铜铸件熔化极氩弧焊产生气孔原因浅析	(871)	一、异种金属焊接性分析	(902)
三、紫铜蒸出塔的焊接	(873)	二、异种金属焊接的特点	(904)
四、紫铜蒸馏锅的焊接	(875)	第三节 异种金属的焊接方法	(905)
五、磷青铜堆焊活塞的工艺选择	(876)		

一、熔焊	(905)	三、镍基合金堆焊金属的堆焊 ...	(952)
二、压焊	(905)	四、钴基堆焊合金的堆焊	(954)
三、熔焊-钎焊	(906)	五、铜基堆焊合金的堆焊	(956)
四、液相过渡焊 (TLP 法)	(906)	六、碳化钨堆焊合金的堆焊	(958)
第四节 异种钢的焊接	(906)	七、氧-乙炔焰喷熔自熔性合金 粉末	(961)
一、碳钢与奥氏体不锈 钢的焊接	(906)	第四节 堆焊合金的选择与应用	
二、碳钢与马氏体不锈 钢的焊接	(911)	实例	(965)
三、碳钢与铁素体不锈 钢的焊接	(912)	一、堆焊合金的选择	(965)
四、复合钢板的焊接	(912)	二、应用实例	(966)
第五节 钢与有色金属焊接	(918)	附 录	
一、钢与铝及其合金的焊接	(918)	附录一 焊接标准目录	(971)
二、钢与铜及其合金的焊接	(923)	附录二 硬度换算表	(977)
第六节 铜与铝的焊接	(929)	附表 2—1 钢铁硬度与强度对照	(977)
一、铜与铝的焊接性	(929)	附表 2—2 钢铁洛氏与肖氏 硬度对照	(982)
二、铜与铝的焊接工艺	(930)	附表 2—3 黄铜维氏、洛氏、布氏 硬度对照	(982)
第十三章 金属材料堆焊	(933)	附录三 国内外焊条、焊丝及焊剂牌 号对照表	(983)
第一节 概述	(933)	附录四 气焊、手工电弧焊及气体保 护焊焊缝坡口的基本形式与 尺寸	(987)
一、堆焊的定义及应用范围	(933)	附录五 埋弧焊焊缝坡口的基本形式 和尺寸	(993)
二、堆焊的主要工艺问题	(933)	附录六 金属熔化焊焊缝缺陷分类 及说明	(998)
第二节 堆焊合金的使用性能	(935)	附录七 常用焊接方法的英语缩写	(1006)
一、堆焊合金的耐磨性	(935)	参考文献	(1007)
二、堆焊合金的耐腐蚀性	(936)		
三、堆焊合金的耐冲击性	(937)		
四、堆焊合金的耐气蚀性	(937)		
五、堆焊合金的高温耐磨性及耐腐 蚀性	(937)		
第三节 堆焊合金与堆焊工艺	(938)		
一、堆焊合金的分类	(938)		
二、铁基堆焊合金的堆焊	(938)		

第一编

焊接基础知识

第一章 焊接方法的分类与焊接电弧

机械制造工业是国民经济的基础工业，它决定着整个国家的工业生产能力和水平。焊接技术则是机械制造工业中的关键技术之一。例如很多工业产品以及能源工程、海洋工程、航空航天工程、石油化工工程等，无不依靠机械制造工业提供装备。对于各种压力容器、核反应堆器件、宇航运载工具等产品，如不采用焊接技术，产品就不可能制造出来。随着近代科学技术的迅猛发展，对结构和材料的要求越来越高，如造船和海洋工程要求解决大面积拼板、大型立体框架结构自动焊及各种低合金高强钢的焊接问题；石油化学工业要求解决各种耐高温、耐低温及耐各种腐蚀性介质的压力容器焊接；航空航天工业中要求解决铝、钛等轻合金结构的焊接；重型机械工业中要求解决大截面构件的拼接；电子及精密仪表制造工业要求解决微型精密焊件的焊接。可见，现代工业及科学技术的发展促进了焊接技术的发展，同时为焊接技术的发展提供了广阔的空间天地。

第一节 焊接的定义及特点

一、焊接定义

焊接是通过加热或加压或两者兼用，可以用或不用填充材料，使焊件达到原子结合的一种加工方法。

焊接的本质是使两个分离的物体产生原子间结合，使之连接成一体的连接方法。

金属等固体所以能保持固定的形状，是因为其内部原子之间距离（晶格）十分小，原子之间形成了牢固的结合力。怎样才能实现焊接过程呢？从物理本质上讲，就是使两个被连接的固体金属表面上的原子彼此接近到金属晶格距离（ $0.3 \sim 0.5\text{nm}$ ）时，就可以在接触表面上进行扩散、再结晶等物理化学过程，从而形成金属键，达到焊接的目的。即使经过精加工的金属表面，实际上也有凹凸不平之处。由于金属表面存在着氧化膜及水、油污等吸附层，这些因素都会阻碍金属表面紧密接触。为了克服阻碍金属表面紧密接触的各种因素，在焊接工艺上采取以下两种措施：①对被焊金属施加压力，破坏接触表面的氧化膜，使连接处产生局部塑性变形，增加有效接触面积，从而使之紧密接触。②对被焊金属加热，使连接处达到塑性或熔化状态，使接触面的氧化膜迅速破坏，降低金属变形的阻力，增加原子的振动能，促进扩散、再结晶的化学反应和结晶过程的发展。