



熔化极气体 保护焊

陈茂爱 张丽娜 等编著

重技能实践 突出上岗就业



化学工业出版社

014034547



TG444
42

熔化极气体 保护焊

陈茂爱 张丽娜 等编著



TG444
42



化学工业出版社

· 北京 ·



北航

C1714973

本书是“焊工上岗技能图解”丛书之一。

本书从焊工上岗的技能要求出发,采用新标准、新规范,内容丰富,简明扼要,条理清晰,通俗易懂,注重实用性,通过介绍常用的熔化极气体保护焊(二氧化碳气体保护焊、药芯焊丝电弧焊、熔化极氩弧焊等)的操作技术和典型焊接实例,引导读者理解与掌握焊接基本理论与实用操作技术和技能。内容主要包括焊接电弧基本知识和原理、焊接设备、焊接材料、焊接工艺和操作技术、典型焊接实例、安全技术等。

本书既可作为焊工入门自学读物,也可作为焊工培训教材,亦可供从事焊接工作的技术人员以及相关专业科研院所、大专院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

熔化极气体保护焊/陈茂爱,张丽娜等编著. —北京:
化学工业出版社, 2014. 3
(焊工上岗技能图解)
ISBN 978-7-122-19618-7

I. ①熔… II. ①陈…②张… III. ①气体保护焊-图解
IV. ①TG444-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 016890 号

责任编辑: 张兴辉
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 杨 帆
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京云浩印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张 9¼ 字数 241 千字
2014 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究



前 言

焊接技术是制造业的关键支撑技术之一，焊接技术工人是制造业的重要技术力量。随着我国经济的迅速发展，对焊接技术工人的需求不断增大，迫切需要一大批新的有生力量充实到焊工队伍中来。为满足焊接技术工人岗位技术培训，提高焊工的理论水平和实际操作技能的需要，化学工业出版社组织具有丰富理论知识和实践经验的有关专家编写了《焊工上岗技能图解》丛书，该套丛书包括《焊条电弧焊》、《钨极氩弧焊》、《熔化极气体保护焊》、《埋弧焊》、《钎焊》《切割》六本。

本书是《熔化极气体保护焊》，在简要阐述这种方法的基本原理和知识要点的基础上，利用大量插图详细介绍了操作技术技能、设备组成及选用、焊接材料、常见缺陷及解决办法、常见设备故障及排除方法，并结合实际工程结构给出了典型应用实例。本书还给出了常用的焊接数据，如常见材料的典型焊接工艺参数、典型焊接设备的参数及性能等。

本书由陈茂爱、张丽娜、姜丽岩、陈东升、娄小飞、张振鹏、张栋、霍玉双、宋思利、杨敏、魏星等编写。

限于作者水平有限，书中难免出现错误或不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者



目 录

CONTENTS

第 1 章 熔化极气体保护焊的基础知识	1
1.1 熔化极气体保护焊原理、分类及特点	1
1.1.1 熔化极气体保护焊的基本原理及分类	1
1.1.2 气体保护焊的特点	2
1.1.3 熔化极气体保护焊的应用	3
1.2 焊接电弧的基础知识	3
1.2.1 焊接电弧的本质	3
1.2.2 电弧中带电粒子的产生方式	4
1.2.3 焊接电弧的分类	6
1.2.4 焊接电弧的结构	9
1.2.5 电弧的静特性	10
1.2.6 电弧的热功率、热效率系数和功率密度	12
1.2.7 电弧的温度分布	13
1.2.8 焊接电弧的引燃	14
1.2.9 焊接电弧的稳定性	16
1.2.10 电弧的刚直性及磁偏吹	18
1.3 熔化极气体保护焊的有关名词术语	20
1.3.1 焊丝熔化	20
1.3.2 熔滴过渡	21
1.3.3 飞溅和飞溅率	25
1.3.4 接头形式及坡口	25
1.3.5 焊接位置	29
1.3.6 焊缝及焊缝形状尺寸	31
1.3.7 厚板焊接	35
1.3.8 焊丝位置	36
1.3.9 焊缝缺陷	37

