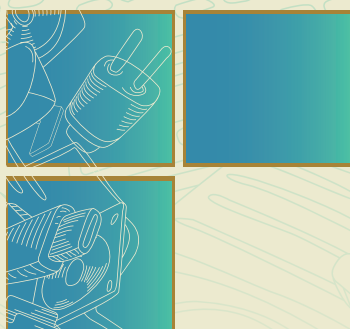




华腾教育网
www.huatengedu.com.cn
免费提供精品教学资料包
服务热线: 400-615-1233

JINSHU CAILIAO HANJIE 金属材料焊接



策划编辑: 马子涵
责任编辑: 边丽新
助理编辑: 占爱丽
封面设计: 王秋实

ISBN 978-7-5635-4396-0



9 787563 543960

定价: 45.00元



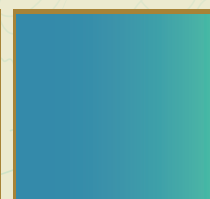
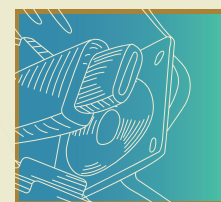
21世纪高职高专机械系列规划教材



21世纪高职高专机械系列规划教材

国家示范性高职院校建设项目成果

金属材料焊接



金属材料焊接

吕波 主编

北京邮电大学出版社



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

21 世纪高职高专机械系列规划教材
国家示范性高职院校建设项目成果

金属材料焊接

主编 吕 波



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本教材是根据国家职业教育改革会议精神,为适应职业教育教学改革与发展,满足高技能人才培养需要,以培养职业能力和技术应用为主线,在总结作者多年教学经验和国家示范院校建设成果的基础上编写的。

全书共十个项目,涵盖了焊接性及其评定、碳钢、高强钢、专用钢、耐热钢、不锈钢、铸铁、有色金属和异种金属的焊接等内容,并在每个任务后配备了思考与练习题。本教材可作为高职高专焊接技术及自动化专业教材,也可作为成人教育、技校、企业培训教材及相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料焊接/吕波主编. —北京:北京邮电大学出版社,2015.9

ISBN 978-7-5635-4396-0

I. ①金… II. ①吕… III. ①金属材料—焊接—高等职业教育—教材 IV. ①TG457.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第134112号

书 名: 金属材料焊接
主 编: 吕 波
责任编辑: 边丽新
出版发行: 北京邮电大学出版社
社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)
E-mail: publish@bupt.edu.cn
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京世纪雨田印刷有限公司
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张: 21.25
字 数: 517 千字
版 次: 2015年9月第1版 2015年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-4396-0

定 价: 45.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

服务电话:400-615-1233

绪论	1	任务提出	27
一、焊接在现代制造业中的 地位和作用	1	任务分析	28
二、本课程的研究对象及内容	3	相关知识	28
三、课程学习方法和要求建议	3	一、碳钢的概念及其分类方法	28
项目一 金属材料的焊接性及其评定	4	二、碳钢的牌号、成分、性能 特点及应用	29
任务一 焊接性及其影响因素	4	任务总结	32
任务提出	4	思考与练习	32
任务分析	5	任务二 低碳钢的焊接	32
相关知识	5	任务提出	33
一、焊接性	5	任务分析	33
二、焊接性的影响因素	6	相关知识	33
任务实施	9	一、低碳钢的焊接性	33
思考与练习	10	二、低碳钢的焊接工艺	34
任务二 焊接性的评定	11	任务实施	36
任务提出	11	思考与练习	36
任务分析	11	任务三 中碳钢的焊接	37
相关知识	11	任务提出	38
一、焊接性的理论估算方法	11	任务分析	38
二、焊接性试验	16	相关知识	38
任务实施	25	一、中碳钢的焊接性	38
思考与练习	26	二、中碳钢的焊接工艺	39
项目二 碳钢的焊接	27	任务实施	42
任务一 碳钢简介	27	思考与练习	42
		任务四 高碳钢的焊接	43
		任务提出	43



