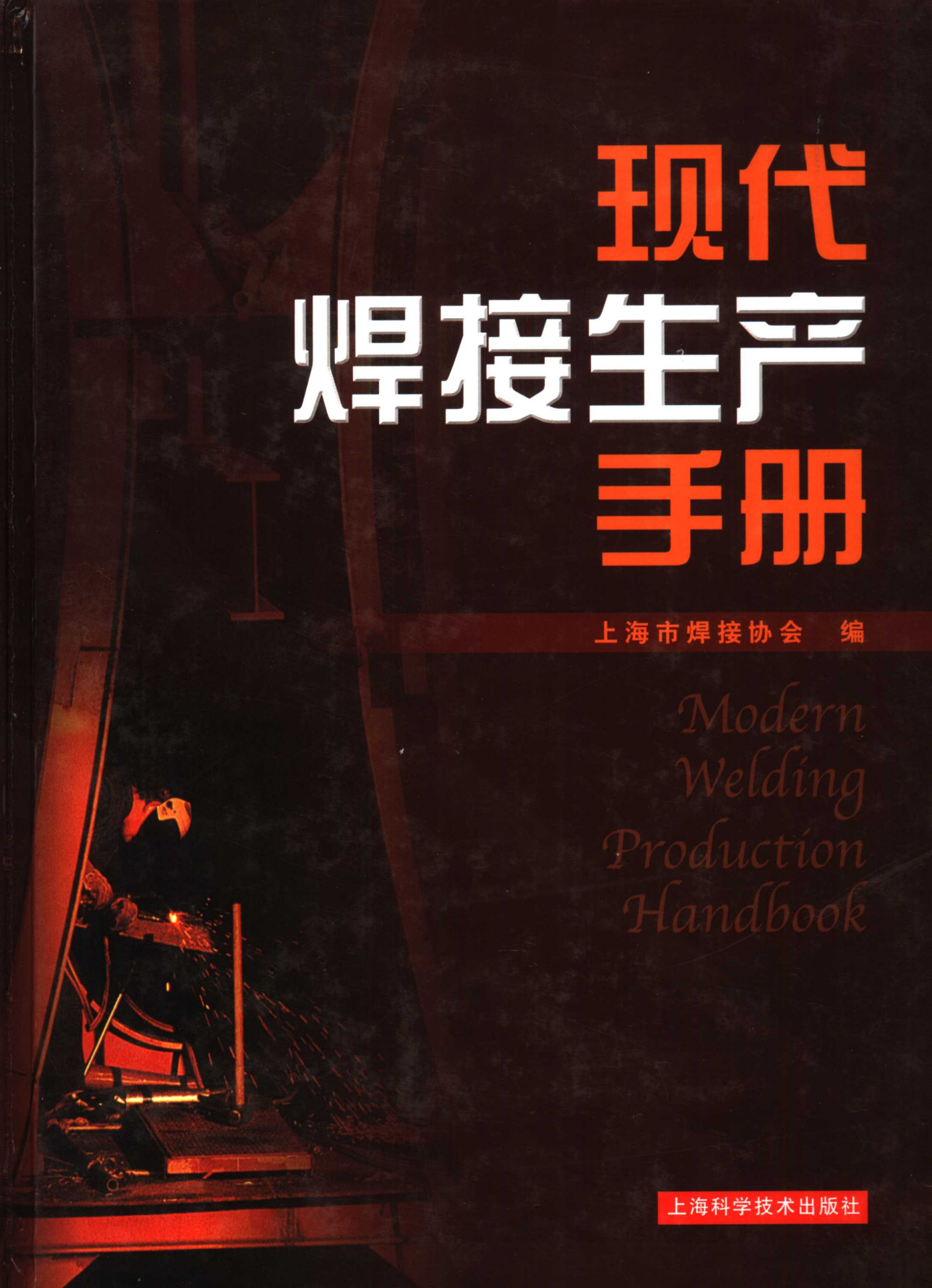




现代 焊接生产 手册

上海市焊接协会 编

Modern
Welding
Production
Handbook

上海科学技术出版社

现代 焊接生产 手册

CAI JIANG HUANG JIANG

CAI JIANG HUANG JIANG

CAI JIANG HUANG JIANG

CAI JIANG HUANG JIANG

CAI JIANG HUANG JIANG

CAI JIANG HUANG JIANG

CAI JIANG HUANG JIANG

CAI JIANG HUANG JIANG

CAI JIANG HUANG JIANG

CAI JIANG HUANG JIANG

CAI JIANG HUANG JIANG

现代焊接生产手册

Modern Welding Production Handbook

上海市焊接协会 编

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代焊接生产手册/上海市焊接协会编. —上海:上海科学技术出版社, 2007. 5

ISBN 978—7—5323—8726—7

I. 现... II. 上... III. 焊接—技术手册
IV. TG4—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 138195 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 25.25

字数: 852 千字

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—3 500

定价: 58.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内 容 提 要

本手册共分 11 章,分别叙述焊接生产的一般要求与质量管理、焊接结构生产准备、梁柱类构件焊接、贮罐焊接、压力容器焊接、管道及管子焊接、壳体构件焊接、薄板构件焊接、机械构件焊接、精密器件焊接以及缺陷补焊与焊接修复。书末附录了常用的焊接符号和接头形式、焊接生产现场安全和焊接名词术语汉英对照等。

本书供从事焊接生产的工程师和技师阅读,大学和职业学校焊接专业的师生亦可参考。

前 言

焊接类图书的编纂,多见于以焊接方法为纲,诸如手工电弧焊、自动埋弧焊、气体保护焊、电阻焊、气焊气割……也多见于以被焊材料为纲,诸如碳素钢焊接、合金钢焊接、不锈钢焊接、有色金属焊接、复合材料焊接……两者都具鲜明的系统性,便于众多读者学习进修。但当读者是从事焊接生产的工程技术人员和焊工时,他们接到焊接工程任务后,面对的是形形色色的焊接结构形式。他们渴求有一本以焊接结构特征为纲编写的书,从中快捷地甚至可按图索骥地找到合适的焊接方法和工艺。可是在市售图书中,这类书却很少见。

上海科学技术出版社继出版《现代焊接技术手册》(Modern Welding Handbook)后(该手册大致是以被焊材料为纲编纂的),拟再出版一部以梁柱结构、管子结构、管板结构、箱形结构等的构件焊接为章题的大型工具书——《现代焊接生产手册》(Modern Welding Production Handbook),以饷读者,特别是那些工作在焊接生产第一线的工程师和技师。出版社把这一想法告诉了我们上海市焊接协会,而本会恰恰是个行业协会,其任务之一就是为单位会员和个人会员提供咨询,解决生产难题。本协会遂欣然接受了这项编写任务,并邀集吴祖乾、唐逸民、廖奎光、虞茂林、钮国俊和胡成平等6人成立了编审组,其中吴祖乾任主编。编审组成员除自己撰稿外,主要担负起策划全书、突出重点、挑选作者、审定来稿的工作,以贯彻为生产第一线的焊接界朋友提供精神食粮的编辑宗旨。

