

焊接技术

快速入门丛书

邱言龙 雷振国 聂正斌 编著 王兵 审

电阻焊与电渣焊技术

快速入门

电阻焊与电渣焊技术
JIANZHU JIANG
KUAI SU RU MEN

上海科学技术出版社

2015.10

第 1 期 第 1 卷 第 1 期 第 1 期 第 1 期 第 1 期

电阻焊与电渣焊

快速入门

焊接技术快速入门丛书

电阻焊与电渣焊技术快速入门

邱言龙 雷振国 聂正斌 编著
王 兵 审

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电阻焊与电渣焊技术快速入门/邱言龙,雷振国,
聂正斌编著. —上海:上海科学技术出版社,2011.6
(焊接技术快速入门丛书)
ISBN 978 - 7 - 5478 - 0801 - 6

I. ①电… II. ①邱… ②雷… ③聂… III. ①电阻焊
②电渣焊 IV. ①TG453②G448

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 062871 号

上海世纪出版股份有限公司
上海科学技术出版社 出版、发行

(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 889 × 1194 1/32 印张: 9.875

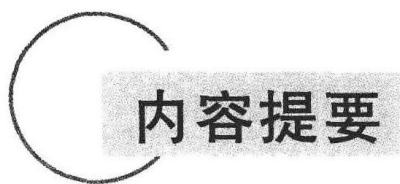
字数: 280 千字

2011年6月第1版 2011年6月第1次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 0801 - 6/TG · 39

定价: 28.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换



内容提要

本书分7章,主要内容包括焊接基础知识,电阻焊与电渣焊基础知识,电阻焊设备及焊接工艺,电渣焊设备及焊接工艺,常用金属材料电阻焊与工程实例,电渣焊技术与工程实例,焊工文明生产与安全保护等。

本书采用图解形式,把焊接技术和操作技能通过图表的方式一一解析,借助大量实习操作和工程技术图片,使复杂问题简单化,更加方便读者理解和掌握焊接技术和操作的技能技巧。本书力求扼要,不过于追求系统及理论的深度,突出“快速入门”的特点,且从应用标准、名词术语、计量单位等各方面贯穿一个“新”字,以便工人尽快与现代工业化生产接轨,适应未来机械工业发展的需要。

本书文句简洁明了、浅显易懂,内容丰富,简明实用,可供焊工自学,也可供再就业部门对下岗、求职工人进行转岗、上岗再就业培训使用。

前 言

焊接是指在两金属件连接处通过加热熔化或加压,或两者并用,以造成金属原子间和分子间的结合而得到永久连接的方法。焊接技术被广泛应用于船舶、锅炉、车辆、飞机和其他金属结构或机器零件的制造。非金属材料(如塑料、玻璃等)也可用焊接方法连接。从焊接工艺的广泛应用,我们可以看出焊接具有如下特点:

(1) 与其他金属连接方法(铆接、螺纹连接)相比,具有节约金属材料、生产率高、能保持水密性和气密性等优点。

(2) 焊接可以化大为小、以小拼大。在制造大型机件与结构件或复杂的机器零件时,可以采用化大为小、化复杂为简单的方法准备坯料,采用铸-焊、锻-焊联合工艺,用小型铸、锻设备生产大型或复杂零件。

(3) 焊接还可以制造双金属结构,如制造不同材料的复杂层容器。

所以,焊接是生产金属构件、机器零件等的重要加工工艺方法,如桥梁、建筑构件、船体、锅炉、车厢、容器等。此外,焊接还是修补铸、锻件的缺陷和磨损零件的重要方法。

为了方便青年工人自学及上岗、转岗再就业人员快速掌握一技之长,我们组织编写了本套“焊接技术快速入门丛书”。本套丛书包括《气焊与气割技术快速入门》、《焊条电弧焊技术快速入门》、《二氧化碳气体保护焊技术快速入门》、《手工钨极氩弧焊技术快速入门》、《等离子弧焊与切割技术快速入门》、《钎焊技术快速入门》、《电渣焊与电阻焊技术快速入门》、《埋弧焊技术快速入门》。每本书中均包含有作业基础知识、操作工艺,以及各种焊接材料、焊接工具、设备的应用,典型焊接工程实例等内容。丛书还用具体章节详细介绍了焊工技术基础知识和焊工安全文明生产知识、劳动保护知识,包括预防触电及抢救的安全知识,防火、防爆、防辐射的安全知识,预防有害气体和金属烟尘中毒的安全知识,以及高空作

