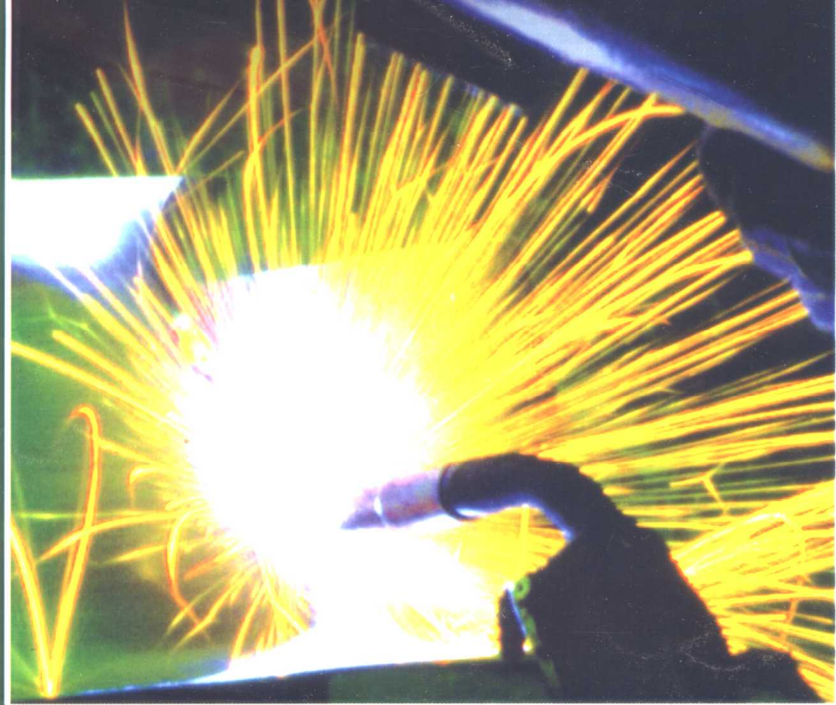




气体保护焊 工艺基础

殷树言 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



气体保护焊工艺基础

殷树言 编著



机械工业出版社

本书由长期以来一直致力于气体保护焊工艺教学与研究的殷树言教授主编,旨在为广大焊接工作者提供一本有关气体保护焊工艺最新成果的实用参考书。本书从气体保护焊工艺的角度出发,系统地总结了电弧物理及熔滴过渡的基础理论知识,并针对 TIG 焊、MIG 焊、MIG/MAG 焊、CO₂ 焊等气体保护焊工艺进行了详细的论述。本书理论知识系统、论述全面、资料丰富,做到了理论联系实际。这些成果不仅能指导实际生产中所遇到的工艺问题,同时也能指导焊接新设备特别是数字化设备的研制与开发。

该书可供广大焊接工程技术人员阅读,也可作为大专院校焊接专业师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

气体保护焊工艺基础/殷树言编著. —北京:机械工业出版社, 2007.1

ISBN 978-7-111-20820-4

I. 气… II. 殷… III. 气体保护焊-焊接工艺 IV. TG444

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 013508 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:何月秋 责任编辑:侯宪国

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:鞠 杨 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·12.875 印张·499 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-20820-4

定价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379080

封面无防伪标均为盗版

序

气体保护焊是当今世界的主要焊接方法之一。按消耗材料统计,工业发达国家的气体保护焊消耗材料占总焊接材料总量的 60% 以上,而日本高达近 80%。我国虽然只有 20%,但在近十几年内却快速发展,预计气体保护焊方法在我国将会得到广泛的应用和发展。

为了推动气体保护焊技术的发展,我国焊接界著名学者殷树言教授,综合了多年丰富的教学、科研成果,广泛吸收国内外最新科研成果与生产经验,编著了《气体保护焊工艺基础》一书。

此书主要从气体保护焊工艺的角度出发,系统地总结了电弧物理及熔滴过渡的基础理论知识,并针对 TIG 焊、MAG/MIG 焊、CO₂ 焊等方法分别进行了详细的论述,其中所提及的许多内容、成果都是作者的科研团队研究完成的。