《现代焊接生产手册》共11章及附录。其中第三章至第十章依次为:梁柱类构件焊接、贮罐焊接、压力容器焊接、管道及管子焊接、壳体构件焊接、薄板构件焊接、机械构件焊接和精密器件焊接,构成了本书的主体。另外,在首章概述焊接生产的要求与管理。接着在第二章,阐明焊接结构的生产准备。末章叙述损坏设备的焊接方法修复。附录中列出常用的焊接符号和接头形式、焊接生产现场安全以及焊接名词术语汉英对照等。

焊接生产人员接到产品图样后,可以便捷地从本手册的目录中找到与之相同或相近的焊接结构类型。手册对每一种焊接构件,给出若干先进的、常用的焊接方法和工艺。读者在选择工艺方案时,切莫一味“追新”,而应考虑现有的设备、工装、人员技能等生产条件,并做些技术经济分析,然后选定最佳的焊接方法。

除上列6人外,参加本书编写及提供资料的还有:范铮、朱光照、顾溥锦、叶上云、戴同钧、赵伟兴、蒋金康、黄明泰、芮树祥、简润富、李贻、姚培亨、郑本英、於美甫,以及阮慎孝、王敏、石小平、徐锋、蔡敏琦等。编写过程中,始终得到协会历届领导陈楚、徐松英、姜根林的指导支持。协会秘书长徐锋做了大量组织、协调工作,使本书得以顺利编成。

手册能否达到本协会的编写初衷,有待放到读者中去验证。希望本协会会员及焊接界朋友多提批评和建议,俾我们重版时补充修改。本协会通信地址:上海市中兴路960号,邮编:200070。电话:(021)56302638,网址:www.shweld.com, E-mail: shweld@163.com。

上海市焊接协会
2006年9月

目 录

第一章 焊接生产的一般要求与质量管理..... 1	第二章 焊接结构生产准备 46
§ 1-1 焊接方法简介..... 1	§ 2-1 焊接结构生产工艺概述 46
一、手弧焊..... 1	§ 2-2 金属材料预处理与备料加工 47
二、埋弧焊..... 2	一、金属材料预处理 47
三、螺柱焊..... 2	二、放样号料 51
四、非熔化极气体保护焊..... 2	三、钢材切割 53
五、等离子弧焊..... 2	四、坡口及边缘加工 55
六、熔化极气体保护焊..... 2	五、成形加工 55
七、药芯焊丝电弧焊..... 4	§ 2-3 装配焊接工艺装备 59
八、电渣焊..... 4	一、装配焊接工艺装备简介 59
九、电子束焊..... 4	二、装配焊接夹具 59
十、激光焊..... 5	三、焊接用工艺装备 73
十一、电阻焊..... 5	§ 2-4 计算机在焊接中的应用 84
十二、钎焊..... 5	一、焊接中常用的计算机 84
§ 1-2 焊接技术经济分析与焊接方法选择..... 5	二、焊接过程自动控制 85
一、焊接技术经济分析..... 5	三、计算机辅助设计和人工智能在焊接中的 应用 87
二、焊接方法选择..... 6	四、计算机图像处理在焊接中的应用 89
§ 1-3 金属材料的焊接性..... 8	§ 2-5 焊接机器人 89
一、金属材料的工艺焊接性..... 8	一、焊接机器人基本结构 89
二、金属材料的使用焊接性 12	二、焊接机器人的应用 91
§ 1-4 焊接材料选择 14	第三章 梁柱类构件焊接 94
一、手工电弧焊焊条 14	§ 3-1 梁柱类构件的焊接特点 94
二、埋弧焊焊丝和焊剂 16	§ 3-2 H型梁的焊接 95
三、气体保护焊用焊丝 18	一、薄板 H型梁的高频焊 95
四、保护用气体 18	二、H型梁中的厚钢板对接焊 96
五、钎焊用钎料和钎剂 19	三、中厚板 H型梁的多丝埋弧焊 105
§ 1-5 焊接质量管理 19	四、超大 H型梁的焊接 107
一、焊接质量管理概念 19	五、H型梁制作流水线 108
二、焊接工艺管理 23	§ 3-3 箱形柱的焊接 108
三、焊工管理 30	一、箱形柱的 $\square$ 型 CO_2 气体保护焊 108
四、焊接材料管理 37	二、箱形柱四角的双丝埋弧焊 110
§ 1-6 焊接质量检验 39	三、箱形柱的熔嘴电渣焊 111
一、焊接接头的非破坏性检验 39	
二、焊接接头的破坏性试验 43	

四、箱形柱的变形控制和矫正	117
§ 3-4 超高层建筑中桁架的焊接	117
§ 3-5 重型厂房柱的焊接	119
一、CO ₂ 气体保护焊	119
二、埋弧焊	121
三、焊接质量评价	121
§ 3-6 梁柱药芯焊丝自保护焊	121
一、梁与柱的药芯焊丝自保护焊	121
二、柱与柱的药芯焊丝自保护焊	122
§ 3-7 起重机梁的焊接	122
一、单面焊双面成形埋弧焊对接	122
二、箱形梁的焊接	123
§ 3-8 桥梁的焊接	125
一、桥梁焊接时的热输入量控制	126
二、桥梁的焊接过程	127
三、主梁主要焊缝的埋弧焊	129
四、副梁的焊接	131
五、栓钉焊(螺柱焊)	132
六、主梁变形的控制	133
第四章 贮罐焊接	135
§ 4-1 贮罐种类和焊接特点	135
一、贮罐种类	135
二、大型常压贮罐的制造和焊接特点	135
§ 4-2 立式贮罐的焊接	136
一、结构形式和材料	136
二、底板的组装和焊接	137
三、壁板的组装和焊接	137
四、顶板的组装和焊接	138
五、贮罐焊接举例	138
§ 4-3 双筒式液化气贮罐的焊接	142
一、液罐结构形式	142
二、液罐用钢及焊接材料	143
三、液罐装配工艺	146
四、液罐焊接工艺	149
五、焊接检验	153
§ 4-4 球罐的焊接	154
一、球罐的分类和形式	154
二、选材准则	154
三、工厂制造及现场组焊、检测	157
四、球罐焊接实例	169

第五章 压力容器焊接	174
§ 5-1 压力容器的焊接特点	174
一、压力容器的工作条件	174
二、压力容器的结构	175
三、压力容器用材料	177
四、对压力容器焊接接头的技术要求	178
§ 5-2 薄壁压力容器的焊接	180
一、筒体纵缝的焊接	180
二、容器环缝的焊接	182
三、容器接管的焊接	184
四、焊接变形的矫正	185
§ 5-3 中厚壁压力容器的焊接	185
一、概述	185
二、筒体纵缝的焊接	186
三、筒体环缝的焊接	188
§ 5-4 厚壁压力容器的焊接	189
一、概述	189
二、单层厚壁压力容器的焊接	189
三、多层厚壁压力容器的焊接	210
§ 5-5 热交换器类压力容器的焊接	212
一、管板堆焊	212
二、管子与管板焊接	215
三、热交换器大接管的焊接	217
四、热交换器环缝的单面焊双面成形	218
五、热交换器焊接举例	221
第六章 管道及管子焊接	225
§ 6-1 管道和管子	225
一、管道	225
二、管子	225
§ 6-2 管道的对接焊	226
一、管道常用钢材及要求	226
二、对接焊工艺	227
三、大直径管线钢管野外对接焊	231
四、西气东输管道铺设中的焊接	232
五、管道焊后热处理	233
六、管道剩磁对焊接的影响	233
§ 6-3 小口径管的对接焊	234
一、小口径钢管的焊接性	236
二、小口径钢管熔焊对接	237
三、小口径钢管压力焊对接	244