前 言 ◀◀◀●

业焊接、水下焊接与热切割应注意的安全事项等。

本套丛书采用图文并茂的形式,把焊接技术和操作技能通过图表的方式一一解析,借助大量实际操作和工程技术图片,使复杂问题简单化,更加方便未入门和初入门的焊工理解和掌握。丛书力求简明扼要,不过于追求系统及理论的深度,突出“快速入门”的特点,且从应用标准、名词术语、计量单位等各方面全都贯穿着一个“新”字,便于工人尽快与现代工业化生产接轨,适应未来机械工业发展的需要。

本套丛书旨在通俗、易懂、简明、实用,编写时综合考虑实际需要和篇幅容量,让焊工通过各种焊接工艺入门知识的学习,了解本工艺的专业基础知识和基本操作技能,轻松掌握一技之长,快速迈入焊工之门。各书独立成书,既相互关联,又互为补充。

本套丛书由邱言龙、雷振国、聂正斌编著,由王兵审稿。

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中错误在所难免,望广大读者不吝赐教,以利提高!

编 者

目 录

第一章 焊接基础知识	1
第一节 焊接冶金基础	1
一、焊接化学冶金过程.....	1
二、焊接电弧.....	8
三、焊接热过程.....	15
四、焊缝结晶过程.....	23
五、焊缝气孔与焊接裂纹.....	29
第二节 焊接金属材料及热处理	41
一、金属材料的力学性能.....	41
二、钢材的分类和性能.....	43
三、有色金属的分类及焊接特点.....	47
四、金属热处理基础.....	48
第三节 焊接基础知识	51
一、焊接接头及坡口.....	51
二、焊缝尺寸名称.....	59
三、焊接位置.....	60
四、焊缝符号.....	64
五、焊前预热.....	74
第二章 电阻焊与电渣焊基础知识	75
第一节 电阻焊基础	75
一、焊接热量及其影响因素.....	75
二、热平衡与温度分布.....	80
三、金属材料电阻焊的焊接性.....	81

四、电阻焊的特点	85
五、电阻焊的分类	86
第二节 电渣焊基础	89
一、电渣焊的特点	89
二、电渣焊的分类	91
三、电渣焊的适用范围	95
四、电渣焊的原理	95
第三节 电阻焊与电渣焊安全技术	96
一、电阻焊事故	96
二、电阻焊安全技术	97
三、电渣焊辐射及防护	99
第三章 电阻焊设备及焊接工艺	102
第一节 电阻焊设备的基本知识	102
一、电阻焊设备的基本构成与型号编制方法	102
二、电阻焊设备的通用技术条件及电源的负载持续率	105
三、电阻焊机的工作循环与技术经济指标	109
第二节 电阻焊电源	110
一、单相工频电阻焊电源	110
二、二次整流电阻焊电源	113
三、三相低频电阻焊电源	116
四、电容储能电阻焊电源	117
五、逆变电阻焊机电源	119
第三节 常用电阻焊机及控制器	120
一、点焊机	120
二、凸焊机	134
三、缝焊机	136
四、对焊机	142
五、电阻焊机控制器	149
六、电阻焊机用电极	152
第四节 电阻焊焊接工艺	156
一、点焊工艺	156
二、凸焊工艺	165