作者在本书中提出了许多有意义的新观点:熔化极气体保护焊的电弧形态决定了熔滴过渡的形式;应用首次由作者本人提出的跳弧理论成功地解释了射流过渡临界电流的现象;提出了 CO₂ 焊潜弧机理等;此外还在短路过渡 CO₂ 焊波形控制及其对飞溅和焊缝成形的影响作用、纵向磁场控制电弧的原理与实现、数字化气体保护焊机的硬件与软件设计、CO₂ 焊数字化焊机的原理与实现、铝合金双脉冲 MIG 焊的工艺与设备的研制、双丝 MIG 焊协同控制方案和 CMT 焊的协同控制电路等方面进行了开拓性的研究。这些丰富的内容相信会使读者受益匪浅。

本书理论系统、论述全面、资料丰富,做到了理论联系实际。这些成果不仅能指导实际生产中所遇到的工艺问题,同时也能指导焊接新设备,特别是数字化设备的研制与开发。

简而言之,本书是一本实用性强,具有先进性和科学性的好书。

不仅对读者更新知识，理解气体保护焊问题有所帮助，而且还有助于读者合理使用和继续研究气体保护焊。

中国机械工程学会常务副理事长



前 言

自我 1989 年编著的第 1 版《气体保护焊工艺》至今，光阴荏苒，岁月流逝。转瞬间就已经过去 17 个年头了。17 年光阴中，焊接界的专家、学者和工程技术人员，刻苦攻关，努力实践，取得了许多骄人的成果。尤其是气体保护焊工艺技术更是飞速发展，涌现了许多新技术、新工艺、新方法和新设备。于是重新编写一本反映最新成果的《气体保护焊工艺基础》一书的想法萌生了。这种想法得到了机械工业出版社何月秋编审的大力支持，随之这本《气体保护焊工艺基础》诞生了。

众所周知，历经十几年的发展，我国的钢铁产量已经从 1989 年的 6000 万 t 提高到 2004 年的 2.74 亿 t，产量提高了 3.57 倍；焊接设备的年产量从 6.97 万台增加到 2003 年的 42 万台；焊接材料从 44.7 万 t 增加到 227.5 万 t，都发生了巨大的变化。气体保护焊设备的产量也大幅度提高（从 0.42 万台增加到 11 万台，增加了 27 倍），气体保护焊设备也从简单的晶闸管整流式 TIG 焊和 CO_2 焊设备发展到了今天的 IGBT 逆变焊机。钨极惰性气体保护焊机从简单的直流 TIG 焊机发展到交流方波焊机和变极性 TIG 焊机。熔化极气体保护焊机从 CO_2 焊到熔化极脉冲焊设备， CO_2 焊从抽头整流式弧焊机和 SCR 整流弧焊机，到今天的逆变式气体保护焊机和数字化 CO_2 焊机。脉冲 MIG 焊也出现了许多种焊机，如双脉冲、双丝 MIG 焊（Tandem）、冷金属过渡焊（CMT）、交流 MIG 焊（ACMIG）和新型 CO_2 焊等。总之，气体保护焊机从整流式焊机到全数字化逆变焊机，这一变化是巨大的。从焊接材料的发展来看，原来仅有 H08Mn2SiA 焊丝（ER49-1），现在又增加了 ER50 系列多种焊丝，同时药芯焊丝品种也很丰富。在我国，气体保护焊消耗材料仅占总消耗材料的 20%，而先进工业国家已达到 60% 以上，日本则

达到了 80%。可见,我国的气体保护焊还有待更快的和更广泛的发展。编写本书的目的旨在为推动我国气体保护焊工艺的发展贡献绵薄之力。

因为教学与科研工作十分繁忙,本书从 2004 年一直拖到 2006 年下半年才开始动笔。本书由本人编著,北京工业大学刘嘉和黄鹏飞参与了第 6 章的部分工作,陈树君参与了第 4 章的部分工作。

原《气体保护焊工艺》一书,是 1989 年由本人与哈尔滨工业大学张九海教授合著的,这次《气体保护焊工艺基础》一书参考了其中一些内容,在此特别表示谢意。在本书的写作过程中还参考了哈尔滨工业大学杨春利教授等编著的《电弧焊基础》,上海交通大学姜焕中教授等编写的《电弧焊与电渣焊》,以及北京工业大学焊接技术研究所教师合著的《气体保护焊问答》一书,在此一并表示谢意。在本书的写作过程中还参考了许多书籍和资料(见参考文献),在这里不再一一列举,一并表示感谢。