任务分析	43	任务实施	81
相关知识	43	思考与练习	82
一、高碳钢的焊接性	44	任务四 中碳调质钢的焊接	83
二、高碳钢的焊接工艺	45	任务提出	83
任务实施	45	任务分析	84
思考与练习	47	相关知识	84
		一、中碳调质钢的成分、性能	
		特点及应用	84
		二、中碳调质钢的焊接性	86
		三、中碳调质钢的焊接工艺	88
		任务实施	91
		思考与练习	91
项目三 高强钢的焊接	48	项目四 专用钢的焊接	93
任务一 低合金结构钢简介	49	任务一 低温钢的焊接	93
任务提出	49	任务提出	93
任务分析	49	任务分析	94
相关知识	49	相关知识	94
一、低合金结构钢的分类及应用	49	一、低温钢的成分、性能特点、	
二、低合金结构钢的合金元素及		分类及应用	94
其作用	52	二、低温钢的焊接性	99
三、低合金结构钢的性能	53	三、低温钢的焊接工艺	100
任务总结	53	任务实施	103
思考与练习	54	思考与练习	105
任务二 热轧及正火钢的焊接	55	任务二 低合金耐蚀钢的焊接	106
任务提出	55	任务提出	106
任务分析	55	任务分析	107
相关知识	55	相关知识	107
一、热轧及正火钢的成分、性能		一、耐大气与耐海水腐蚀用钢的	
特点与应用	55	焊接	108
二、热轧及正火钢的焊接性	58	二、耐石油腐蚀用钢的焊接	112
三、热轧及正火钢的焊接工艺	61	任务实施	113
任务实施	66	思考与练习	114
思考与练习	70	项目五 耐热钢的焊接	115
任务三 低碳调质钢的焊接	70	任务一 耐热钢简介	115
任务提出	70		
任务分析	71		
相关知识	72		
一、低碳调质钢的成分、性能及			
分类	72		
二、低碳调质钢的焊接性	75		
三、低碳调质钢的焊接工艺	77		




任务提出	115	一、不锈钢的概念	142
任务分析	116	二、不锈钢的合金成分	142
相关知识	116	三、不锈钢的种类与应用	144
一、耐热钢结构的工作条件和 性能要求	116	四、不锈钢的特性	148
二、耐热钢的合金化	117	任务总结	150
三、耐热钢的分类及应用	117	思考与练习	150
四、对耐热钢焊接接头性能的 基本要求	120	任务二 奥氏体不锈钢的焊接	151
任务总结	121	任务提出	151
思考与练习	121	任务分析	152
任务二 低合金耐热钢的焊接	121	相关知识	152
任务提出	121	一、奥氏体不锈钢的类型	152
任务分析	122	二、奥氏体不锈钢的焊接性	153
相关知识	122	三、奥氏体不锈钢的焊接工艺	160
一、低合金耐热钢的成分、性能 特点和用途	122	任务实施	164
二、低合金耐热钢的焊接性	125	思考与练习	165
三、低合金耐热钢的焊接工艺	126	任务三 铁素体不锈钢的焊接	166
任务实施	130	任务提出	167
思考与练习	132	任务分析	167
任务三 中合金耐热钢的焊接	132	相关知识	167
任务提出	132	一、铁素体不锈钢的类型	167
任务分析	133	二、铁素体不锈钢的焊接性	168
相关知识	133	三、铁素体不锈钢的焊接工艺	170
一、中合金耐热钢简介	133	任务实施	173
二、中合金耐热钢的焊接性	134	思考与练习	174
三、中合金耐热钢的焊接工艺	135	任务四 马氏体不锈钢的焊接	174
任务实施	137	任务提出	175
思考与练习	139	任务分析	175
项目六 不锈钢的焊接	141	相关知识	175
任务一 不锈钢简介	141	一、马氏体不锈钢的类型	175
任务提出	142	二、马氏体不锈钢的焊接性	176
任务分析	142	三、马氏体不锈钢的焊接 工艺	178
相关知识	142	任务实施	181
		思考与练习	182
		任务五 奥氏体-铁素体型双相 不锈钢的焊接	182



任务提出	183	任务三 灰铸铁的气焊与钎焊	218
任务分析	183	任务提出	218
相关知识	184	任务分析	219
一、奥氏体-铁素体型双相		相关知识	219
不锈钢简介	184	一、灰铸铁的气焊	219
二、奥氏体-铁素体型双相		二、灰铸铁的钎焊	221
不锈钢的焊接性	187	任务实施	223
三、奥氏体-铁素体型双相		思考与练习	223
不锈钢的焊接工艺	188	任务四 球墨铸铁的焊接	224
任务实施	192	任务提出	224
思考与练习	193	任务分析	224
项目七 铸铁的焊接	195	相关知识	224
任务一 铸铁简介	196	一、球墨铸铁的焊接性	225
任务提出	196	二、球墨铸铁的焊接工艺	225
任务分析	196	任务实施	227
相关知识	196	思考与练习	228
一、铸铁的分类、性能特点与		项目八 有色金属的焊接	230
应用	196	任务一 铝及铝合金的焊接	230
二、铸铁的石墨化	198	任务提出	230
三、铸铁的焊接性	199	任务分析	231
四、铸铁的焊接工艺	201	相关知识	231
五、铸铁焊接工艺的应用	202	一、铝及铝合金简介	231
任务总结	203	二、铝及铝合金的焊接性	235
思考与练习	203	三、铝及铝合金的焊接工艺	238
任务二 灰铸铁的电弧焊	204	任务实施	245
任务提出	204	思考与练习	246
任务分析	204	任务二 铜及铜合金的焊接	247
相关知识	204	任务提出	247
一、灰铸铁的焊接性	204	任务分析	248
二、同质焊缝的焊条电弧焊	205	相关知识	248
三、异质焊缝的焊条电弧焊	208	一、铜及铜合金的分类和	
四、异质焊缝细丝 CO ₂ 气体		性能特点	248
保护焊	215	二、铜及铜合金的焊接性	250
任务实施	216	三、铜及铜合金的焊接工艺	253
思考与练习	217	任务实施	261