三、缝焊工艺	171
四、对焊工艺	178
第四章 电渣焊设备及焊接工艺	185
第一节 电渣焊设备	185
一、丝极电渣焊设备	185
二、熔嘴电渣焊设备	189
三、电渣压焊设备	190
第二节 电渣焊用焊接材料	192
一、电极材料	192
二、焊剂	194
三、管极涂料	195
第三节 电渣焊焊接工艺	196
一、焊接接头及焊件装配	196
二、丝极电渣焊工艺	200
三、熔嘴电渣焊工艺	203
四、电渣压焊工艺	209
第五章 常用金属材料电阻焊与工程实例	213
第一节 金属材料点焊	213
一、常用金属材料点焊	213
二、不等厚板点焊	223
三、异种材料点焊	225
第二节 常用金属凸焊要点	226
一、低碳钢凸焊	226
二、不锈钢凸焊	229
三、镀层钢凸焊	229
第三节 常用金属材料缝焊	230
一、低碳钢缝焊	230
二、不锈钢缝焊	232
三、铝合金缝焊	233
四、镀层钢缝焊	233
第四节 常用金属闪光对焊	236
一、闪光对焊的影响因素	236

二、常用金属闪光对焊	237
三、异种金属闪光对焊	238
第五节 典型电阻焊工程实例	241
一、低碳钢薄板点焊	241
二、低碳钢钢筋闪光对焊	243
三、管材对焊	245
四、环形零件对焊	246
第六章 电渣焊技术与工程实例	249
第一节 电渣焊操作技术	249
一、基本操作	249
二、I形对接接头电渣焊操作	251
三、环缝电渣焊操作	255
四、管极电渣焊操作	258
五、板极电渣焊操作	260
第二节 典型电渣焊工程实例	262
一、立辊轧机机架的熔嘴电渣焊	262
二、 $\phi 250$ mm 轧机中辊支架的板极电渣焊	264
三、钢柱隔板缝焊	265
第三节 电渣焊缺陷及质量检验	271
一、电渣焊接头的质量检验	271
二、电渣压焊质量与检验	273
第七章 焊工文明生产与安全保护	275
第一节 焊工安全文明生产概述	275
一、焊工安全生产的重要性	275
二、预防触电的安全知识	276
第二节 防火、防爆、防毒、防辐射的安全知识	279
一、预防火灾和爆炸的安全知识	279
二、预防有害气体和烟尘中毒的安全知识	280
三、预防弧光辐射的安全知识	280
第三节 焊接、气割现场安全作业	281
一、焊割作业前的准备工作	281
二、焊接热切割作业前的检查和安全措施	281

三、焊割时的安全作业·····	283
四、焊割作业后的安全检查·····	284
第四节 常用焊接方法的安全技术 ·····	285
一、气焊、气割的安全技术·····	285
二、手工电弧焊的安全技术·····	288
三、氩弧焊、等离子弧焊及等离子弧切割的安全问题·····	289
第五节 特殊环境下作业的安全技术 ·····	289
一、高空作业的安全技术·····	289
二、水下焊接与热切割作业的安全技术·····	290
第六节 焊接劳动卫生及个人防护 ·····	294
一、通风技术措施·····	295
二、个人防护措施·····	297
三、改革焊接工艺和焊条成分·····	299
第七节 焊工劳动保护 ·····	299
一、电焊辐射防护措施·····	299
二、高频电磁场的防护措施·····	301
三、焊接烟尘和有毒气体的防护措施·····	301
四、放射性防护措施·····	303
五、噪声防护措施·····	304

第一章 焊接基础知识

第一节 焊接冶金基础

熔焊一般都要经历如下复杂的过程:加热→熔化→冶金反应→结晶→固态相变→形成接头。熔焊时,在熔化金属、熔渣、气相之间进行一系列化学冶金反应,如金属的氧化、还原、脱硫等,这些冶金反应将直接影响焊缝金属的化学成分、组织和性能,因此控制冶金过程是提高焊接质量的重要措施之一。而且,焊接条件是快速连续冷却,使焊缝金属的结晶和相变具有各自的特点,并且有可能在这些过程中产生偏析、夹杂、气孔及裂缝等缺陷。因此控制和调整焊缝金属的结晶和相变过程是保证焊接质量的又一关键。