四、异种钢钢管的对接焊	248	三、角焊缝焊接方法	301
§ 6-4 电站锅炉膜式水冷壁焊接	249	四、T形接头的焊接方法	302
一、锅炉膜式水冷壁的焊接要求	249	§ 8-2 轿车车身焊接	302
二、SAA(埋弧焊)	250	一、点焊	302
三、MPM(混合气体保护焊)	251	二、凸焊	309
四、鳍片管高频电阻焊	252	三、CO ₂ 气体保护焊	312
§ 6-5 焊接钢管制造方法	252	四、钎焊	313
一、高频接触焊管	252	五、激光焊	313
二、高频感应焊管	253	六、车身车间的供电系统	315
三、螺旋焊管	253	§ 8-3 薄壁盛器焊接	315
四、直缝埋弧焊管	254	一、油桶焊接	315
五、不锈钢焊接管	255	二、食品罐头焊接	317
第七章 壳体构件焊接	257	三、轿车油箱焊接	317
§ 7-1 铁路车辆焊接	257	四、摩托车油箱焊接	318
一、铁路车辆的分类与结构形式	257	§ 8-4 薄壁散热器焊接	318
二、车体焊接结构在设计制造中的特点	258	一、钢翅片管散热器焊接	318
三、客车车体钢结构的焊接	259	二、低温紫铜管翅片式散热器焊接	318
四、货车车体钢结构的焊接	263	三、不锈钢板翅片式散热器焊接	319
§ 7-2 高速客车和城市轨道车辆焊接	264	四、板式蒸发器焊接	319
一、高速客车车体承载结构的形式及材质 选择	264	§ 8-5 金属软管焊接	320
二、高速客车车体的焊接	266	一、管坯纵缝焊接	320
三、城市轨道车辆车体的焊接	267	二、波纹管环缝焊接	321
§ 7-3 船舶焊接	270	三、金属软管钎焊	322
一、船舶焊接特点	270	§ 8-6 带钢焊接	322
二、船体分段制造中的典型焊接顺序	281	一、带钢(宽板)拼焊	322
三、平面分段组焊流水线	284	二、钢带卷内圈带头的固定焊接	323
§ 7-4 海洋工程及其典型结构焊接	285	第九章 机械构件焊接	326
一、海洋工程结构特点	285	§ 9-1 典型零部件的焊接	326
二、海洋工程焊接工艺特点	286	一、大直径齿轮	326
三、海洋工程用钢材	287	二、焊接齿轮的结构形式和制造工艺	327
四、海洋工程主要结构焊接	290	§ 9-2 汽轮机转子的焊接	329
§ 7-5 集装箱焊接	293	一、焊接转子的优越性	329
一、集装箱结构和要求	293	二、转子焊接要求	330
二、集装箱生产流水线	294	三、转子用钢的焊接性和焊接材料选用	330
三、集装箱焊接规范	294	四、焊接坡口	331
第八章 薄板构件焊接	297	五、转子焊接工艺流程	331
§ 8-1 薄板焊接综述	297	§ 9-3 水轮机转轮的焊接	333
一、对接焊缝焊接方法	297	一、转轮的焊接结构	333
二、搭接焊缝焊接方法	299	二、转轮单件毛坯的制作	333
		三、转轮组装和焊接	336
		§ 9-4 机车车辆转向架构架的焊接	338

一、机车转向架构架的焊接	338	§ 11-6 核电蒸汽发生器管子激光焊修复	365
二、铰接式客车转向架构架的焊接	340	一、YAG 激光焊套管技术的概况	365
§ 9-5 冶金轧辊堆焊	342	二、机器人系统	365
一、堆焊材料的选择	342	§ 11-7 轧钢机支承辊断裂的焊接修复	367
二、轧辊堆焊工艺	344	一、支承辊断裂情况和修复可行性分析	367
三、堆焊中可能出现的问题	345	二、焊接坡口设计及焊接工艺方案	367
第十章 精密器件焊接	346	三、辊身焊接	367
§ 10-1 两种航天器件的焊接	346	四、焊接质量检验	368
一、硅太阳能电池的电阻焊	346	五、运行考核试验	368
二、钛合金球形高压气瓶的氩弧焊	347	§ 11-8 大型灰铸铁件裂纹的冷焊修复	368
§ 10-2 电子电工元器件的焊接	347	一、灰铸铁件的镍基焊条焊补技术	368
一、印刷电路板组装中的软钎接	347	二、大型灰铸铁件缺陷的焊补	370
二、银触点与簧片的电阻焊	348	§ 11-9 粉末火焰喷熔修复	370
三、毛细铂电极的热压焊	351	一、粉末火焰喷熔修复的基本要求	370
四、全膜电容器的软钎接	351	二、粉末火焰喷熔修复实例	371
五、光波导线的对接焊	352	§ 11-10 外因性破坏的焊接修复	372
第十一章 缺陷补焊与焊接修复	354	一、破坏概况	372
§ 11-1 补焊一般要求	354	二、修复加固技术准则	372
一、补焊工作的特点	354	三、引桥的修复及技术经济效果	373
二、补焊方案的确定	354	§ 11-11 印刷电路板的焊接修复	373
三、补焊工艺的制订	355	一、集成块无损拆卸	373
四、补焊注意事项	356	二、损坏内引线的激光焊接	374
§ 11-2 锅炉汽包再热裂纹的补焊	356	三、局部烧损印刷电路板的焊补	374
一、再热裂纹的发现	356	§ 11-12 国际焊接学会关于采用焊接方法	
二、再热裂纹的补焊	357	修复和加固钢结构的建议	374
§ 11-3 白口铸铁轧辊补焊	359	一、前言	374
一、白口铸铁轧辊的特点	359	二、总论	375
二、焊接材料的研制和选择	359	三、在厂内对基本金属的修复	375
三、补焊的主要工艺措施	360	四、制造厂修理	375
§ 11-4 大型汽轮机汽缸裂纹的补焊	361	五、现存结构的加固和修复	376
一、大型汽轮机汽缸筒简介	361	附录	378
二、汽缸裂纹的补焊工艺	361	一、焊缝符号	378
三、补焊缝的质量检查	362	二、坡口形式与尺寸	378
§ 11-5 汽轮机重要部件的焊接修复	362	三、焊接生产现场安全	387
一、燃气轮机压气机转子的焊接修复	362	四、常用焊接名词术语汉英对照	387
二、汽轮机转子轮盘的焊接修复	363	参考文献	394
三、汽轮机末级叶片的修复	364		