思考与练习	262	思考与练习	298
任务三 钛及钛合金的焊接	263	任务二 钢与铜及其合金的焊接	299
任务提出	263	任务提出	299
任务分析	264	任务分析	300
相关知识	264	相关知识	300
一、钛及钛合金的物理化学		一、铜-钢异质接头的焊接性	
性能	264	分析	300
二、钛及钛合金的种类、性能特点及		二、铜-钢异质接头的焊接工艺	300
具体应用	265	任务实施	302
三、钛及钛合金的焊接性	266	思考与练习	303
四、钛及钛合金的焊接工艺	268	任务三 铜与铝的焊接	304
任务实施	274	任务提出	304
思考与练习	276	任务分析	304
任务四 镍及镍合金的焊接	277	相关知识	305
任务提出	277	一、铜-铝的焊接性问题	305
任务分析	277	二、铜-铝的焊接工艺	305
相关知识	278	任务实施	307
一、镍及镍合金的类型、性能及		思考与练习	308
应用	278		
二、镍及镍合金的焊接性	280	附录	309
三、镍及镍合金的焊接工艺	281	附录一 常用焊接方法及相关	
任务实施	285	工艺英文缩写	309
思考与练习	287	附录二 化学元素周期表	310
项目九 异种金属的焊接	288	附录三 金属材料热处理知识	311
任务一 异种钢的焊接	289	附录四 焊接常用名词	314
任务提出	289	附录五 铝合金新旧牌号	
任务分析	290	对照表	318
相关知识	290	附录六 铝及铝合金焊丝新旧	
一、异种金属焊接的主要困难	290	牌号对照表	319
二、低碳钢与低合金钢的焊接	291	附录七 焊接常用标准	320
三、珠光体钢与奥氏体钢的		附录八 焊接培训与资格认证	
焊接	291	体系	325
任务实施	297	参考文献	327



绪 论

一、焊接在现代制造业中的地位和作用

焊接是指通过加热和(或)加压,用(不用)填充材料,使被焊金属达到原子间结合的程度,以实现永久牢固的连接,并成为具有给定功能结构的制造技术。焊接是实现金属连接的基本加工方法之一。焊接加工的对象不仅限于金属材料之间,非金属材料(如塑料、陶瓷等)也可以焊接,因金属材料在制造业中大量使用,故本书主要介绍金属材料焊接的有关问题。现代焊接技术作为制造业的传统基础连接技术,在工业中应用的历史并不长,但它的发展却十分迅速,如今已在许多工业部门,如航空航天、造船、汽车、桥梁、电子信息、海洋工程、建筑结构等重要领域都得到广泛应用,为工业和经济的发展做出重要贡献。

1. 现代制造业离不开焊接

金属材料必须经过加工才能成为具有给定功能的产品。焊接结构具有质量轻、成本低、性能稳定、生产周期短、效率高、市场反应速度快等优点,因此其应用日益增多。天上飞的(飞机、飞船)、地上行的(陆地交通工具)、水里游的(船、舰、艇),从几十万吨的巨轮到不足1g的微电子元件,几乎所有的产品,在生产中都不同程度地依赖焊接技术。焊接已渗透到制造业的各个领域,直接影响到产品的质量、可靠性和寿命以及生产的成本、效率和市场反应速度。

焊接技术的先进与否在一定程度上标志着一个国家的工业发达程度。我国是钢材生产和消费大国,与其他工业发达国家一样,我国焊接加工的钢材总量是加工方法中最多的。随着我国经济总量和对外贸易在世界经济比重的增加,中国已成为“世界工厂”“世界制造业中心”。焊接技术在制造业,尤其是装备制造业中起着关键作用。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。因此焊接技术是制造业的关键技术之一,越来越多的金属材料依靠焊接连接成为最终产品。

焊接作为一种制造技术和材料科学的一个重要分支,越来越受到关注。特别是近些



年来,专门为焊接结构而设计和开发了一系列新钢种,如西气东输的管线钢 X60、X70、X80,奥运会鸟巢用钢 Q460 等。造船、高速列车和桥梁等一些大型焊接结构的制造成功,表明我国焊接技术水平有了明显的提高。焊接在经济建设和社会发展中发挥着无可替代的重要作用,目前还没有其他方法能够比焊接更为广泛地应用于金属的连接,并对所焊的产品增加更大的附加值。焊接是有最大可能成功将各种材料加工成可投入市场产品的首选加工方法。