1.3.10	焊接符号	38
1.3.11	弧焊电源的外特性及电弧静态工作点	44

第2章	二氧化碳气体保护焊	46
2.1	CO ₂ 气体保护焊的基本原理、特点、分类及应用	46
2.1.1	CO ₂ 气体保护焊的基本原理	46
2.1.2	CO ₂ 气体保护焊的特点	47
2.1.3	CO ₂ 气体保护焊的分类	47
2.1.4	CO ₂ 气体保护焊的应用	48
2.2	CO ₂ 气体保护焊冶金过程及焊接材料	48
2.2.1	CO ₂ 气体	48
2.2.2	CO ₂ 焊的冶金反应	49
2.2.3	焊丝	50
2.2.4	辅助材料	54
2.3	CO ₂ 气体保护焊设备	56
2.3.1	CO ₂ 气体保护焊设备的分类	56
2.3.2	CO ₂ 气体保护焊设备的组成	57
2.3.3	电源	57
2.3.4	送丝机构	58
2.3.5	焊枪	62
2.3.6	控制系统	65
2.3.7	气路和水路	66
2.3.8	CO ₂ 焊机的使用与维护	68
2.3.9	CO ₂ 焊机的常见故障及排除方法	76
2.4	CO ₂ 气体保护焊工艺	77
2.4.1	CO ₂ 焊的熔滴过渡方式	78
2.4.2	焊前准备	80
2.4.3	CO ₂ 焊工艺参数的选择	81
2.4.4	典型焊接工艺参数	85
2.4.5	CO ₂ 焊的焊接缺陷及其防止措施	85
2.5	CO ₂ 焊的操作技术	95
2.5.1	操作姿势及焊枪把持方式	95

2.5.2	引弧	95
2.5.3	焊枪的运行方式	96
2.5.4	左焊法和右焊法	97
2.5.5	熄弧	99
2.5.6	焊道接头方法	100
2.5.7	各种焊接位置的操作技术	101
2.5.8	单面焊双面成形技术	110
2.6	CO ₂ 焊接实例	111
2.6.1	[实例 1] 12mm 厚 Q235 钢板对接	111
2.6.2	[实例 2] $\phi 220 \times 10$ mm 钢管的对接	112
2.6.3	[实例 3] 垂直固定的 $\phi 100 \times 8$ mm 钢管对接焊	114
2.7	二氧化碳电弧定位焊	116
2.7.1	二氧化碳电弧定位焊的工艺特点	116
2.7.2	二氧化碳电弧定位焊设备	116
2.7.3	二氧化碳电弧定位焊工艺	117

第 3 章	药芯焊丝电弧焊	120
3.1	药芯焊丝电弧焊的工艺特点及应用	120
3.1.1	药芯焊丝电弧焊基本原理	120
3.1.2	药芯焊丝电弧焊的分类	121
3.1.3	药芯焊丝电弧焊的特点	121
3.1.4	药芯焊丝电弧焊的应用	123
3.2	药芯焊丝电弧焊设备	123
3.2.1	药芯焊丝电弧焊设备的特点	123
3.2.2	药芯焊丝电弧焊设备的选用	124
3.3	药芯焊丝电弧焊焊接材料	127
3.3.1	保护气体	127
3.3.2	药芯焊丝	127
3.4	药芯焊丝气体保护焊工艺	159
3.4.1	药芯焊丝气体保护焊工艺	159
3.4.2	典型的药芯焊丝气体保护焊工艺参数	160
3.4.3	操作技术	164