第一章 焊接生产的一般要求与质量管理

§ 1-1 焊接方法简介

随着现代工业生产的迅猛发展,焊接已成为机械制造等行业中一种愈来愈重要的加工工艺手段。目前,焊接已广泛用于能源、石油化工、航空航天、原子能、海洋、交通等重大工程项目,同时亦遍及工业生产的各个领域。据报道,各工业发达国家用于焊接结构件的钢材占各国全年钢产量的40%~45%,可见焊接技术在工业生产中占有何等重要的地位。

同时,随着科学技术的发展和生产加工的需要,焊接技术本身也获得飞跃发展。各种焊接方法不断完善,新的焊接方法相继出现,目前各种焊接方法已有数十种之多,表1-1对现有的各种焊接方法进行分类。

表1-1的分类只是一种粗线条的划分,事实上,其中很多方法由于附加条件的不同还可以再进行细分。例如,埋弧焊由于焊丝数量的不同,可以分为单丝埋弧焊和多丝埋弧焊,或由于坡口间隙的不同,可以分为普通间隙埋弧焊和窄间隙埋弧焊;钨极惰性气体保护焊和等离子弧焊又可分为加填充丝和不加填充丝焊;熔化极活性气体保护电弧焊(MAG)又可分为CO₂气体保护焊和混合气体保护焊;药芯焊丝电弧焊也可分为自保护药芯焊丝电弧焊和气体保护药芯焊丝电弧焊;电渣焊则可分为丝极电渣焊、板极电渣焊和熔化嘴电渣焊;等等。

在表1-1所列的焊接方法中,最常用的为电弧焊。绝大部分焊接钢结构和大型机械零部件,均采用电弧焊焊接。就是有色金属的焊接结构件,亦大多采用电弧焊焊接。

下面就一些常用的焊接方法及其适用范围作一简要介绍。

一、手弧焊

手弧焊或手工焊,是手工电弧焊的简称,在电弧焊中,它仍是目前应用最广、对多种场合均适应的一种焊接方法。常被应用于碳钢、低合金钢、不锈钢、铸铁、有色金属以及镍基合金等的焊接。

表 1-1 焊接方法分类

类 别	种 别
电 弧 焊	手弧焊 埋弧焊 螺柱焊 非熔化极(钨极)气体保护焊 等离子弧焊 熔化极惰性、活性气体保护焊 药芯焊丝电弧焊
电 渣 焊	
高能束焊	电子束焊 激光焊
电 阻 焊	点 焊 缝 焊 凸 焊 对接焊
钎 焊	火焰钎焊 炉钎焊 感应钎焊 扩散钎焊
其他焊接	气 焊 摩擦焊 高频焊 超声波焊 爆炸焊 冷压焊

手弧焊设备简单,电源有交流、直流两种。交流为弧焊变压器,直流基本上为弧焊整流器,即整流式直流弧焊机,而弧焊发电机已不再被使用。由于整流器类型的不同,直流弧焊机又可分为晶闸管式(可控硅式)、晶体管式和逆变式等数种。其中晶闸管式弧焊整流器目前使用最为广泛,而逆变焊机由于体积小、效率高、调节性能好,适用于多种焊接方法,因此是一种很有发展前途的弧焊电源。

同样,药皮电弧焊条按涂层性质也可分为酸性和碱性两大类。酸性焊条可用交流焊机焊接,而碱性焊

条则必须用直流焊机焊接。有关焊接材料的介绍,详见后面的 §1-3。

二、埋弧焊

埋弧焊是大型焊件直缝和环缝焊接的最佳选择方案。埋弧焊焊缝质量好,生产效率高,可采用大电流焊接。加上埋弧焊操作简便,无明显弧光辐射,安全可靠,深受广大焊接工作者的喜爱,因此是应用最广泛的机械化焊接方法之一。随着窄间隙埋弧焊工艺的出现,焊接效率和接头质量进一步提高,因此在制订厚壁容器和大型构件的焊接方案时,电渣焊已有逐渐被埋弧焊替代的趋势。埋弧焊适合于各种钢材和铜、镍等合金的焊接。埋弧焊设备由焊接小车(送丝机构)、电源和控制箱3部分组成。电源同样有交、直流两种,由于对焊缝质量的要求不断提高,所以已愈来愈多地采用晶闸管控制的弧焊整流电源。

三、螺柱焊

螺柱焊适用于将螺栓、销钉等柱状元件焊于金属工件。螺柱元件一般由碳钢和不锈钢制成,直径 $\phi 2 \sim 10$ mm。在特殊情况下,也可焊接较大直径的螺柱元件。为了便于起弧,与工件接触的螺柱元件一端加工成锥体(约 $7^\circ \sim 8^\circ$)。螺柱焊采用整流电源,可进行手工、半自动或全自动操作。通常,螺柱焊在可熔融的陶瓷套圈保护下进行,可有效地提高焊接质量。根据螺柱直径和工件厚度的不同,焊接熔深约 $0.1 \sim 0.4$ mm,焊接过程约 $0.1 \sim 2$ s。

四、非熔化极气体保护焊

非熔化极气体保护焊主要为钨极氩弧焊,又称TIG焊或GTAW焊。钨极氩弧焊是一种利用钨极与工件之间引燃电弧进行焊接的方法。钨极氩弧焊适合于合金钢、不锈钢、钛合金、镍基合金和有色金属薄板的焊接。由于钨极氩弧焊能很好地控制焊接线能量,所以亦广泛用于各种钢材不同壁厚坡口的打底焊。钨极氩弧焊焊缝质量高,可以进行不加填充焊丝和加填充焊丝的全位置焊接。在不加填充焊丝的情况下,对接焊往往不开坡口,焊缝靠母材熔化形成。对于稍厚的焊接件,一般采用加填充丝焊接。有时为了进一步控制焊接线能量,提高熔敷速度,减少工件变形,也采用热丝钨极氩弧焊。这时,在进入熔池前,先用交流电源对焊丝预加热。钨极氩弧焊一般在直流正接(DCEN)下焊接,因此工件受热高,熔深比较深。但铝、镁合金和铝青铜等除外,这些材料通常采用交流电源焊接。直流反接(DCEP)一般不采用,因反接时钨极容易过热熔化,只能小电流焊接,熔深也就比较浅。

钨极氩弧焊分无脉冲和有脉冲两种。脉冲焊时,电流幅值按一定频率周期性地变化,高电流为脉冲电流,低电流为基值电流。熔池在高电流时形成,在低电

流时凝固。每一脉冲周期形成一个焊点,整条焊缝由一连串的焊点叠加而成。钨极脉冲氩弧焊的特点是可以较低的焊接线能量来获取较大的熔深,便于控制熔池的尺寸和提高熔池的保持能力,因此更适合于进行全位置焊接并减小焊件变形。