中国机械工程学会常务副理事长宋天虎同志长期以来对本人非常关心,并为本书作序,在此深表谢意。

此外,还要感谢我的爱人孟淑琴女士无微不至的关怀、支持和鼓励;感谢我的子女刘嘉、殷晓强和张丽的帮助及全力支持。

在写作过程中我的博士生张撼鹏、古金茂、阎涛、华爱兵和杨帅等帮助做了许多案头工作,在此表示感谢。

总之,我要感谢所有关心我的亲人、学生和朋友。

过去长期在王其隆教授指导下进行科研和教学工作,我的进步和成长与他的教导和帮助密不可分。他虽然离开了我们,但在此书出版之际我还要对他的教诲和培养致以深切的怀念。

本书在编写过程中,虽按照出版社的要求理论联系实际,努力做到先进性、实用性和科学性相结合,充分吸收国内外最新研究成果,但限于作者水平和所处环境的限制,本书可能会存在许多不当之处,在内容上挂一漏万,有许多内容尚未收入书中,望读者不吝赐教和批评指正。

殷树言

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 气体保护焊的发展和历史	1
1.2 气体保护焊的分类	2
1.3 气体保护焊的特点及发展前景	2
第2章 焊接电弧	7
2.1 电弧的物理基础	7
2.1.1 气体放电的基本概念	7
2.1.2 带电粒子的产生和消失	8
2.1.3 电弧的导电机构	29
2.2 电弧的能量转换	35
2.2.1 电弧的产热机构及温度分布	35
2.2.2 电弧压力及其影响因素	41
2.3 交流电弧的特点	50
2.3.1 交流电弧的燃烧过程	50
2.3.2 交流电弧动特性与电弧稳定性的关系	52
2.4 焊接电弧特性	57
2.4.1 焊接电弧静特性	57
2.4.2 电弧的辐射性能	61
2.4.3 焊接电弧动特性	62
2.4.4 最小电压原理	63
2.4.5 电弧斑点	64
2.5 焊接用保护气体	67
2.5.1 保护气体	68
2.5.2 保护气体的性能	68
2.5.3 保护气体的作用和混合气体	71
2.5.4 焊接方法与保护气体的选择	72
2.5.5 保护气流的效果	75
2.6 磁场对电弧的作用	77
2.6.1 电弧自身磁场的作用	77
2.6.2 外加磁场对电弧的作用	81

第3章 熔滴过渡与焊缝成形	88
3.1 焊丝的加热和熔化特性	88
3.2 熔滴过渡	94
3.2.1 熔滴过渡的分类	94
3.2.2 熔滴上的作用力	96
3.2.3 熔化极气体保护焊的主要熔滴过渡形式	99
3.3 母材熔化与焊缝成形	122
3.3.1 母材熔化和焊缝形状与尺寸	122
3.3.2 熔池金属的对流和对流驱动力	131
3.3.3 焊接参数与焊接工艺的影响	137
3.3.4 焊缝成形缺陷及形成原因	140
第4章 钨极惰性气体保护焊	144
4.1 TIG焊的原理、特点及分类	144
4.1.1 TIG焊的原理	144
4.1.2 氩气中电弧燃烧的特点及TIG焊的特点	145
4.1.3 电流极性的选择	147
4.1.4 TIG焊方法的分类	148
4.2 TIG焊的焊接设备	149
4.2.1 TIG焊焊接设备的组成及功能	149
4.2.2 TIG焊的焊接保护效果	150
4.3 TIG焊的焊接材料	153
4.3.1 钨极材料	153
4.3.2 保护气体	158
4.3.3 填充焊丝	160
4.4 TIG焊方法	160
4.4.1 直流TIG焊	160
4.4.2 交流TIG焊	164
4.4.3 脉冲TIG焊	174
4.5 TIG焊工艺	177
4.5.1 TIG焊焊接参数	177
4.5.2 脉冲TIG焊焊接参数的选择	183
4.5.3 TIG焊的工艺条件	186
4.6 特种TIG焊方法	191
4.6.1 A-TIG焊技术	191
4.6.2 热丝TIG焊	196
4.6.3 双电极TIG焊	197
第5章 CO₂气体保护焊	198
5.1 概述	198