3.4.4	焊接实例	173
-------	------------	-----

第4章	熔化极氩弧焊	181
4.1	熔化极氩弧焊基本原理、分类、特点及应用	181
4.1.1	熔化极氩弧焊基本原理	181
4.1.2	熔化极氩弧焊的分类	181
4.1.3	熔化极氩弧焊的特点	182
4.1.4	熔化极氩弧焊的应用	183
4.2	熔化极氩弧焊的焊接材料	183
4.2.1	保护气体	183
4.2.2	焊丝	185
4.3	熔化极氩弧焊设备	199
4.3.1	熔化极氩弧焊设备的组成	199
4.3.2	熔化极氩弧焊设备的选用	201
4.4	熔化极氩弧焊的熔滴过渡	209
4.4.1	短路过渡	209
4.4.2	大滴过渡	209
4.4.3	喷射过渡	210
4.4.4	亚射流过渡	211
4.4.5	脉冲喷射过渡	211
4.5	熔化极氩弧焊工艺	213
4.5.1	焊接清理	213
4.5.2	焊接工艺参数的选择	215
4.5.3	铝及铝合金熔化极氩弧焊工艺	219
4.5.4	不锈钢的熔化极氩弧焊工艺	223
4.5.5	低碳钢及低合金钢的熔化极氩弧焊工艺	226
4.5.6	紫铜的熔化极氩弧焊工艺	228
4.5.7	操作技术	228
4.5.8	[焊接实例] $\phi 2000\text{mm} \times 12\text{mm} \times 2000\text{mm}$ 铝筒体 (L2) 的焊接	230

第 5 章 新型熔化极气体保护焊方法及设备	233
5.1 CMT 焊 (冷金属过渡电弧焊)	233
5.1.1 CMT 焊的基本原理	233
5.1.2 CMT 焊的特点及应用	234
5.1.3 CMT 焊设备	237
5.1.4 CMT 焊的焊接实例	237
5.2 T. I. M. E 焊 (四元混合气体熔化极保护焊)	240
5.2.1 T. I. M. E 焊的基本原理及设备	240
5.2.2 T. I. M. E 焊的特点及应用	242
5.2.3 T. I. M. E 焊的焊接实例	242
5.3 Time Twin GMAW 焊 (相位控制的双丝脉冲 GMAW 焊)	245
5.3.1 Time Twin GMAW 焊的基本原理及设备	245
5.3.2 Time Twin GMAW 焊的特点及应用	248
5.3.3 Time Twin GMAW 焊的焊接实例	248
5.4 MIG-PA 复合焊 (熔化极氩弧-等离子弧复合焊)	250
5.4.1 MIG-PA 复合焊的基本原理	250
5.4.2 MIG-PA 复合焊的特点及应用	252
5.4.3 MIG-PA 复合焊焊接实例	252
5.5 激光-电弧复合焊	255
5.5.1 激光-电弧复合焊的基本原理	255
5.5.2 激光-电弧复合焊的特点及应用	256
5.5.3 激光-电弧复合焊工艺	257
5.5.4 激光-电弧复合焊应用实例	257
第 6 章 熔化极气体保护焊安全技术	260
6.1 用电安全	260
6.1.1 用电安全基础知识	260
6.1.2 焊接触电事故的预防措施	263
6.2 用气安全及防爆防火	269
6.2.1 用气安全	269
6.2.2 防火防爆措施	270
6.3 辐射的危害及防护措施	271

6.3.1	弧光辐射的危害及防护措施	271
6.3.2	高频磁场的辐射及防护	272
6.3.3	放射性辐射及防护	272
6.4	焊接烟尘的危害及防护措施	273
6.4.1	焊接烟尘的危害	273
6.4.2	焊接烟尘的防护措施	274

参考文献	278
------------	-----

第 1 章

熔化极气体保护焊的基础知识

熔化极气体保护焊是应用最广泛的一类电弧焊方法，这类焊接方法已在很大的范围内取代了焊条电弧焊。按熔敷金属量计算，熔化极气体保护焊的生产量已占焊接总量的三分之二以上，而且还有升高的趋势。

1.1 熔化极气体保护焊原理、分类及特点

1.1.1 熔化极气体保护焊的基本原理及分类

(1) 熔化极气体保护焊的基本原理

熔化极气体保护焊是利用气体进行保护，利用焊丝作电极的一类电弧焊方法，简称 GMAW。焊接时，保护气体从焊枪喷嘴中连续不断地喷出，覆盖在电弧、熔池及焊丝组成的焊接区的外围，形成局部气体保护层，机械地将空气与焊接区隔绝；焊丝在送丝机的作用下被送进到电弧上端并在电弧热量下熔化，形成的熔化金属在电弧力的作用下过渡到熔池中，电弧向前行走后，熔池