钨极氩弧焊设备简单,操作简便,在比较重要的焊接件中已被广泛采用。

五、等离子弧焊

等离子弧焊(PAW)是一种利用钨极和工件之间压缩电弧实现焊接的方法。等离子弧焊的最大特点是能量密度大,电弧穿透能力强。由于等离子弧焊时,在大多数金属的一定厚度范围内能产生小孔效应,所以可在不开坡口的情况下获得充分熔透和反面成形良好的焊缝。例如对于钢板,一次就能焊透 $6 \sim 8$ mm。虽然等离子弧也可以在不产生小孔的情况下送丝进行多层焊,但从经济角度考虑,一般不推荐。微束等离子弧在焊接极薄件时显示出极大的优越性,在电流小于 1 A下仍能获得稳定的等离子弧。对不锈钢板来说,最薄可焊至厚度仅 0.025 mm。与钨极氩弧焊一样,可采用加填充焊丝或不加填充焊丝的等离子弧焊接。等离子弧焊适用于碳钢、低合金钢、不锈钢、镍基合金、铜合金和钛合金等的焊接。

等离子弧焊设备比较复杂,价格也较贵,所适用的板厚范围较窄,焊接质量稳定性较差,因而限制了它的应用。

六、熔化极气体保护焊

熔化极气体保护焊分为熔化极惰性气体保护焊(又称MIG焊)和熔化极活性气体保护焊(又称MAG焊)两种。熔化极惰性气体保护焊以氩气或氦气作为保护气体,而熔化极活性气体保护焊则以 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 、 $\text{Ar} + \text{O}_2$ 或 $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ 富氩混合气体或 CO_2 作为保护气体。 CO_2 气体保护焊虽是MAG焊的一种,但习俗认为是一种独立分类的焊接方法。

熔化极气体保护焊是近年来发展较迅速的一种焊接方法,适用于碳钢、低合金钢、不锈钢、镍基合金、钛合金和有色金属等材料的焊接。熔化极气体保护焊熔敷率比较高,焊接质量稳定,能进行全位置焊接。与钨极氩弧焊(TIG焊)一样,MIG焊或MAG焊也有加脉冲和不加脉冲焊接两种,脉冲焊可控制焊接线能量,适宜于薄件和全位置焊接,目前已获得普遍使用。MIG焊焊缝呈酒杯状,加入一定数量的 CO_2 或 O_2 能增加熔池的流动性,改变焊缝成形。熔化极气体保护电弧焊的熔滴过渡有4种形式,即喷射过渡、脉冲喷射过渡、熔滴过渡和短路过渡。喷射过渡通常在采用 $\text{Ar} + 5\% \text{O}_2$ 或 $15\% \text{CO}_2$ 混合气体保护时最易获得。喷射过渡主要与电流密度和极性有关,在某种程度上也与焊丝成分有关,当电流在直流反接(DCEP)下超过一

定的临界值即转折电流时,会突然发生高速熔滴形成,每秒钟有数百滴非常细的熔滴向焊接熔池过渡。低于这一电流,金属一般以大于焊丝直径的粗滴过渡,速度为每秒 10~20 滴。

脉冲喷射过渡与非脉冲喷射过渡相似,但在脉冲电流控制下发生,以每秒 50~100 次脉冲的典型速度,在低电流下形成熔滴,然而在高电流下脉冲挤出。脉冲喷射过渡适宜于全位置焊接。

熔滴过渡是在焊丝端部形成熔滴通过电弧空间向熔池转移的过渡形式,熔滴呈粗大颗粒状时为粗滴过渡。熔滴过渡是 CO₂ 气体保护焊所特有的过渡方法。熔滴过渡的通常做法是采用低电弧电压,由于电弧的“埋藏”特性,熔深加深,飞溅小。一般采用

φ1.2~1.6 mm 的焊丝。熔滴过渡的速率约每秒 20~70 滴。

短路过渡系指焊丝端部的熔滴与熔池短路接触,由于强烈的过热的磁收缩作用而使熔滴爆断,直接向熔池过渡的一种形式。短路过渡时,通常采用小直径焊丝(φ0.8~1.2 mm)并采用比喷射过渡较低的电压和较小的电流,同时采用专门的焊接电源。短时频率通常为每秒 50~200 次。金属每短路一次便过渡一次。短时过渡气保焊时一般采用 Ar-CO₂ 混合气体或 100% CO₂ 气体保护,但混合气体保护焊更适宜于薄板焊接。

表 1-2 列出在熔化极气体保护焊时,几种熔滴过渡形式的比较。

表 1-2 熔化极气保焊熔滴过渡形式的比较

过渡形式	保护气体	焊接位置	适用材料	板 厚	焊丝直径(mm)	特 征
喷 射	Ar+5% O ₂ 或 15% CO ₂	平、横	低合金钢、不锈钢、 镍基合金、有色金属	中、厚件	φ1.2~2.4	电流超过一定数值时, 产生熔深较大
脉冲喷射	Ar+5% O ₂ 或 15% CO ₂	全位置	低合金钢、不锈钢、 镍基合金、有色金属	薄、中件	φ1.2~2.4	在较低电流下产生可 控制焊接线能量,焊缝成 形均匀
熔 滴	CO ₂	平、横	碳 钢	中等件	φ1.2~1.6(亦 可采用更大直径 的焊丝)	采用较低的电弧电压
短 路	Ar + CO ₂ 或 100% CO ₂	全位置	碳钢、低合金钢	薄 件	φ0.8~1.2	采用较低的电弧电压 和小电流,可控制焊接线 能量(采用专用电源 最佳)

表 1-3 列出几种气体保护电弧焊方法的比较。

表 1-3 几种气体保护焊方法的比较

项 目	TIG		PAW		CO ₂	MIG(MAG)	
有否脉冲	无	有	无	有	无	无	有
焊接位置	平、横	全位置	平、横	全位置	平、横	平、横	全位置
保护气体	Ar Ar+He		Ar、He Ar+He、Ar+CO ₂		CO ₂	Ar、Ar+CO ₂ Ar+O ₂	
焊 丝	可加,可不加		可加,可不加		加	加	
工艺性能	佳	最佳	佳		较差	较佳	佳
焊接质量	好		好		外观成形差	好	
效 率	低		高		高	高	

续 表

项 目	TIG	PAW	CO ₂	MIG(MAG)
适用材料	碳钢、合金钢、不锈钢、镍基合金、有色金属等	碳钢、合金钢、不锈钢、镍基合金、有色金属等	碳钢	碳钢、合金钢、不锈钢、有色金属等
适用焊件	薄件、厚件的打底焊道	对钢材可一次焊透 7~8 mm	中等厚度	中等厚度及较薄件