2. 现代制造业对焊接技术提出新要求

制造业中焊接技术应用广泛,随着我国制造业的迅猛发展,对焊接技术也提出了更高的要求,焊接结构向高参数、大容量、大型化、微型化和长寿命方向发展,焊接作为一种传统技术面临着新挑战。

(1)焊接接头的强韧性和使用寿命要求提高。焊接结构的整体性好,连接强度高、节省材料。但有时也存在相应问题,如接头的裂纹问题,扩展的裂纹很容易穿过焊缝,可能导致灾难性的后果。另外,焊接结构及焊接接头的应力集中较严重,焊接接头区域有可能存在缺陷,又是焊接残余应力较大的部位。随着结构设计水平和新标准、新规范的出台,一些大型储运设备如压力容器、船舶等提出大容量、长寿命要求。

(2)大型、微型焊接结构的制造技术要求越来越高。随着我国经济建设的蓬勃发展,对大型结构的需求日益增加,如三峡工程(大型涡轮、蜗壳)、建筑工程(奥运会主场馆鸟巢)、船舶工程(30万吨超大型原油船)、桥梁工程(世界上首座完全采用焊接工艺连接的上海卢浦大桥)、化学工程(总重量达千吨的大型热壁加氢反应器)及宇航工程等等,这些大型焊接结构对焊接应力、变形和裂纹等问题的解决提出了更高的要求。另一方面,在某些精细产品的生产制造中(如电子元器件、电子设备、仪器仪表以及医疗器械等)常需要对同种及异种金属薄件、细丝等微型零件进行精密焊接,对焊接质量有着较高的要求。尤其是近年来,随着航空航天等尖端科学技术的高速发展和电子产品小型化、微型化、高性能化的发展,对各种微型件的焊接质量和性能要求越来越高,而微型件的焊接比大型结构焊接更为困难,一旦出现焊接缺陷往往难以修复。

(3)焊接结构服役环境要求高。随着新技术的发展,在能源、航空航天、造船、交通运输、石油化工、海洋工程等各工业部门中使用的结构,向着高强、高压、高温、高耐蚀性等方向发展,这要求焊接技术水平必须同步提高。

(4)新材料的不断涌现对焊接技术提出了新课题。新材料包括钢铁新材料和结构陶瓷、高分子及复合材料等,由于性能优异,其工程应用逐年扩大,尤其在能源、宇航、微电子及军事工业等方面更令人瞩目。新材料的焊接性对其扩大使用十分关键,因此新材料的开发和应用必然带来焊接性、焊接方法等方面研究的新课题,并成为焊接技术发展的重要推动力。

3. 焊接技术的未来发展趋势

现代焊接技术自诞生以来一直受到材料、计算机、能源以及电子信息技术诸学科最新发展的直接影响与引导,也使得焊接工艺操作经历着从手工焊到自动焊,自动化,智能化的过渡,焊接制造智能化是焊接技术发展的必然趋势,也是中国工业 4.0 的重要内容之一。另外,建立焊接专家系统,采用柔性制造技术,总结焊工的智能经验并将它们运用到先进的高



科技中,快速、灵活、安全地实现自动化焊接。在发达国家焊接自动化控制已经获得了满意的效果,对于宏观焊接质量(如熔透控制,接头尺寸等)的控制已取得了较大的进展,对于微观焊接质量(焊缝的金相组织及机械性能)的控制也已经起步。焊接过程正由宏观向微观、由简单粗糙控制向系统的智能精密控制发展,而这些都依赖于焊接、切割设备的进一步研发升级。因此加强焊接设备制造企业与使用企业联合,按使用要求研发低能耗、低飞溅、高效能、高自动化、清洁环保的焊接工艺装备是必不可少的。

二、本课程的研究对象及内容

本课程主要介绍常用金属材料的焊接性和焊接工艺,内容包括:金属材料的焊接性及其评定;碳钢、低合金结构钢(包括高强钢、专用钢)、耐热钢、不锈钢、铸铁等铁基材料的焊接;铝、铜、钛、镍等有色金属的焊接;异种金属的焊接等。本教材重点介绍了常用金属材料的焊接性、焊接方法及焊接工艺,同时介绍了上述金属材料的分类和主要应用。

三、课程学习方法和要求建议

金属材料焊接是焊接专业学生的一门必修骨干技术专业课,应在金属材料及热处理、焊接冶金及金属熔焊原理、焊接方法与设备、焊接实训等相关课程学习完成之后开设。学习本课程将为后续焊接结构生产、课程设计、毕业设计及今后工作打下必要基础。

金属材料焊接是一门理论性和实践性都很强的课程。学习过程中应结合有关实习、实训和实验,把理论和焊接生产实践有机结合起来,一方面避免理论学习的枯燥和抽象,激发学生的学习兴趣;另一方面,采取边学边练的方式有助于帮助学生及时消化、理解和掌握所学内容,更能提高学习效率和效果。若条件允许,在教学过程中应尽可能安排生产性的实习和实训环节,在真实的生产环境中加强感性认识,提高动手实践能力,培养和训练学生观察、分析和解决实际技术问题的方法和能力。