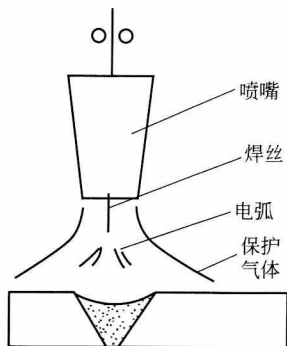


图 1-1 熔化极气体保护焊

结晶形成焊缝，如图 1-1 所示。这类焊接方法的焊接过程具有良好的稳定性，易于获得质量优良的焊缝。

（2）熔化极气体保护焊的分类

熔化极气体保护焊常用的保护气体有氩气、氦气和二氧化碳。根据所用的气体种类，分为熔化极氩弧焊和二氧化碳焊（简称 CO_2 焊或二保焊）两类。

熔化极氩弧焊一般不采用纯氩气，而是采用富氩混合气体进行保护，根据混合气体的成分，可分为熔化极惰性气体保护焊（MIG 焊）和活性气体保护焊（MAG 焊）两类。MIG 焊一般采用 Ar、He 混合气体进行焊接。MAG 焊通常采用 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 、 $\text{Ar} + \text{O}_2$ 或 $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$ 等混合气体进行焊接。

另外，熔化极气体保护焊还可利用药芯焊丝作电极。利用药芯焊丝作电极的电弧焊方法称为药芯焊丝电弧焊。

1.1.2 气体保护焊的特点

熔化极气体保护焊有以下优点：

① 适用范围广，可焊接所有金属。例如，采用 Ar、He 或其混合气体可焊接活泼性金属； $\text{Ar} + \text{N}_2$ 可焊接铜及其合金；采用 $\text{Ar} + \text{O}_2$ 可焊接不锈钢；而采用 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 、 $\text{Ar} + \text{O}_2$ 、 $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$ 或 CO_2 可焊接低碳钢、低合金钢等。

② 在焊接过程中，保护气体是以一定压力向外喷出，不受空间位置的限制，因此，适用于各种位置的焊接。

③ 气体保护焊是明弧焊，无焊渣，熔池可见度良好，便于操作，有利于实现机械化和自动化焊接。

④ 由于保护气体的冷却作用，电弧热量集中，熔池和热影响区很小，零件变形及裂纹倾向小，对薄板焊接非常有利。

熔化极气体保护焊有如下缺点：

① 室外作业或在有穿堂风的地方进行焊接时，必须采用专门的防风措施，否则会影响气体保护效果。

② 电弧光辐射强度大，劳动条件较差（与埋弧焊相比）。

- ③ 焊接设备较复杂（与焊条电弧焊相比）。
- ④ 焊接质量没有非熔化极气体保护焊（TIG 焊）好。

1.1.3 熔化极气体保护焊的应用

由于可灵活地选择保护气体，熔化极气体保护焊可焊接难熔金属之外的所有金属材料。焊接低碳钢及低合金钢时（例如，采用 CO_2 气体焊）比焊条电弧焊和埋弧焊具有更大的经济优势。

可进行各种焊接位置的焊接，既可焊厚板，也可焊薄板。

熔化极气体保护焊已广泛用于航空、原子能、石油化工、锅炉、机械制造等各种工业行业之中。

1.2 焊接电弧的基础知识

1.2.1 焊接电弧的本质

电弧是一种气体放电现象（特殊的气体导电现象），即电荷在气体中产生并在阴、阳两个电极间定向运动的过程，如图 1-2 所示。电弧可将电能方便地转变为热能、光能和机械能，因此以电弧作为热源的各种电弧焊方法在工业中得到了广泛应用。需要注意的是，工程实践中经常使用“燃弧”、“电弧燃烧”、“引燃电弧”和“熄弧”等说法，其实电弧并不是一种燃烧现象，而是一种特殊的气体导电现象，它与气焊中使用的火焰是完全不同的东西。