七、药芯焊丝电弧焊

药芯焊丝电弧焊即 FCAW, 亦称管状焊丝电弧焊。药芯焊丝电弧焊分自保护药芯焊丝电弧焊和气体保护药芯焊丝电弧焊两种。自保护药芯焊丝电弧焊靠焊丝内部的焊剂释放气体和产生熔渣进行保护, 但较多用于硬化层堆焊。而气体保护药芯焊丝电弧焊实质上系熔化极气体保护电弧焊的一种, 只是采用药芯焊丝来代替实芯焊丝。药芯焊丝电弧焊有良好的焊接性, 其性能与药芯的成分有关。药芯焊丝电弧焊一般用于厚 6 mm 以上中厚钢板焊接。由于可选用较大电流焊接, 故熔敷率大大提高。保护气体有 CO₂、Ar+CO₂ 等, 与采用实芯焊丝时类同。

药芯焊丝有三种形状, 即无缝焊丝、对接封闭焊丝和折叠焊丝。无缝焊丝的药芯重量占整个焊丝重量的 12%~14%, 对接封闭焊丝占 14%~20%, 而折叠焊丝则占 28%~36%。由于无缝焊丝的药芯比例太小, 故一般很少应用。对接封闭焊丝采用厚带制造, 一般可拉制到 $\phi 1.2 \sim 1.4$ mm。而折叠焊丝则采用薄带制造, 焊丝直径 $\phi 1.6 \sim 2.4$ mm。因在薄带中电流密度高, 故熔敷率亦高, 又因折叠焊丝药芯最多, 所以合金成分亦易控制, 适宜于制造高合金钢焊丝。同手工焊条一样, 药芯焊丝亦有碱性芯丝和金红石型芯丝两种, 也可加入铁粉。碱性芯丝与碱性焊条相似, 可提供较高的焊缝韧性。

表 1-4 列出药芯焊丝电弧焊(FCAW)与实芯焊丝气体保护电弧焊(GMAW)的比较。

表 1-4 FCAW 与 GMAW 的比较

焊接方法	FCAW	GMAW
保护气体	CO ₂ 、Ar+CO ₂ 、Ar	Ar+CO ₂ 、Ar+O ₂ 、Ar
焊 丝	药芯	实芯
适用材料	各种钢材	各种钢材
厚 度	≥6 mm	各种厚度
熔 敷 率	高	一般
焊接位置	全位置焊接性能好	可进行全位置焊接
合 金 化	可通过药芯过渡	靠金属丝过渡
工 艺 性	极佳	佳
焊缝质量	好	好

八、电渣焊

电渣焊是利用熔渣的电阻热将工件端部和填充金属熔化而形成熔池的一种焊接方法。电渣焊一般在垂直位置焊接。根据电极形状的不同, 电渣焊可分为丝极电渣焊、板极电渣焊和熔嘴电渣焊 3 种。电渣焊适合于大厚度钢材对接接头和 T 形接头的焊接, 而且不论焊件多厚, 均能一次焊成, 到目前为止, 最大厚件已达 1 m 以上。由于电渣焊不需开坡口, 只需留有一定装配间隙就可焊接, 所以电渣焊生产率高, 而且厚度愈大, 效率愈显著。但电渣焊也有一定的不足之处, 由于长时间在高温下滞留, 焊缝和热影响区晶粒粗大, 焊接接头的冲击韧性偏低, 一般焊后需进行正火加回火热处理才能改善冲击韧性等力学性能。

表 1-5 列出手弧焊、埋弧焊和电渣焊 3 种方法的比较。

表 1-5 3 种焊接方法的比较

项 目	手弧焊	埋弧焊	电渣焊
适用材料	各种材料	各种钢材、镍合金、铜合金	碳钢、低合金钢
工件厚度	中小厚度	中等厚度	大厚度
焊接位置	全位置	平焊	立焊
结构类型	各种类型	直缝、环缝	直缝
生产率	低	高	最高
接头性能	佳	最佳	稍差

九、电子束焊

电子束焊是利用聚束的高速电子流轰击工件表面所产生的热能进行焊接的一种方法。电子束焊功率密度高, 穿透能力强, 焊缝的熔透深度与宽度比可达 30:1, 已正常焊接厚度达数十毫米的钢材。由于电子束焊接在真空中进行, 避免了熔融金属在焊接时的氧化和氮化, 因而焊缝纯度高, 适合于对氧和氮亲和力较强的锆、钼、钨、铌、钽、镁和钛等金属的焊接, 同样亦适合于合金钢、不锈钢和一般有色金属的焊接。

电子束焊接可分为高真空焊接、低真空焊接和局部真空焊接。低真空和局部真空焊接适合于大型焊件的焊接。

由于真空电子束焊接设备价格昂贵,并有析出 X 射线的危害,所以推广比较困难。

十、激光焊

激光焊是利用辐射激发光束经聚焦后转变为热能而进行焊接的一种方法。激光焊功率密度比较高,热量集中,焊接变形小,特别适宜于薄板的高速焊以及微型电路元件和代表元件等的焊接。与电子束焊不同,激光焊不需真空保护,在大气中传播功率损耗小,而且可以通过光导纤维、棱镜等方法传输、偏转和聚焦,因此能够焊接不易直接进入的部位。根据激光器类型的不同,激光焊可分为钇铝石榴石固体激光焊和 CO_2 气体激光焊两种。而按其工作方法,激光焊又可分为连续激光焊和脉冲激光焊。目前影响激光焊扩大使用的主要障碍是激光器价格昂贵,以及对焊件的加工精度和辅助装置的要求均很高。

十一、电阻焊

电阻焊是将工件置于两电极之间,并施加压力,利用电流流经接头的接触面及其邻近区域产生电阻热,使接触面熔化或进入塑性状态而进行焊接的一种方法。电阻焊按其连接方式的不同可分为点焊、缝焊、凸焊和对焊。由于该几种方法的机理基本相同,故在此一并阐述。点焊和缝焊一般采用搭接连接,焊点(或称熔核)或连续焊点在两被焊工件之间形成。凸焊是点焊的一种变型,它通过在一个工件上预制的凸点实现点与点之间的接触和焊接。对焊则是将两工件端面相接触,通上电流使接触面加热,然后加压,使两端面连接起来。

电阻焊成本低、速度快,但点焊和缝焊仅适用于厚度小于 3 mm 的薄板构件的搭接焊,而且点焊还只能用于不要求密封的焊件。凸焊较多用于碳钢的冲压件。对焊则要求工件截面有一定形状,且进行长度方向的连接,如型钢、钢管、连杆等等。对焊又分电阻对焊和闪光对焊两种。

电阻焊适用于低碳钢、合金钢、不锈钢和铝、钛等合金的焊接,并较多用于汽车、车辆、航空、航天和轻工等工业领域。

十二、钎焊

钎焊与熔焊不同,钎焊时母材不熔化,利用液态钎料润湿母材,填充接头间隙,与母材相互扩散而实现连接。钎焊分软钎焊与硬钎焊两种。软钎焊的钎料液相线温度在 450°C 以下,而硬钎焊的钎料液相线温度高于 450°C 。按加热方式的不同,钎焊又可分为火焰钎焊、炉钎焊、感应钎焊、浸沾钎焊(如盐浴钎焊)等数种。钎焊方法可根据工件的形状、尺寸、材料和批量等的不同来选择。火焰钎焊方便灵活、设备简单,但操作技术要求较高,一般用于小件小批量生产。炉钎焊加热均匀,工件变形小,但加热速度慢,设备费用较高,适宜于

