

著名学者 权威著作
论述精辟 先进科学

气体保护焊 工艺基础及应用

殷树言 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



气体保护焊工艺 基础及应用

殷树言 编著



机械工业出版社

本书旨在为广大焊接工作者提供一本反映气体保护焊工艺最新成果的实用参考书。该书从气体保护焊工艺的角度出发,系统地总结了焊接电弧、熔滴过渡与焊缝形成的基础理论知识,并针对钨极惰性气体保护焊(TIG焊)、CO₂气体保护焊、熔化极氩弧焊(MAG/MIG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、论述全面深入、资料丰富,做到了理论联系实际。这些成果不仅能指导焊接工程技术人员解决在生产实际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及材料加工专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

气体保护焊工艺基础及应用/殷树言编著. —北京:
机械工业出版社, 2012. 6
ISBN 978-7-111-38575-2

I. ①气… II. ①殷… III. ①气体保护焊-焊接工艺
IV. ①TG444

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第118008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:何月秋

版式设计:霍永明 责任校对:张莉娟

封面设计:马精明 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2012年9月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·29.5印张·2插页·572千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38575-2

定价:75.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

编辑热线:(010) 88379732

社服务中心:(010) 88361066

网络服务

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010) 88379203

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

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焊接材料总量的60%左右，而日本高达70%以上。我国虽然只有40%，但在近十几年内却发展迅速，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，特别是广泛吸收国内外最新数字化焊接技术的发展成果与生产经验，在2007年出版的《气体保护焊工艺基础》一书的基础上，编著了这本《气体保护焊工艺基础及应用》。

本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、CO₂焊、MAG/MIG焊等方法分别进行了详细的论述，其中所提及的许多成果大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，比如：熔化极气体保护焊的电弧形态决定了熔滴过渡的形式；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，还在以下方面进行了大量开拓性的研究，比如：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；铝合金双脉冲MIG焊的工艺与设备的研制；变极性脉冲MIG焊；交流短路过渡MIG/MAG焊；CMT焊的送丝与电流波形协同控制等。相信这些丰富的内容会使广大读者受益匪浅。

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广大焊接工程技术人员解决生产实际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。

综上，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

合理使用和深入研究气体保护焊技术。

相信本书的出版定会为推动我国气体保护焊工艺及设备的发展做出新的贡献。

中国机械工程学会监事长



前 言

焊接是“钢铁的裁缝”。近十年来我国钢铁工业发生了翻天覆地的变化。从1996年开始，我国的钢铁年产量突破了1亿t，已名列世界前茅。到2009年，我国钢铁产量已经达到5.7亿t，占全世界钢铁产量的46%，遥遥领先于世界其他国家，成为世界钢铁的超级大国。随着钢铁产量的快速发展，焊接材料及焊机产量也相应取得了飞跃的发展。在2009年我国焊接材料产量达到438万t，占世界焊接材料产量的50%以上，居世界第一。其中我国实心焊丝占焊接材料总量的28.5%，药芯焊丝占9.4%。焊丝产量占焊接材料总量的40%左右。这说明焊接方法中气体保护电弧焊（GMAW法）所完成的焊接工作量占焊接总量的40%以上，其中，CO₂气体保护焊（简称CO₂焊）就占总量的30%。而在2005年这一比例还只有20%。但是，美国、俄罗斯、英国和德国等先进工业国家的GMAW应用已达到60%左右，而日本达到70%以上。从应用水平上看，我国与先进工业国家的差距还很大。同时，从焊接设备及焊接材料的品种上看，差距也是十分明显的。我国传统的焊接方法与设备接近国际先进水平，以下几种方法国外已经成功用于生产，我国也紧紧跟上，并开始少数厂家应用：如活性化TIG焊（A-TIG焊）、热丝TIG焊、表面张力过渡（STT）数字化焊接和双丝MIG/MAG焊（Tandem）等。还有一些焊接方法，国外刚刚推向市场，而我国部分高校和研究所在数字化焊机的平台上也开始了这些焊接方法的高效化、精密化、信息化和自动化技术的研究，并取得了长足的进步。在高效化方面的技术有TIME焊、变极性等离子弧立焊、双丝高效MIG/MAG焊（Tandem）、激光MIG焊和其他多能源复合焊等；在精密焊方面有RMD气体保护焊、EWM公司的冷弧焊（Cold arc）、交流MIG/MAG脉冲焊（日本OTC和德国cloos公司）、交流MIG/MAG短路过渡焊（Cold Process，简称CP法）、铝合金双脉冲MIG焊和脉动送丝短路MIG焊（CMT法，又称冷金属过渡）和激光焊等。