5.2 CO ₂ 焊的冶金特点与焊接材料	199
5.2.1 CO ₂ 气体的保护作用	199
5.2.2 焊缝金属中的气孔	204
5.2.3 CO ₂ 气体保护焊的脱氧措施	207
5.2.4 焊缝金属的合金化	209
5.2.5 CO ₂ 气体保护焊的焊接材料	213
5.3 CO ₂ 焊的熔滴过渡	223
5.3.1 CO ₂ 焊熔滴过渡的类型	223
5.3.2 CO ₂ 焊短路过渡的工艺特点与控制	224
5.3.3 潜弧焊的熔滴过渡	249
5.3.4 药芯焊丝的熔滴过渡	255
5.4 CO ₂ 焊的焊接工艺	256
5.4.1 CO ₂ 焊的焊接准备	257
5.4.2 CO ₂ 焊焊接参数的影响	259
5.4.3 CO ₂ 焊焊接操作	269
5.4.4 特殊 CO ₂ 焊工艺	272
5.4.5 焊接缺陷及其防治措施	279
第6章 熔化极氩弧焊	281
6.1 概述	281
6.1.1 熔化极氩弧焊的原理与特点	281
6.1.2 MIG 焊设备	283
6.2 MIG 焊冶金特点	287
6.3 MIG/MAG 焊熔滴过渡	292
6.3.1 短路过渡	293
6.3.2 喷射过渡	293
6.3.3 亚射流过渡	297
6.3.4 高效 MAG 焊	300
6.4 脉冲 MIG/MAG 焊	302
6.4.1 熔滴过渡形式	303
6.4.2 合理的熔滴过渡形式	306
6.4.3 脉冲 MIG/MAG 焊的焊接参数特点	306
6.4.4 脉冲 MIG/MAG 焊的弧长调节作用	309
6.4.5 脉冲 MIG/MAG 焊的应用	310
6.4.6 脉冲 GMA 焊熔滴过渡控制	313
6.5 各种金属的 MIG/MAG 焊工艺	314
6.5.1 焊前准备	314
6.5.2 低碳钢与低合金钢的 MAG 焊	316
6.5.3 不锈钢的 MAG 焊	341



6.5.4 铝及铝合金的 MIG 焊	346
6.5.5 铜及铜合金的 MIG 焊	364
6.5.6 MIG 焊焊接缺陷的成因和解决措施	367
6.6 先进的 MIG 焊方法	369
6.6.1 TIME 焊	369
6.6.2 纵向磁场控制的 MAG 焊	371
6.6.3 双丝高效 MAG 焊 (TANDEM)	372
6.6.4 激光-MIG 复合焊	376
6.6.5 铝合金双脉冲 MIG 焊	378
6.6.6 变极性脉冲 MIG 焊 (简称 VPPMIG)	383
6.6.7 冷金属过渡焊 (简称 CMT)	390
参考文献	395

第 1 章 绪 论

1.1 气体保护焊的发展和历史

电弧焊的起源最早可以追溯到 1802 年英国人戴维 (Davy) 发现电弧现象, 但是当时缺少廉价的焊接电源, 其发展很慢。直到 1885 年俄国人别那尔道斯 (Benardo) 发明了碳弧焊法, 电弧才开始作为一种热源应用于工业生产。1888 年, 俄国人斯拉文诺夫 (Slavianoff) 发明了金属极电弧; 1908 年, 瑞典人基尔博格 (Kiellberg) 研制了薄药皮焊条; 1930 年, 出现了厚药皮焊条。从此, 电弧焊才逐渐真正应用于工业中。

气体保护焊的发展历史从 1883 年别那尔道斯发表的《气流中的焊接》一书开始。一直到 1930 年出现了 TIG 焊和 1948 年出现了 MIG 焊等惰性气体保护焊方法。进入 20 世纪五六十年代, 从冶金角度上解决了 CO_2 焊的脱氧问题, 才使 CO_2 焊进入了工业应用阶段。这项发明是由各国学者独立完成的, 如苏联的柳巴夫斯基 (Lyubavskii)、诺沃日洛夫 (Novoshilov) 和日本的関口等。同一时期还实现了 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 或 $\text{Ar} + \text{O}_2$ 混合气体保护焊 (MAG 焊)。 CO_2 焊与 MAG 焊开始应用于碳钢的焊接。