学习本课程后,学生应能掌握常用金属材料的焊接性特点和焊接工艺,能初步制定简单结构的焊接工艺。包括根据焊件母材材料、结构特点以及实际焊接条件正确选择焊接方法和焊接材料,制定合理的焊接工艺参数,掌握焊接工艺要点,编制焊接工艺规程,进行工艺实施等能力。

教学过程中,通过完成各个任务案例,着重培养学生有关金属材料焊接技术的综合应用能力,同时还应注意培养学生吃苦耐劳和团队协作能力,加强安全生产和节能环保等方面意识的教育,规范操作,使学生养成良好的工作习惯。

项目一

金属材料的焊接性及其评定

在各种金属材料的焊接实践中,人们发现,有些金属在简单的工艺条件下焊接即可获得完好的、满足使用要求的焊接接头(包括焊缝、熔合区和焊接热影响区)。而有些金属材料通常要在很严格甚至苛刻(如高温预热、高能密度、高纯度保护气氛、高真空和复杂的焊后热处理等)的工艺条件下施焊才能获得满意的焊接接头,否则就会出现裂纹、气孔、力学性能低等焊接缺陷,难以达到使用要求。为了明确金属材料在焊接加工中所表现出来的这种特性,需要对其进行定义,并定性、定量地分析,研究其试验和评定方法,用以指导生产,于是人们提出了金属材料的焊接性(以下简称焊接性)的概念。

任务一 焊接性及其影响因素

知识目标

- 熟悉焊接性的概念、内容及其影响因素。

技能目标

- 理解焊接性的概念及其影响因素。

任务提出

低碳钢如图 1-1(a)、图 1-1(b)所示,几乎用所有的焊接方法都比较容易焊接,一般情况下无须附加其他工艺措施就能获得满意的焊接接头;铝、铜及其合金焊接时,当焊件厚度大于等于 6 mm 时,往往需要进行预热,并采用氩弧焊、摩擦焊等方法焊接才能获得满意的接头,如图 1-1(c)、图 1-1(d)所示;铸铁焊补即使采取了预热的工艺措施,也极易产生裂纹和白口等问题,如图 1-1(e)所示。可见,不同金属焊接的难易程度不同。如何理解材料的焊接性? 金属的焊接性与哪些因素有关呢?



图 1-1 金属的焊接性



任务分析

低碳钢,铜、铝及其合金,铸铁这三种金属本身固有的基本性能(材质)不同,它们对焊接加工的适应性也不同,但仅以此还不足以说明它在焊接时可能出现的问题,也无法判定焊接后接缝性能是否能满足使用要求。焊件无须经过复杂的工艺措施和手段即能获得满意的接头,通常即认为焊接性良好。



相关知识

焊接是一种热加工方法,接头在电弧高温下,发生一系列复杂的物理、化学变化。焊接过程在温度、成分和应力极不平衡的条件下时,其结果可能有两种:一是在焊接区内产生各种类型的焊接缺陷,如气孔、裂纹、夹渣、未焊透等,使得接头丧失连续性;二是即使缺陷没有超标,也可能由于焊接高温的作用导致接头变质、变形,产生焊接应力等,降低了某些必要的性能(如强度、韧性、耐蚀性等),不能满足结构的使用要求。因此,焊接性应包含两个方面的含义:金属材料对焊接加工的适应性(好不好焊);焊后焊件能否达到使用要求(好不好用)。讨论焊接性时这两个方面必须同时考虑。

一、焊接性

1. 焊接性的概念

焊接性也称可焊性,现行国家标准 GB/T 3375—1994《焊接术语》第 2.117 条中对焊接性的定义是:“材料在限定的施工条件下焊接成按规定设计要求的构件,并满足预定服役要求的能力。焊接性受材料、焊接方法、构件类型和使用要求四个因素的影响。”

理论上任何两种金属(同种或异种)均可以实现原子或分子间的结合,即都可以焊接。但实现这种原子或分子间结合的条件是有所不同的,一般情况下,如果某种金属在很简单的工艺条件下即可实现这种结合,并满足使用要求,就认为该材料焊接性较好;反之,则认为焊接性较差。

2. 焊接性的内容

优质的焊接接头应具备两个条件:一是接头中不允许存在超过质量标准规定的缺陷,二是要有预期的使用性能。即焊接性应从结合性能和使用性能两个方面来综合评价,这两方面分别反映不同材料对焊接加工的适应性和使用的可靠性,其中结合性能又分为热焊接性和冶金焊接性。焊接性的内容及其具体含义见表 1-1。