一、焊接化学冶金过程

焊接化学冶金是在焊接过程中通过冶金处理的方法,消除焊缝金属中的有害杂质,增加焊缝金属中某些有益的合金元素,从而保证焊缝金属的各种性能。焊接电弧产生后,焊接区的物质在高温作用下,会发生剧烈的物理化学反应,反应的过程称为焊接化学冶金过程。

1. 焊接化学冶金过程的特点

焊接热过程的特性确定了焊接化学冶金过程有以下几个主要特点:

1) 电弧的温度高 在该区域范围内药皮中的物质分解产生大量气体,在熔池周围形成一个“保护层”。同时 CO_2 、 H_2 等大量分解,分解出来的气体原子或离子很容易溶入到熔池金属中,由于冷却速度快,温度不断下降,其溶解度也随之降低,结果来不及析出而残留在焊缝中。此外,在电弧的高温作用下,还会产生金属蒸气,一些合金元素易被氧化,即所谓

的“烧损”,使焊缝金属合金元素的含量下降,分布不均。

2) 反应时间短 即熔池存在的时间短,焊缝金属的冶金反应不充分,组织成分差异较大。

3) 熔池体积小且反应接触面积大 一般焊接熔池质量仅为3~5g,而向熔池过渡的熔滴的表面积可达 $1\ 000 \sim 10\ 000\ \text{cm}^2/\text{kg}$,比炼钢时大1 000倍,这使冶金反应剧烈,并有强烈的混合作用。

4) 熔池反应是运动着的 焊接时熔池不断地移动,参加反应的物质不断改变,使得焊接化学冶金反应更为复杂。

此外,根据焊接方法的不同,组成冶金系统的相——液态金属、熔渣、电弧气氛也不同,各相相互作用并有其各自的特点。

2. 气体对焊缝金属的影响

焊接区域里气体来源于焊接材料、焊件坡口上的铁锈、油污和吸附的水分等,另外亦有可能来自大气。焊接区的气体随焊接方法、焊接电流、药皮和焊剂成分等因素不同而变化,主要气体成分为 CO 、 H_2 和水蒸气等。另外因熔池保护不当,还有来自空气中的 N_2 等。这些气体一旦侵入焊缝金属中,将对焊缝的性能产生极为不利的影响。

1) 氮与金属的作用 焊接区内的氮气主要来自周围空气,根据近似计算,在电弧区气体中空气(体积分数)约占3%。氮与金属的作用分两种情况:一种是氮与金属不发生反应,也不溶解,如与 Cu 和 Ni 等;另一种是既与金属反应,又溶解于金属中,如与 Fe 、 Mn 、 Cr 、 Ti 等,焊接这类金属必须防止氮气的侵入。

焊接熔池中氮以三种形态存在,即氮原子、氮化物和氮离子。在不同的条件下,常以一种为主要形式或几种形式同时存在。氮在 $\alpha\text{-Fe}$ 中溶解度很小,熔池中大量的氮在冷却过程中,由于来不及逸出,一部分以过饱和形式存在于固溶体中,另一部分以针状氮化物(Fe_4N)的形式析出,分布在晶界和固溶体内。氮在焊缝金属中以过饱和固溶体形式存在,提高了焊缝的强度,降低了其塑性和韧性。在焊缝中形成的氮气孔降低了焊缝的致密性和力学性能。氮化物(Fe_4N)的形成和析出,提高了焊缝的强度和硬度,却使塑性和韧性急剧下降。同时 Fe_4N 还是一种时效产物,即氮是一种促使焊缝金属时效脆化的元素。当焊缝金属中氮的体积分数小于0.01%时,对焊缝力学性能影响不大。应当指出,当焊缝中氮与钒同时存在时,氮与钒形成稳定的化合物氮化钒(VN),可抑制时效现象。在