我国尽管在 20 世纪 50 年代已开始研究 CO_2 焊方法, 但由于 CO_2 焊接设备基本是由使用厂自己制造, 而专业电焊机厂家的生产量很少, 又没有配件的配套体系和焊丝的供应渠道, 所以 CO_2 焊方法推广应用非常迟缓。一直到 20 世纪 80 年代, 引进了日本 OTC 和松下的技术以及美国 miller 公司的技术, 才使得我国 CO_2 焊机与焊丝的生产步入正轨, 加快了发展速度, 从而推动了我国 CO_2 焊的应用水平。这时开始应用在大型发电设备、汽车、造船、火车的机车和车辆, 以及摩托车、农业机械、家电等领域。但是我国的 CO_2 焊焊接水平还不高, 如焊接飞溅较大、焊缝成形不良, 同时焊接设备的故障率还很高。

进入 20 世纪 90 年代以来, 随着逆变焊机的可靠性提高, 逆变式 CO_2 焊机问世了。用这种焊机焊接时飞溅减少, 焊缝成形改善。 CO_2 焊完成的焊接工作量由 20 世纪 80 年代的 2.5% 增加到 2005 年的 20% 左右。而日本、美国、英国和俄罗斯等工业发达国家的气体保护焊方法完成的焊接工作量已经达到 65% 以上, 其中日本已达到 80%。

1998 年奥地利 Fronius 公司最先推出了全数字化焊机, 其中主要是各类气体

保护焊设备。这种设备是在逆变焊接技术、计算机技术、软件技术、DSP 技术及焊接工艺技术全面提高的基础上出现的。数字化焊机带来了焊接工业的更快发展，它是未来之星。

1.2 气体保护焊的分类

气体保护焊在实际应用中许多不同的种类，可以根据电极、焊丝和保护气体等进行分类。气体保护焊按电极分类，可分为钨极气体保护焊 (GTAW) 和熔化极气体保护焊 (GMAW)；按焊丝分类，可分为实芯焊丝气体保护焊 (SGMAW) 和药芯焊丝气体保护焊 (FGMAW)；按保护气体分类，可分为惰性气体保护焊 (MIG) 和活性气体保护焊 (MAG) 等。

气体保护焊的分类如图 1-1 所示。

从图 1-1 中可见，除上述按明显特征进行分类而外，实际上按其它原则还有许多分类方法。

1) 如果按保护气体的种类，惰性气体保护焊又可分为氩弧焊、氦弧焊、氢气电弧焊和混合气体 ($\text{Ar} + \text{He}$) 电弧焊等。

2) 按保护气体的氧化性强弱，混合气体保护焊 (MAG 焊) 又将轻氧化性和中氧化性称为 MAGM 焊 (见表 6-15)。而强氧化性又称为 MAGC 焊，其中 CO_2 气体保护的又称为 CO_2 气体保护焊。

3) 药芯焊丝气体保护焊 (FGMA) 按保护方法不同又分为药芯焊丝 CO_2 气体保护焊和药芯焊丝自保护焊。

4) 钨极气体保护焊又分为钨极惰性气体保护焊 (TIG)、钨极等离子弧焊和钨极氢气焊。其中钨极等离子弧焊 (TP) 又分为等离子火焰 (TPJ)、等离子弧焊 (TPW) 和微束等离子弧焊 (MTPW)。

5) 还可以按熔滴的过渡形式分为脉冲电弧焊、喷射过渡电弧焊，短路过渡电弧焊和潜弧电弧焊等。这些熔滴过渡形式分别存在于 MIG、MAG、FGMA 等焊接方法中。

1.3 气体保护焊的特点及发展前景

1. 气体保护焊的特点

钢铁工业的发展推动着焊接设备及焊接材料的发展。

从年产 6000 万 t 钢到年产 1 亿 t 钢，美国用了 13 年，而我国只用了 7 年。从 1 亿 t 到 2 亿 t 也仅用了 7 年，而从 2 亿 t 增长到 3 亿 t 只用了 2 年时间。到 2004 年年底，我国钢的年产量已达 2.74 亿 t，而全世界钢的总产量为 10.3 亿 t。我国