表 1-1 焊接性的内容及其具体含义

焊接性	结合性能	金属材料对各种焊接方法的适应能力,即在一定焊接工艺条件下,获得优质致密、无缺陷的焊接接头的的能力,反映金属材料在焊接加工中对缺陷(裂纹、气孔等)的敏感性	热焊接性	焊接热过程对焊接热影响区组织性能及产生缺陷的影响程度。它用于评定被焊金属对热作用的敏感性(晶粒长大及组织性能变化等),主要与被焊材质及焊接工艺条件有关
			冶金焊接性	冶金反应对焊缝性能和产生缺陷的影响程度。它包括合金元素的氧化、还原、蒸发、氢、氧、氮的溶解等,对气孔、夹杂、裂纹等缺陷的敏感性
	使用性能	焊接接头在一定使用条件下可靠运行的能力。反映焊接接头或整体结构满足各种使用性能的程度,如常规的力学性能、抗脆断性能、疲劳性能、高温蠕变、低温韧性以及抗腐蚀性和耐磨性能等。使用性能取决于焊接结构的工作条件和设计要求		

3. 焊接性是相对的、发展的

两种材料的焊接性必须在相同的工艺条件下才具有可比性。例如,采用焊条电弧焊焊接低碳钢和铝合金,通常认为前者焊接性比后者要好。因为铝合金化学性质活泼且导热快,在焊接电弧高温下极易氧化,用普通的熔焊方法焊接容易产生焊接缺陷,导致力学性能下降,但如果将两者均放在真空中进行焊接,其焊接性则不会有太大差异。即使是同一种材料,随着其结构拘束条件(板厚、环境温度等)的变化,也会导致焊接性的变化,如低碳钢薄板焊接性良好,但随着板厚的增加,焊接性逐渐变差,厚板焊接时仍有形成裂纹的可能。如奥运会鸟巢专用高强钢 Q460,在冬季 0℃ 以下低温施工时,焊接热影响区塑性、韧性明显下降,不能达到规定的使用要求;夏季施工时,室外太阳照射将使构件温度显著升高,迎光面、背光面的温差以及屋面、立面钢构件的温差形成较大温度梯度,在结构中将引起很大的内力和变形,对结构合拢的安全性将产生显著的影响,因此,合拢工程必须在没有日照的夜间且在构件温度均匀时进行。可见,焊接性是与具体工艺条件密切相关的相对性的概念,讨论焊接性不能离开具体的工艺条件,否则是没有意义的。

焊接性不是一成不变的,而是随着焊接条件的变化而不断发展的。焊接性不是金属材料的固有属性,某种材料的焊接性目前不佳,但随着时代的发展、技术的进步,将来可能会逐渐改善。例如,过去人们只能用气焊、焊条电弧焊等焊接铝、铜及其合金,因为难以获得满意的接头,一度认为这些金属焊接性不佳,但随着氩弧焊、搅拌摩擦焊等新焊接方法和工艺的出现,这些金属的焊接已经变得相对容易,其焊接性有了很大的改善。因此,应该用发展的眼光来看待焊接性问题。

二、焊接性的影响因素

焊接性是一种工艺特性,主要受构件材料、方法、构件类型和使用要求四个方面因素的影响。

1. 材料因素

材料包括母材和焊接材料两个方面。它们直接参与熔池的冶金反应,决定或影响着接头的质量,是影响焊接性的首要因素。与母材相比,焊缝为疏松铸态组织的力学性能相对较低,一般来说,焊缝的性能是低于母材的。

1) 母材对焊接性的影响

母材的各种影响因素中尤以化学成分对焊接性的影响最为显著,其次是母材的物理、化学性能、组织状态和力学性能等。对焊接性影响较大的元素有 C、S、P、H、O、N 等;对焊接性影响较大的物理、化学性能主要是母材的导电、导热能力、熔点、金属的化学活性等。

母材在焊接过程中直接参与熔池的冶金反应,并最终成为焊缝的一部分,它对焊接性的影响必然是决定性的。对钢而言,焊接性还受母材冶炼和轧制状态、热处理条件等因素的影响。近些年出现的经过精炼提纯的 CF 钢、Z 向钢、TMCP 钢等,在焊接性方面都有很大改善。



小知识

CF 钢 $R_{eL} \geq 490 \text{ MPa}$ 、 $R_m \geq 610 \text{ MPa}$ 的低碳微合金、低焊接裂纹敏感性的高强钢简称 CF 钢,如宝钢的 B610CF、舞钢的 WDL610E,一般用于制造球罐,如图 1-2(a) 所示。

Z 向钢 采用焊接连接的钢结构中,当钢板厚度大于 40 mm 且承受沿板厚度方向的拉力时,为避免焊接时产生层状撕裂,需采用抗层状撕裂的钢材,要做 Z 向性能测试,通常简称为“Z 向钢”,牌号如 Q345B Z15、Q345B Z25、Q345B Z35 等。其中, Q 是屈服强度,345 是屈服强度 345 MPa, B 是室温冲击, Z 是 Z 向(厚度方向)性能, 15、25 等是断面收缩率值。Z 向钢适用于因结构中承受厚度方向拉伸载荷而对钢材厚度方向有性能要求的结构,如厚壁压力容器、梁柱等结构。这类钢在生产时需进行特殊处理和热处理。