经过正火或调质处理后, VN 以细小颗粒弥散分布, 可以提高钢的强度, 而不降低塑料和韧性。

2) 氢与金属的作用 氢主要来源于焊条药皮、焊剂、焊条和焊丝以及空气中的水分, 焊条药皮、焊件坡口上的有机物, 气体保护焊中的保护气体等。在电弧的高温作用下, 电弧区域中的氢主要以原子、离子及分子形态存在。当弧柱中的温度大于 5 000 K 时, 氢主要以原子形态存在, 分解度大于 96%; 当温度低于 2 000 K 时, 主要以分子形态存在。

根据氢与金属作用的特点, 可把金属分为两类: 第一类是形成稳定氢化物的金属, 如锆、钛、钒、钽、铌等。这些金属在吸收氢不多时与氢形成固溶体, 而吸收较多时则形成氢化物。在 300 ~ 700℃ 的温度范围内, 吸收量较大; 温度高于 700℃ 时氢的吸收量迅速减小, 主要原因是氢化物分解, 氢可以扩散逸出。因此焊接这类金属及合金, 必须防止在低温下吸收大量的氢, 否则影响焊缝金属性能。第二类是不能形成稳定氢化物的金属, 如铁、铝、镍、铜、铬、钼等, 但氢能溶于这类金属中, 随着温度的升高, 氢的溶解度也增加。应当指出, 氢在第二类金属的溶解度会发生突变, 这往往是造成焊接缺陷(如气孔、冷裂纹等)的原因之一。

焊缝金属中的氢大部分以原子或离子形态存在。由于氢的原子或离子的半径很小, 一部分氢可以在焊缝金属的晶格中自由扩散, 称之为扩散氢。部分扩散氢随着时间延长, 可从焊缝表面逸出。还有一部分氢聚集到金属的晶格缺陷、显微裂纹或非金属夹杂物的空隙中, 结合成分子, 不能自由扩散, 称之为残余氢。对于上述第一类金属, 氢化物影响较大, 而对于第二类金属, 扩散氢的体积分数占 80% ~ 90%, 它对接头影响比残余氢大。表 1-1 为焊接碳钢时采用不同焊接方法、焊接材料测定出焊缝中的含氢量。

就钢焊接而言, 氢的危害是极大的, 它包括两个方面: 一方面是暂态现象, 包括氢脆和白点, 这类现象经过时效或热处理后可予以消除; 另一方面是气孔和氢致裂纹(冷裂纹), 这是永久现象, 不可消除。氢脆和白点使钢的塑性和韧性大大下降, 而冷裂纹往往导致结构的直接脆断破坏。此外残余在焊缝金属中的氢还产生很大的组织应力。

3) 氧与金属的作用 氧是一个化学性质较为活泼的元素。它主要来源于药皮、熔剂中的水分、盐类、氧化物、有机物等在高温时的分解, 有

表 1-1 焊接碳钢时焊缝中的含氢量 ($\text{cm}^3/100 \text{g}$)

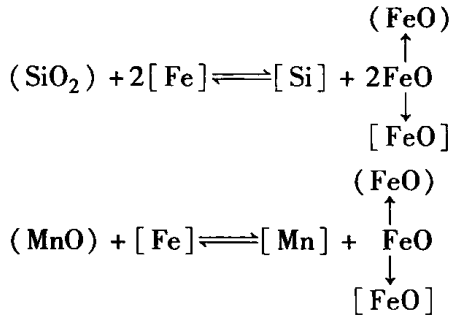
焊接方法		扩散氢	残余氢	总氢量	备注
焊条电弧焊	纤维素型	35.8	6.3	42.1	—
	钛型	39.1	7.1	46.2	
	钛铁矿型	30.1	6.7	36.8	
	氧化铁型	32.3	6.5	38.8	
	低氢型	4.2	2.6	6.8	
埋弧焊		4.40	1~1.5	5.90	在 40~50℃ 停留 48~72 h 测定扩散氢,真空加热测定残余氢
CO ₂ 保护焊		0.04	1~1.5	1.54	
氧-乙炔焊		5.00	1~1.5	6.50	