2007年4月本人在机械工业出版社出版了《气体保护焊工艺基础》一书，该书出版后受到了广大读者的欢迎，并提出了许多宝贵意见。同时由于近五年来，国内外焊接技术得到了突飞猛进的发展，尤其是数字化逆变焊机有了长足的进步。数字化技术的应用推动了焊接技术的快速发展，使以前难以实现的焊接工艺得以问世。而反过来，数字化焊接技术的发展又依赖于焊接工艺提供更多的更深入的研究成果。只有如此，才能适应我国焊接技术现代化的需要，实现优质、绿色和高效化焊接的目标。鉴于以上原因，受机械工业出版社机械分社副社长何月秋编审之邀，对《气体保护焊工艺基础》一书的内容进行了重大修改和补充，并将书名更改为《气体保护焊工艺基础及应用》。

《气体保护焊工艺基础及应用》是以《气体保护焊工艺基础》一书作为蓝本，还参考了《气体保护焊工艺》、《电弧焊基础》、《气体保护焊问答》和《药芯焊丝》等书籍和杂志。同时还得到了北京工业大学的同事，如：卢振洋、陈树君、刘嘉、黄鹏飞、蒋健敏和白韶军等老师的大力支持。在写作过程中还得到了我的博士生们的大力帮助，他们是：徐鲁宁、冯雷、杭争翔、王伟明、吕耀辉、黄继强、王军、廖平、张撼鹏、华爱兵、阎涛、韩永全、方臣富、古金茂、杨帅等。

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。感谢我的子女殷晓强、刘嘉和张丽等的帮助和进行的大量案头工作。

中国机械工程学会监事长宋天虎先生长期以来对我本人和我的科研工作非常关心，并为本书作序，在此深表谢意。

本书在编写过程中，虽然本人做了较大的努力，但是由于本人才疏学浅，书中难免会存在许多问题和一些不当之处，望读者不吝赐教和批评指正。

作者
于北京

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	26
2.2 电弧的能量转换	32
2.2.1 电弧的产热机构及温度分布	32
2.2.2 电弧压力及其影响因素	38
2.3 交流电弧的特点	47
2.3.1 交流电弧的燃烧过程	47
2.3.2 交流电弧动特性与电弧稳定性的关系	49
2.4 焊接电弧特性	54
2.4.1 焊接电弧静特性	54
2.4.2 电弧的辐射性能	58
2.4.3 焊接电弧动特性	59
2.4.4 最小电压原理	60
2.4.5 电弧斑点	61
2.5 焊接用保护气体	64
2.5.1 保护气体	65
2.5.2 保护气体的性能	65
2.5.3 保护气体的作用和混合气体	68
2.5.4 焊接方法与保护气体的选择	69
2.5.5 保护气流的效果	72
2.6 磁场对电弧的作用	74
2.6.1 电弧自身磁场的作用	74
2.6.2 外加磁场对电弧的作用	78

第3章 熔滴过渡与焊缝成形	83
3.1 焊丝的加热和熔化特性	83
3.2 熔滴过渡	89
3.2.1 熔滴过渡的分类	89
3.2.2 熔滴上的作用力	91
3.2.3 熔化极气体保护焊的主要熔滴过渡形式	94
3.3 母材熔化与焊缝成形	126
3.3.1 母材熔化和焊缝形状与尺寸	126
3.3.2 熔池金属的对流和对流驱动力	135
3.3.3 焊接参数与焊接工艺的影响	141
3.3.4 焊缝成形缺陷及形成原因	144
第4章 钨极惰性气体保护焊	148
4.1 TIG 焊的原理、特点及分类	148
4.1.1 TIG 焊的原理	148
4.1.2 氩气中电弧燃烧的特点及 TIG 焊的特点	149
4.1.3 电流极性的选择	151
4.1.4 TIG 焊方法的分类	152
4.2 TIG 焊的焊接设备	153
4.2.1 TIG 焊焊接设备的组成及功能	153
4.2.2 TIG 焊的焊接保护效果	154
4.3 TIG 焊的焊接材料	157
4.3.1 钨极材料	157
4.3.2 保护气体	162
4.3.3 填充焊丝	164
4.4 TIG 焊方法	164
4.4.1 直流 TIG 焊	164
4.4.2 交流 TIG 焊	168
4.4.3 脉冲 TIG 焊	178
4.5 TIG 焊工艺	181
4.5.1 TIG 焊焊接参数	181
4.5.2 脉冲 TIG 焊焊接参数的选择	187
4.5.3 TIG 焊的工艺条件	190
4.6 特种 TIG 焊方法	195
4.6.1 A-TIG 焊技术	195
4.6.2 热丝 TIG 焊	199
4.6.3 双电极 TIG 焊	200
第5章 CO₂ 气体保护焊	202
5.1 概述	202