TMCP 钢 TMCP 是英文 thermo mechanical control process 的缩写,是一种新型钢——微合金控轧细晶粒钢的简称,利用控制压延和冷却技术制成。与常规轧制钢和正火钢相比,这种钢不依赖合金元素,通过控轧、控冷处理水冷控制组织,使钢材得到高强度和高韧性;与同一强度的其他钢相比较不仅含碳量低,而且使对焊接部位韧性有害的铌、钒等微量元素的含量降低。在碳当量较低的情况下能够生产出相同强度的级别钢材,因此可以降低或省略焊接时的预热温度,碳当量低又可以降低焊接热影响区的硬度,不容易形成因显微偏析而产生的局部硬化相,容易保证焊接部位的韧性,目前,其应用领域涉及了造船、海洋结构件、石油天然气管线、桥梁和建筑等各种领域,如西气东输管线所用 X70 钢[如图 1-2(b)所示]、X80 管线钢、京沪高速铁路南京大胜关长江大桥的 WNQ570 桥梁钢[如图 1-2(c)所示]和鸟巢的 Q460 钢[如图 1-2(d)所示]等。



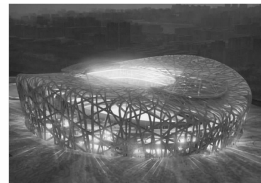
(a) 球罐(CF62 钢)



(b) 西气东输管线(X70 钢)



(c) 南京大胜关长江大桥
(WNQ570 桥梁钢)



(d) 鸟巢(Q460 钢)

图 1-2 使用新钢种建造的焊接结构



2) 焊接材料对焊接性的影响

焊接材料(焊条、焊丝、焊剂、保护介质等)不仅直接参与焊接过程的一系列化学反应,决定焊缝金属的成分、组织与性能,而且与缺陷的形成密切相关。若焊接材料选择不当,或与母材不匹配,则会给焊接过程带来困难,导致焊接缺陷的产生和接头组织、性能的变化,影响焊接质量,以致不能满足使用要求。因此,正确合理地选择焊材也是保证良好焊接性的必要条件之一。

2. 方法因素

不同焊接方法的工艺特点不同,即热源加热范围、功率密度、保护方式和热输入等均不同,它们直接影响焊接区的温度场和热循环,从而对焊缝及热影响区范围的大小、组织变化和产生缺陷的敏感性都有明显的影响。各种焊接方法对应的焊接参数、操作技术和工艺实施过程不同,对预热、后热和焊后热处理等的要求也不尽相同。如钨极氩弧焊加热集中,合金元素烧损少,焊缝纯净、杂质少,几乎所有的金属用该方法焊接都能获得满意的接头,但由于焊接速度慢、效率低、成本高等,只适合于焊接 6 mm 以下的薄板和有色金属。电渣焊加热功率大,高温停留时间长、渣池体积大,加热及冷却速度慢,焊接厚度较大的中碳钢、高碳钢、合金钢和铸铁等无须预热,接头也不易出现淬硬组织,裂纹倾向小,但电渣焊接头过热严重,焊后必须进行正火或回火热处理,以细化晶粒,改善接头的韧性,工艺过程相对麻烦。因此,发展新方法和新工艺是改善焊接性的重要途径之一。

3. 构件类型因素

构件类型主要指焊接结构形状、厚度、接头形式、焊接位置、坡口形式、焊缝分布、装配焊接顺序和其他拘束条件等结构设计因素。

这些因素主要体现在接头导热能力和受力状态上。不同厚度、不同接头形式(坡口形式)的焊接接头,散热方向和速度是不同的,这将影响熔池金属的结晶。厚板及 T 形接头是三维散热,导热快,熔池液态金属存在时间短,易出现淬硬组织、裂纹等缺陷。结构的形状、厚度、焊缝的分布和装焊顺序等决定接头的刚度和拘束度,从而对焊接接头的应力状态造成影响。焊后焊缝往往受拉应力的作用,这对焊缝的承载是极为不利的。不良的焊缝结晶形态是裂纹形成的内在诱因,应力集中和焊接应力是促进裂纹扩展的外在因素。在焊接结构设计中,应采取降低接头的刚度,避免焊缝交叉、焊缝过于密集,合理安排装配焊接顺序等措施,减小接头的应力集中,避免产生过大的应力,以改善焊接性。