批量生产和多钎缝工件的钎焊。对质量要求较高的工件,还可以进行保护气氛炉钎焊或真空炉钎焊。感应钎焊加热速度快,质量稳定,而且可以直接观察钎料的熔融状况,但感应圈的设计好坏对钎焊面的加热均匀程度有很大影响,所以比较适用于形状对称的工件,也适宜于批量钎焊。盐浴钎焊的特点是加热速度快,温度控制精确,但设备费用高,焊后需仔细精洗工件,一般用于批量钎焊。

选择钎料时,应考虑钎料与母材的相互作用。钎料的种类很多,硬钎焊中使用较多的是银基钎料和铜基钎料,这些钎料钎焊温度适中,获得的接头性能稳定,适宜于碳钢、合金钢、不锈钢、铜合金等多种金属材料钎焊。

以上为常用焊接方法的一般性介绍,而其他方法往往在特定情况下使用,这里就不再一一赘述了。

§ 1-2 焊接技术经济分析与焊接方法选择

一、焊接技术经济分析

焊接方法的选择主要取决于焊接质量的可靠程度、生产率的高低和生产费用的多寡。其中质量可靠是选择焊接方法的先决条件,在质量可靠的前提下,才会进一步考虑其他方面的因素。但质量也有一定的标准,并不是要求越高越好,实际上,只要能满足对产品的技术要求就行。如果几种焊接方法均能提供满意的焊接接头,那就优先选择生产率高或生产成本低的方法。如能用手工电弧焊的就不用手工氩弧焊,能用 CO_2 气体保护焊的就不用 MIG 焊或 MAG 焊。在分析生产率和计算生产成本时,对有一定批量的生产任务,首先应考虑的是质量稳定和生产率高的机械化、自动化焊接方法。这时甚至不惜添置必要的先进设备和采用新的焊接工艺。而在单件或小量生产的情况下,则往往考虑选用厂里现有的工艺和装备。

当然,焊接方法的选择还与工件厚度、结构类型、接头形式和母材性能等诸多方面有关。厚壁构件采用普通埋弧焊、窄间隙埋弧焊或电渣焊较多,而超薄件则往往采用脉冲 TIG 焊、微束等离子焊或激光焊。汽车油箱和板式取暖器等包壳形冲压焊接件一般采用电阻缝焊,而有缝钢管的焊接则大多采用高频感应或高频接触焊。管子-管板接头最好采用加填充焊丝的自动钨极氩弧焊,而圆截面零件的对接则可采用摩擦焊。钢材焊接大多采用电弧焊,而有色金属的连接在很多场合则采用钎焊。金属与陶瓷材料的焊接采用真空扩散钎焊比较合适,而难熔金属的焊接最好采用真空电子束焊。

由此可见,要选择技术上、经济上合适的焊接方

法,不仅要根据产品的技术要求、结构形式和所用材料,而且还要熟悉各种焊接方法的特点及其适用范围。特别是近年来,随着科技的发展和生产的需要,新的焊接方法不断涌现,原有的焊接方法也在技术进步的基础上不断改进和提高。所以在选用焊接方法时,必须注意到焊接技术的发展。

从技术经济分析来看,生产率与生产成本往往是一对比较突出的矛盾。从药芯焊丝电弧焊、实芯焊丝气体保护焊和手工电弧焊 3 种工艺方法的比较来说,药芯焊丝电弧焊和实芯焊丝气体保护焊有较高的负荷持续率和熔敷效率,其负荷持续率在半自动操作时为 40%,而在机械化操作时则可达 80%~90%,生产率比较高。药芯焊丝电弧焊由于可采用较大电流,故其熔敷速度比实芯焊丝气保焊更高。图 1-1 示出 3 种不同焊接过程的熔敷速度。

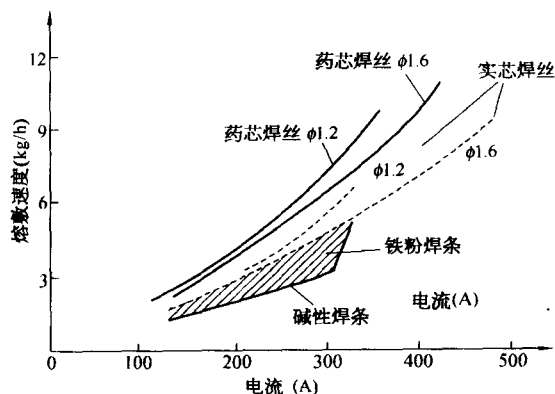


图 1-1 3 种不同焊接过程的熔敷速度

比较 3 种不同焊接过程可以看出,药芯焊丝电弧焊的熔敷速度最高,实芯焊丝气保焊次之,而手工电弧焊则最慢。在手工电弧焊中,铁粉焊条的熔敷速度要高于普通碱性焊条。

在同一电流下,φ1.2 mm 焊丝的熔敷速度比 φ1.6 mm 焊丝要高。但由于 φ1.6 mm 焊丝能在较大电流下使用,所以其实际熔敷速度与 φ1.2 mm 基本相当。

同样,从成本看,几种焊接方法的成本也是不同的。图 1-2 示出焊接不锈钢时,手工电弧焊和 MIG 焊生产成本的比较。

由于实芯焊丝气保焊的生产率比较高,生产成本又较低,所以在可能的情况下,倾向于采用 MIG 焊或 MAG 焊来代替手工电弧焊。然而,药芯焊丝电弧焊除了有较高的熔敷速度外,其全位置焊接性能还优于实芯焊丝气保焊,且焊缝成形好,韧性高,对吸潮不敏感,是一种较理想的焊接方法,已在多种场合推广使用。

但是,药芯焊丝的市场价格目前还比较高,约为实

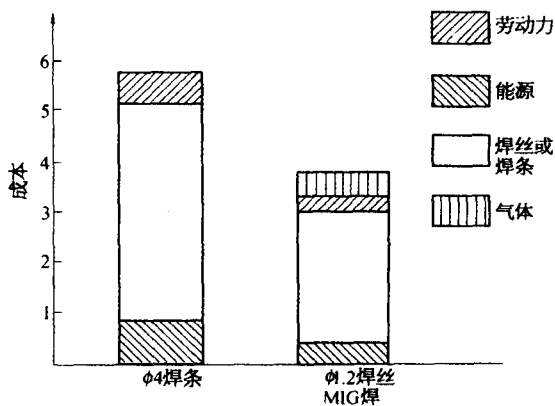


图 1-2 焊接不锈钢生产成本的比较

芯焊丝的 3 倍,那么是否值得采用药芯焊丝电弧焊呢?这要看焊接材料(焊丝)的价格在焊接生产成本中占有多大的比例而定。焊接成本主要包括焊材(焊丝加气体)、工资和设备折旧,比较粗略的估算说明,在劳动力价格比较低的情况下,焊材将占较大的比重,采用药芯焊丝成本比较高。从经济角度讲,只有当劳动力价格在总成本中约超过 60% 时,采用药芯焊丝才划算。