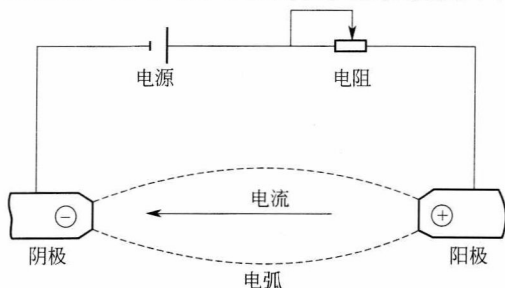


图 1-2 焊接电弧示意图

气体中一般没有带电粒子（电子、正离子、负离子等），因此电弧的产生需要利用一定的方式诱发出带电粒子。引弧过程就是电弧的诱发过程。引燃后，电弧导电过程本身会自动产生导电所需要的带电粒子。

实际焊接过程中，被焊工件一般作为一个电极，另一个电极是焊丝、钨极或焊条。一般情况下，工程上通常将焊丝、钨极或焊条称为电极，而不将工件称为电极。

1.2.2 电弧中带电粒子的产生方式

（1）电离

在外加能量作用下，中性气体原子或分子分离成正离子和电子的现象称为电离。

气体分子或原子在常态下是由数量相等的正电荷（原子核）和负电荷（电子）构成的一个稳定系统，对外呈中性，要破坏这个稳定系统形成电离就需要对其施加外来能量。气体原子或分子分离出一个外层电子所需的最小能量称为电离能，单位为焦耳（J）或电子伏（eV）。电子伏为1个电子被1V的电压加速所得到的能量，引入该单位是为了表示电离能方便。

用电子伏（eV）作单位的电离能除以电子带电量得出的单位为伏特的物理量称为电离电压。电离电压和电离能都是表示物质电离难易程度的物理量。

电弧空间中气体的电离能大小对电弧稳定性有很大的影响，其他条件相同的情况下，电离能越低，电弧越稳定。在各种原子中，碱金属原子的电离能最低，这就是为什么通常使用碱金属碳酸盐作稳弧剂的原因。

根据引起电离能的来源不同，电离分为如下三种形式：

① 热电离。在高温作用下，高速运动的气体原子（或分子）在相互碰撞并交换能量后产生的电离称为热电离。电弧弧柱的温度通常为5000~30000K，弧柱中主要以这种方式进行电离。

② 电场作用下的电离。带电粒子（电子）在电场作用下被加

速, 获得额外的电场能量, 碰撞到中性原子后将获得的电场能量交给中性原子而引起的电离。

③ 光电离。气体原子(或分子)吸收光辐射的能量而产生的电离。焊接电弧中基本不发生这种形式的电离。

(2) 电子发射

在外加能量作用下, 阴极表面连续向外发射电子的现象称电子发射。

电子逸出阴极表面产生电子发射所需要的最小能量称为逸出功, 单位为焦耳或电子伏。

用电子伏(eV)做单位的逸出功除以电子的带电量, 得出的单位为伏特的物理量称为逸出电压。

阴极的逸出功对电弧的稳定性具有很大的影响。其他条件相同的情况下, 阴极的逸出功越小, 电弧越稳定。阴极逸出功的大小取决于阴极材料的种类、掺杂元素及表面状态。金属表面有氧化物或其他掺杂元素时均可使逸出功大大降低, 例如在钨极氩弧焊的钨极上掺入含有少量的钍或铈的氧化物时, 电子发射能力在高温下会增加数千倍。

按其逸出功的来源不同, 阴极电子发射可分为热电子发射、场致电子发射、光电子发射和撞击电子发射等四种形式。

① 热电子发射。阴极表面温度很高时, 某些电子具有大于逸出功的动能而逸出到阴极表面外电弧空间的现象称为热电子发射。

大电流钨极氩弧焊时, 钨极表面可被加热到很高的温度(可达4000~5000K), 电子具有足够的动能, 可进行强烈的热电子发射。这种温度很高、热发射能力很强的阴极通常称为热阴极。而熔点很高的阴极材料(例如钨、碳等)称为热阴极材料。

② 场致电子发射。阴极表面如果有强电场存在, 阴极表面电子就会受到很大的库仑力, 在该力的作用下产生的电子发射称为场致电子发射。阴极表面电场强度越大, 则场致电子发射能力越强。