4. 使用要求

使用要求是指工作温度(高温、低温)、受载类别(静载、动载)和服役环境(地点、工作介质等)。

焊接所处的工作环境和运行条件要求焊接结构必须具有相应的使用性能,例如,高温下工作的结构需保证高抗温强度、高温抗氧化性和抗蠕变性能等,如汽轮机、发动机涡轮叶片等;低温下或承受冲击载荷的结构需保证足够的韧性,以避免脆性断裂,如远洋船舶、高层建筑、桥梁等;与腐蚀介质接触的结构应满足耐腐蚀性要求,如铁路运煤敞车车厢、食品、制药和各种化工反应容器和储罐等,承装易燃易爆或有毒介质的容器必须满足致密性要求等等,不同焊接结构的使用要求如图 1-3 所示。对焊接结构的使用要求越高,条件越苛刻,焊接性

就越差。因此,使用条件必然影响到焊接性。



图 1-3 不同焊接结构的使用要求

总之,焊接性是个相对性的概念,表征金属材料对焊接加工和使用要求的适应性,应从工艺焊接性和使用焊接性两个方面来进行评价。应注意,焊接性与材料、焊接方法、构件类型和使用条件等因素密切相关,不能脱离这些因素简单地认为某种材料的焊接性好或坏,也不能只就某一种指标来片面概括材料的焊接性,应根据多方面的因素综合进行评定。即讨论焊接性不能只考虑材料(母材、焊材)本身的影响,还应考虑焊接方法、构件类型(板厚、坡口形式、拘束度、焊接位置等)和使用条件(低温、高温、腐蚀、载荷等)等因素的影响。



任务实施

取低碳钢、铝合金(根据情况可采用 3A21、5083 等 $3\times\times\times$ 或 $5\times\times\times$ 系列铝合金)及铸铁废件若干,试板尺寸 $50\text{ mm}\times 150\text{ mm}$,在教师指导下选取合适焊条(焊丝)和焊接方法,分组制定焊接工艺(4~5 人/组),并进行试焊,体会三种材料的焊接性。试焊材料及焊接工艺参数建议见表 1-2。

表 1-2 试焊材料及焊接工艺参数建议

母 材			焊接方法	焊条(焊丝)		焊接工艺参数			
种 类	牌 号	厚度 /mm		牌 号	直径 /mm	焊接电流 /A	焊接速度 / $(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	钨极直径 /mm	氩气流量 / $(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$
低碳钢	Q235	6	SMAW	J422	4	160~180			
铝合金	5083	8	GTAW	ER5183	3	90~150	7~12	3	15~25
铸铁	HT200	8	SMAW	Z208	5	240~260			

注 1:铝板焊前去除氧化膜,预热 $100\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$,不要大于 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$,氩气纯度不低于 99.99%。

注 2:铸铁件焊前清理焊接区表面的油、锈、水等污染物,预热 $300\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$,焊后立即锤击焊道,焊条经 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干。

注 3:GTAW(钨极氩弧焊)建议采用方波交流电源,SMAW(焊条电弧焊)使用直流电源,反极性接法。

比较任务中提出的几种金属的在焊接时各自表现出来的特性,它们的焊接性比较见表 1-3。



表 1-3 低碳钢、铝、铜及其合金、铸铁焊接性比较

材 料	对焊接方法的适应性	工艺复杂程度	焊接成本	焊 接 性
低碳钢	好	简单	低	优良
铝、铜及其合金	差	较复杂	高	较差
铸铁	较差	复杂	较高	差

将试焊有关数据和结论形成报告,并上交,报告格式可参考表 1-4。

表 1-4 低碳钢、铝合金及铸铁试焊报告格式

班级: _____ 姓名: _____ 学号: _____		施焊日期: _____ 年 月 日								
组别: _____		组内其他成员: _____								
试焊目的:										
施焊准备	材料:		设备:							
接头简图	焊前清理:		预热:							
	焊件材料	厚度/mm	焊接方法	电源种类及极性	焊条(丝)		焊接电流/A	焊接速度/cm·min ⁻¹	钨极直径/mm	氩气流量/L·min ⁻¹
					牌号	直径/mm				
焊接过程										
结论:										
个人成绩:			小组成绩:				总评成绩:			



思考与练习

一、判断题

- () 1. 材料不同,焊接性则必然不同,因此,焊接性是金属材料的固有属性。
- () 2. 无论用什么方法焊接,只要能够获得优质的、满足使用要求的焊接接头,焊接性就好。
- () 3. 比较不同材料的焊接性,主要考虑其材料的化学成分,其他影响因素影响小,不用考虑。
- () 4. 铝及其合金比低碳钢焊接困难。
- () 5. 钢板越厚,焊接性就越好,因为不用担心烧穿的危险。
- () 6. 焊接性会随着时代的发展越变越好。

二、简答题

1. 什么是焊接性? 焊接性包括哪些内容?
2. 工艺焊接性与使用焊接性有什么区别?
3. 影响金属材料焊接性的因素有哪些?
4. CF 钢和 TMCP 钢是什么钢? 各有什么特点?