在 2004 年的钢产量占全世界总产量的 27%。可以看到我国的钢产量每年按 20% 的增长率快速发展, 已经步入产钢大国、排列第一的地位。

2004 年我国的焊接材料产量为 225 万 t, 而钢的表观消费量为 3.12 万 t, 焊接材料与钢材的表观消费量之比为 0.72%。工业发达国家的这一比例为 0.3% ~ 0.5%。这是由于我国的焊条比例过高 (达 71%)。在我国气体保护焊仅为 18%, 而工业发达国家大都在 65% 以上, 其中日本已经达到 78%。这说明我国仅仅是一个焊接大国, 还不是一个焊接强国。为什么焊接强国的气体保护焊法按消耗材料比例占有那么高的指标呢? 这是因为气体保护焊有很多优点。

(1) 气体保护焊的优点

1) 气体保护焊效率高

① 气体保护焊中 MIG/MAG 焊的焊丝熔化速度和熔化系数较高。这是因为气体保护焊大多用细焊丝 ($\phi 0.8 \sim \phi 1.6\text{mm}$), 电流密度大 ($100 \sim 300\text{A}/\text{mm}^2$, 焊条仅为 $10 \sim 25\text{A}/\text{mm}^2$)。熔化速度为 $3 \sim 5\text{kg}/\text{h}$, 是焊条的 $1 \sim 2.25$ 倍。熔化系数比焊条大 $1 \sim 3$ 倍。

② 因为气体保护焊的熔深大, 所以接头的坡口角度可以降到 $40^\circ \sim 45^\circ$, 钝边较大, 间隙较小, 则坡口截面积比焊条电弧焊的小 50%, 可减小焊缝熔敷金属量。

③ 因为焊接残渣极少, 焊后不需要打磨、清理坡口和换焊条, 减小了辅助时间, 由此提高了工效 $0.3 \sim 0.8$ 倍。

总之, 气体保护焊与焊条电弧焊相比, 可提高工效 $2 \sim 3.5$ 倍。

2) 提高焊接质量

① MAG 焊和 CO_2 焊是一种低氢焊接方法。焊缝中扩散氢的含量远远低于低氢焊条 (CO_2 焊时扩散氢含量 $[\text{H}] \leq 1.6\text{mL}/100\text{g}$, 低氢焊条 $[\text{H}] \leq 3.15\text{mL}/100\text{g}$)。 CO_2 焊对锈和水分不敏感, 气孔率低。

② 短路过渡法热输入低, 热影响区小, 变形小。

③ 气体保护焊的力学性能可达到或高于低氢焊条。ER49-1 焊丝 CO_2 焊时和 ER50-3、ER50-4 焊丝 MAG 焊时, 均可得到具有良好强度和韧性的焊缝。这时焊缝金属中的 $w(\text{Mn}) \approx 1.0\%$, $w(\text{Si}) \approx 0.4\%$ 。

④ 短路过渡焊搭桥性能好, 适于打底焊; 焊接熔池小有利于全位置焊。

3) 气体保护焊的成本低

① 因为减小了坡口截面积, 减少了焊条药皮和焊条头的浪费。

② 节约电能, CO_2 焊耗电量仅仅为焊条电弧焊的 34.6%。

③ 气体保护焊生产效率高, 缩短了焊接时间, 所以降低了设备的台班费和人工费。

④ 减少了清渣、打磨等辅助工时。

4) 气体保护焊是明弧焊, 在半自动焊时, 便于焊工观察电弧及熔池, 有利于发现问题和调整操作。

5) 气体保护焊时, 焊丝连续送进, 不需要熔剂, 也不需要清渣, 可以连续焊接, 操作方便, 特别是与焊接机器人兼容性好。同时也适合于其它自动焊接方法。

6) 气体保护焊的种类很多, 这些焊接方法几乎可以焊接所有的金属材料, 同时还适用于从 0.1mm 到几十毫米厚的焊件。易于实现高速焊和高效化焊接等。

(2) 气体保护焊的主要缺点

1) 由于气体保护焊的电流密度大, 又是明弧, 所以弧光辐射强烈, 光污染会损伤眼睛。同时产生很多焊接烟尘, 不利于焊工健康。

2) 焊枪喷嘴喷出的保护气体易受外部气流的影响。如果风速大于 $2 \sim 3\text{m/s}$ 就必须采取防风措施。同时也要注意工作地的穿堂风和露天的自然风。

3) 随着设备的逆变化、数字化和多功能化的发展, 焊接设备越来越复杂。为了便于普及和应用, 必须简化人机界面。

4) 不能完全适应超薄件焊接、高精密焊接、高速焊接和高效化焊接的需要。

2. 气体保护焊的发展前景

科学技术向前发展是永恒的, 同样气体保护焊技术也要向前发展。那么明天的气体保护焊工艺将向何处发展呢?