在用机器人焊接的场合,由于设备投资费用高,利用缩短工作时间来降低设备折旧费具有一定的意义,它可以抵消因药芯焊丝昂贵所增加的部分费用。在这种情况下,甚至可采用金属芯焊丝焊接,因焊后可免去除渣,有利于机器人的连续焊接。

在 MAG 焊中,CO₂ 是最经济的气体,但 CO₂ 气保焊对电流有限制。在大电流下,焊接烟雾大,飞溅增加,焊嘴需经常清理。所以为了得到电弧稳定的喷射过渡,推荐采用 Ar+CO₂ 或 Ar+O₂ 混合气体保护焊接,其成本由于焊接质量的提高和劳动强度的改善而得到充分补偿。

二、焊接方法选择

例如,对厚度为 50、100 和 200 mm 的 3 种厚壁容器纵缝和环缝进行焊接方法比较,从而选择技术经济上最佳的焊接工艺方案。事实上,最佳方案随焊缝的长度(批量)和厚度而异,而且根据各厂的实际情况也可能有所区别。

为此进行了 4 种方法的比较,它们是:

- 单丝埋弧焊(单丝 SAW);
- 双丝埋弧焊(双丝 SAW);
- 窄间隙埋弧焊(NGW);
- 电渣焊(ESW)。

首先从经济角度来分析,与焊接方法选用有关的一些因素。

1. 年产量 对普通方法来说,年产量的多少对成本的影响不大,而对特殊方法如窄间隙埋弧焊或电渣

焊来说,因牵涉到昂贵的设备费用,则年产量愈大,成本愈低。当然,如果厂内已具备该类设备,当另作别论了。

2. 设备价格 在上述4种焊接工艺方法中,设备价格以窄间隙埋弧焊最高,电渣焊次之,双丝埋弧焊第3,单丝埋弧焊最低。此外,在考虑主设备的同时,还应考虑滚轮架、操作机、预热、磨锉等辅助装置的价格。辅助装置中,也以窄间隙埋弧焊的要求最高。

3. 坡口加工 坡口加工对 NGW 和 SAW 两者差别不大,而对 ESW 要简便一些,因 ESW 坡口可气割,但与铜垫块接触的表面仍需打磨光滑。总的来说,坡口加工费用与壁厚和焊缝长度有关,与焊接方法关系不是很大。

4. 焊接材料 用于焊接材料的费用与坡口大小以及焊材价格有关。在考虑的厚度范围内,NGW 坡口最小,焊材消耗少。而比较 SAW 和 ESW 来看,当壁厚为 50 mm 时,SAW 消耗的焊材比较少,当壁厚为 100 mm 和 200 mm 时,则 ESW 比较优越。

对上述4种焊接方法来说,焊丝牌号基本相同,但焊丝直径可能不完全一样,直径愈细,价格愈高。此外,NGW 对焊剂脱渣性能要求比较高,所以 NGW 焊剂也就贵一些。

5. 焊接工时 焊接工时直接反映焊工付出劳动力的多少。焊接工时除与坡口大小有关外,还与所用方法的熔敷速率以及焊接设备的负载持续率有关。熔敷速率以单丝 SAW 和 NGW 最低,双丝 SAW 较高,ESW 最高。特别在采用双丝或3丝电渣焊的情况下,熔敷速率更高。

同样,负载持续率愈低,成本愈高。短焊缝、敲渣、换焊嘴、换焊丝、补焊和故障等,都会降低设备的负载持续率。一般说来,负载持续率以 ESW 最高,SAW 其次,NGW 则与设备的操作熟练程度有关。

对上述4种方法来说,至少均需2名焊工同时操作。

6. 清理与磨锉 ESW 不需清根,但打磨工作量比较大。NGW 与 SAW 差不多。

7. 热处理 ESW 焊后需要回火处理,而 NGW 和 SAW 一般只需作消除应力处理。

8. 探伤 以上4种焊接方法中,探伤费用大致相同,但以 ESW 稍高。

9. 其他 其他如焊补和能源消耗等,就不对其作经济分析了。

下面试图对以上4种焊接方法的成本进行粗略估算。估算前,先设定每台容器的焊缝长50 m。如每年生产2台,即100 m,每年生产10台,即500 m。

焊接成本主要来自3个方面,即设备折旧、工资和焊接材料,其他方面的费用,如热处理、加工、探伤和能

源等,姑且不考虑进入成本估算。当然,在某些特定场合还是需要考虑的。

具体估算如下:

1. 设备折旧 设备折旧以8年为限,即每年为12.5%,加上利息5.5%和维修费用2%,每年需折旧20%。

假设单丝 SAW 焊机的价格为50 000元,双丝 SAW 焊机为100 000元,ESW 焊机为300 000元,NGW 焊机为500 000元,则相应折旧费为:

	每年2台共100 m	每年10台共500 m
单丝 SAW	¥100/m	¥20/m
双丝 SAW	¥200/m	¥40/m
ESW	¥600/m	¥120/m
NGW	¥1 000/m	¥200/m

2. 工资 工资以每小时50元计算,每台设备由2人操作,则工资为¥100/h。

对壁厚为50 mm、100 mm 和 200 mm 的3种容器,根据坡口大小、熔敷速率和负载持续率,同样可对每种焊接方法估算出焊接每米长度焊缝所需的工时和工资。由于影响工时和工资的因素较多,故这里没有进行求算。

3. 焊接材料 焊接材料包括焊丝和焊剂,SAW 采用 $\phi 4.0$ mm 焊丝,ESW 采用 $\phi 3.0$ mm 焊丝,而 NGW 则两种直径都可采用。 $\phi 4.0$ mm 焊丝的单价估算为¥6.5/kg,而 $\phi 3.0$ mm 焊丝的单价为¥7.0/kg;SAW 和 ESW 焊剂的单价估算约¥4.0/kg,而 NGW 焊剂的单价为¥5.0/kg。此外,焊丝和焊剂的消耗比以 NGW 为最高,约1:1.8,SAW 为其次,约1:1.5,而 ESW 为最低,约8:1。这样就可以估算出每公斤焊缝金属所需焊材的价格,进而再估算出每米长度焊缝在3种壁厚情况下的焊材价格,大致为:

	$\delta=50$ mm	$\delta=100$ mm	$\delta=200$ mm
SAW	¥100/m	¥320/m	¥780/m
NGW	¥60/m	¥120/m	¥240/m
ESW	¥120/m	¥200/m	¥440/m

根据不同的年产量和不同的容器壁厚,把3项费用叠加起来,就可以得出4种焊接方法所需费用的比较。比较结果表明,对厚度为200 mm 的容器,无论年产量为100 m 或 500 m,NGW 均显示出其明显的优越性,如果壁厚更厚,或年产量更多,则其优越性更显著。对厚度为100 mm 的容器,如果年产量在300 m 以下,则可采用单丝或双丝 SAW,超过300 m 时,可考虑