时空气中的氧也会侵入电弧。此外有的气体保护焊(如 CO₂),保护气体本身就是氧的主要来源。根据氧与金属作用的特点,可分为两种情况:一种是焊接时氧与其发生剧烈的氧化反应,而在固态与液态时都不溶解的金属,如镁和铝等;另一种是氧与其发生反应,生成的氧化物能溶于相应金属中,如铁、钨、铜、钛等。在电弧的温度为 5 000 K 时,氧的分解度可达 96.5%(体积分数),可见氧在电弧中以原子形态存在。在液态铁中,氧以原子和氧化亚铁(FeO)两种形式存在。随着温度的升高,氧在液态铁中的溶解度将增大。当液态铁中含有其他合金元素时,则随合金元素含量的增加,其溶解度下降。

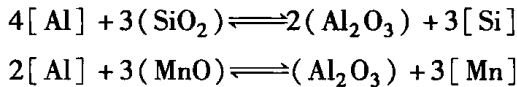
氧与金属作用的途径包括气相中氧化性气体与金属的作用,熔渣中氧化性的熔渣与金属的作用以及焊件和填充金属表面氧化物与金属的相互作用等。

(1) 氧化性气体与金属的作用。气相中多种氧化性气体(如 O₂、CO、H₂O 等)在高温时都与金属发生氧化反应,反应生成 FeO。当气相中水蒸气的含量较高时,金属不但被氧化,同时也使焊缝含氢量增加。因此焊接时应严格控制水蒸气的来源。

(2) 熔渣与金属的作用。焊接时,活性熔渣对金属的氧化有两种基本形式:扩散氧化和置换氧化。扩散氧化就是液态熔渣中的 FeO 随着其浓度的增加或熔渣的碱度增加等因素作用时,便向焊缝中扩散。在碱性药皮焊条中,由于熔渣中 FeO 的浓度较酸性药皮焊条小,故碱性焊条的焊缝 FeO 含量较少。置换氧化就是当熔渣含有较多氧化物时,便可能与液态铁发生置换反应。置换反应可用下列反应式表示:

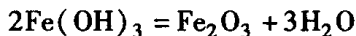


式中, (SiO_2) 、 (MnO) 分别为熔渣中 SiO_2 、 MnO 的摩尔浓度, $[\text{Fe}]$ 为液态金属; $[\text{Si}]$ 、 $[\text{Mn}]$ 分别为液态金属中 Si 、 Mn 的浓度; (FeO) 和 $[\text{FeO}]$ 分别为熔渣和液态金属中 FeO 的浓度。置换反应的结果是使焊缝金属中硅、锰含量增加, 并使铁氧化, 增加焊缝金属的含氧量。上述两种置换反应的方向都是随温度的升高而向右进行。当焊丝或药皮中含有对氧亲和力比铁大的元素(如 Al 、 Ti 、 Cr 等)时, 它们将与 SiO_2 和 MnO 发生更剧烈的置换反应:



反应结果是焊缝夹杂物(Al_2O_3)增加, 含氧量也增加。在焊接中、高合金钢时, 焊缝含硅量的增加, 使它的抗裂性和力学性能, 特别是低温韧性显著降低。应设法降低 SiO_2 含量。

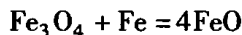
(3) 焊件和填充金属表面氧化物与金属的作用。表面氧化物主要是铁锈, 焊接时发生如下分解:



分解出来的水进入气相, 增加了气相的氧化性, Fe_2O_3 和液态铁继续发生作用:



氧化皮的主要成分是 Fe_3O_4 , 它也与液态铁发生作用:



反应生成的 FeO 大部分进入熔渣, 小部分进入焊缝, 使焊缝含氧量增加。

氧在焊缝中一般有两种形式同时存在: 一种以原子状态单独溶解在金属中, 不过其溶解的数量少, 例如, 室温时 α 铁中几乎不溶解氧