(1) 借助计算机技术, 使焊接从一门技艺转变为一门制造科学 古代的锻焊和钎焊等焊接技艺代代相传, 他们只知道“怎么做”却不知道“为什么”。随着科学的发展和技术的进步, 冶金学、热学、电工学、电子学及力学等逐步进入焊接领域, 增进了人们对“焊接”的认识和理解。近代由于计算机科学的发展, 可以通过建模、仿真在虚拟环境中再现焊接制造过程中所要了解和解决的问题。比如, 如何提高焊接质量? 如何减少焊接时间和提高效率? 对设计的正确性和工艺的合理性的评估; 确定有哪些工艺参数和允许放宽的条件, 以及导致焊接裂纹和其它焊接缺陷的原因。对这些问题的回答不需要实际焊接, 而是借助于计算机在虚拟环境中就能得到所关心的问题 and 解决问题的方法, 这就是科学而不再是技艺。

对于气体保护焊的发展也必须逐渐从技艺走向科学, 用现代科学手段解决实际问题。

(2) “高效化焊接”长久以来只是限于改变焊接参数和保护气体等方法来提高效率 这方面已经取得了许多成绩, 但是为进一步提高气体保护焊的效率, 必须开辟新的途径, 如像综合利用能源。这方面已做了许多新的尝试, 如热丝 TIG 焊是电阻热与电弧热的结合; A-TIG 焊是表面能与电弧能的结合; CMT 是机械能与电弧能的结合; L-MIG 和 L-TIG 焊是激光和电弧的结合; 磁控 TIME 焊是磁能

与电弧能的结合等等。

(3) 提高焊接质量是发展生产的生命线 美国发表的“面向 21 世纪发展工业展望”一文中多次提到“零缺陷”问题首先是材料焊接性的问题,如超细晶粒钢的研究。其次是研究新的焊接方法,如脉冲 MIG 和脉冲 TIG 焊,前者通过对熔滴过渡的控制,实现了“无飞溅”;后者通过对熔池的控制,实现了“少气孔和无气孔”。小孔法变极性等离子弧立焊法被誉为无缺陷焊接法。在此还应当引入自动控制技术对焊接过程进行控制,如焊缝跟踪、熔滴过渡控制和用智能控制法实现对焊缝成形的控制等等。总之,应从产生缺陷机理出发,寻找实现“零缺陷”的途径。

(4) 降低成本是发展生产的动力 降低成本关系到设计、管理和生产的全过程。但作为气体保护焊方法,还是需要从该焊接方法本身出发提出具体的措施。气体保护焊是以电弧为热源,如何用最小的能量输入实现最快的焊接速度、最大的熔深和对生产准备条件的适应性。如为提高电弧的能量密度采用的 He 代 Ar、高频 TIG 和复合能源等。这些措施都能提高能源的电流密度,提高熔深和焊接速度。复合焊还可以放宽对坡口间隙的要求等等。

(5) 最大限度地减轻工人的劳动强度,向科学要效益和质量 摆脱对工人的技艺和劳动的依赖性,惟一的途径就是实现焊接过程自动化。首先,要解决气体保护焊法与自动焊机的适用性和兼容性;其次应有适宜的传感器、控制器和执行机构;同时还应不断地提高自适应控制及智能控制的水平。最近结合国情的焊接机器人系统集成已成为气体保护焊的一个新热点。

(6) 焊接过程中污染较严重,焊接应从恶劣环境中摆脱出来 应使焊接施工环境向更安静、更整洁、更健康、更安全和更具人性化的方向发展。气体保护焊是明弧,焊接烟尘和噪声比较严重,尤其是自保护药芯焊丝的烟尘和大功率低频脉冲 TIG 焊的噪声以及高频、高压电流的危险都必须得到治理。环境问题倍受瞩目,应认真解决。