熔化极气体保护焊时, 阴极温度较低, 其表面往往会产生强

电场,电子发射以场致电子发射为主,这样的阴极称为冷阴极。

在非接触式引弧过程中,电子也主要通过场致电子发射方式产生。

③ 光电子发射。阴极表面接受光射线的能量而释放出自由电子的现象称为光电子发射。光电子发射在焊接电弧中几乎不会发生。

④ 撞击电子发射。运动速度较高,能量大的重粒子(如正离子)撞击阴极表面,将能量传递给阴极而产生的电子发射称为撞击电子发射。

(3) 负离子

一定条件下,电弧中某些活泼性非金属原子或分子(如 F、Cl 等)会吸附电子形成负离子。该过程是放热过程,在电弧中的产生概率很低,只产生在温度较低的电弧周边处或正弦波交流电弧电流过零点时。

负离子尽管也是带电粒子,但由于其质量比电子大得多,在同样的电场作用下,其运动速度比电子慢得多,因此其导电能力就比电子小得多。大量负离子的产生势必会降低电弧的导电性能。在交流电弧中,如果有易形成负离子的卤族元素,则电弧会非常不稳定。因此 CaF_2 含量高的焊剂不能用于正弦波交流埋弧焊。

(4) 带电粒子的复合

在电弧燃烧过程中,不但有带电粒子产生,而且还会发生带电粒子的复合。所谓带电粒子复合就是电子与正离子相互碰撞后形成中性粒子的过程。带电粒子的复合是放热过程,放出相当于电离能的能量,因此,它只能发生在温度较低的电弧周边处或正弦波交流电弧电流过零点时。

1.2.3 焊接电弧的分类

焊接电弧有多种分类方法:

按焊接电源种类可分为交流电弧、直流电弧、脉冲电弧。交

流电弧一般仅用于焊条电弧焊 (SMAW)、埋弧焊 (SAW)、钨极氩弧焊 (TIG) 等焊接方法, 电流波形如图 1-3 所示。交流电弧又分为正弦波交流电弧和方波交流电弧。方波交流电弧稳定性与直流电弧几乎相同, 而正弦波交流电弧稳定性较差, 通常需要在焊接回路中串接一个足够大的电感。脉冲电弧又分为直流脉冲电弧和交流脉冲电弧, 电流波形如图 1-4 所示。

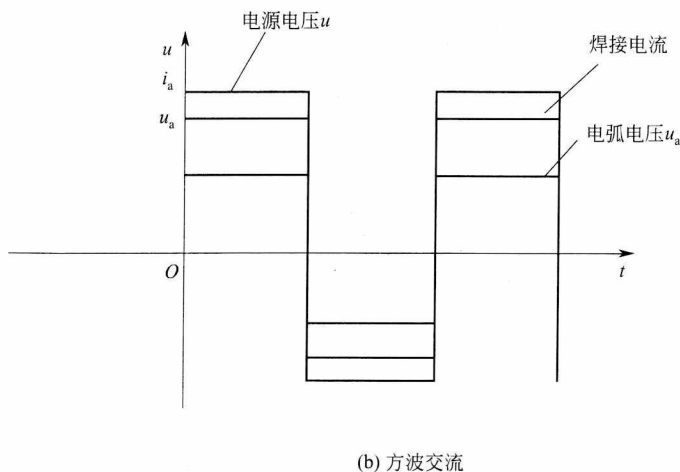
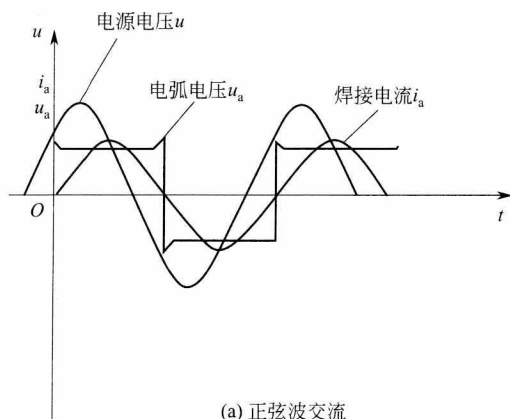


图 1-3 交流电流波形