5.2 CO ₂ 焊的冶金特点与焊接材料	205
5.2.1 CO ₂ 气体的保护作用	205
5.2.2 焊缝金属中的气孔	210
5.2.3 CO ₂ 气体保护焊的脱氧措施	213
5.2.4 焊缝金属的合金化	214
5.2.5 CO ₂ 气体保护焊的焊接材料	218
5.3 CO ₂ 焊的熔滴过渡	239
5.3.1 CO ₂ 焊熔滴过渡的类型	239
5.3.2 CO ₂ 焊短路过渡的工艺特点与控制	240
5.3.3 潜弧焊的熔滴过渡	263
5.3.4 药芯焊丝的熔滴过渡	269
5.4 CO ₂ 焊的焊接工艺	274
5.4.1 CO ₂ 焊的焊接准备	274
5.4.2 CO ₂ 焊焊接参数的影响	276
5.4.3 CO ₂ 焊的焊接操作	287
5.4.4 药芯焊丝 CO ₂ 焊工艺	290
5.4.5 药芯焊丝电弧焊的应用	293
5.4.6 特殊 CO ₂ 焊工艺	298
5.4.7 焊接缺陷及其防治措施	302
第6章 熔化极氩弧焊	305
6.1 概述	305
6.1.1 熔化极氩弧焊的原理与特点	305
6.1.2 MIG 焊设备	307
6.2 MIG 焊冶金特点	311
6.3 MIG/MAG 焊熔滴过渡	316
6.3.1 短路过渡	317
6.3.2 喷射过渡	317
6.3.3 亚射流过渡	321
6.3.4 高效 MAG 焊	324
6.4 脉冲 MIG/MAG 焊	327
6.4.1 熔滴过渡形式	327
6.4.2 合理的熔滴过渡形式	330
6.4.3 脉冲 MIG/MAG 焊的焊接参数特点	331
6.4.4 脉冲 MIG/MAG 焊的弧长调节作用	333
6.4.5 脉冲 MIG/MAG 焊的应用	335
6.4.6 脉冲 GMA 焊熔滴过渡控制	337
6.5 各种金属的 MIG/MAG 焊工艺	339
6.5.1 焊前准备	339

6.5.2	低碳钢与低合金钢的 MAG 焊	340
6.5.3	不锈钢的 MAG 焊	366
6.5.4	铝及铝合金的 MIG 焊.....	376
6.5.5	铜及铜合金的 MIG 焊.....	394
6.5.6	MIG 焊焊接缺陷的成因和解决措施	397
6.6	先进的 MIG 焊方法.....	399
6.6.1	TIME 焊	399
6.6.2	双丝高效 MAG 焊	403
6.6.3	激光-MIG 复合焊	413
6.6.4	铝合金双脉冲 MIG 焊.....	417
6.6.5	变极性脉冲 MIG 焊.....	424
6.6.6	交流短路过渡 MIG/MAG 焊	430
6.6.7	冷金属过渡气体保护电弧焊	441
附录	448
附录 A	碰撞中的能量交换	448
附录 B	马克斯威尔 (C. Maxwell) 速度分布率	449
附录 C	短路过渡 CO ₂ 焊小桥电爆性和电弧力对金属飞溅的作用	451
参考文献	454

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 (Kjellberg) 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。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, 之后 CO_2 焊得到飞速发展, 到 2009 年已达到 30% 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。数字化焊机的出现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，可分为实心焊丝气体保护焊（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外，实际上按其他原则还有许多分类方法。

1) 按保护气体的种类，惰性气体保护焊可分为氩弧焊、氦弧焊、氢气电弧焊和混合气体（Ar + He）电弧焊等。

2) 按保护气体的氧化性强弱，可将轻氧化性和中氧化性混合气体保护焊（MAG 焊）称为 MAGM 焊（见表 6-15），而强氧化性混合气体保护焊（MAG 焊）又称为 MAGC 焊，其中采用 CO₂ 气体保护的又称为 CO₂ 气体保护焊。

3) 药芯焊丝气体保护焊（FGMA）按保护方法不同可分为药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊和药芯焊丝自保护焊。

4) 钨极气体保护焊可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) 按熔滴的过渡形式还可以分为脉冲电弧焊、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。

钢产量从年产 6000 万 t 到年产 1 亿 t，美国用了 13 年，而我国只用了 7 年。从 1 亿 t 到 2 亿 t 我国也仅用了 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。

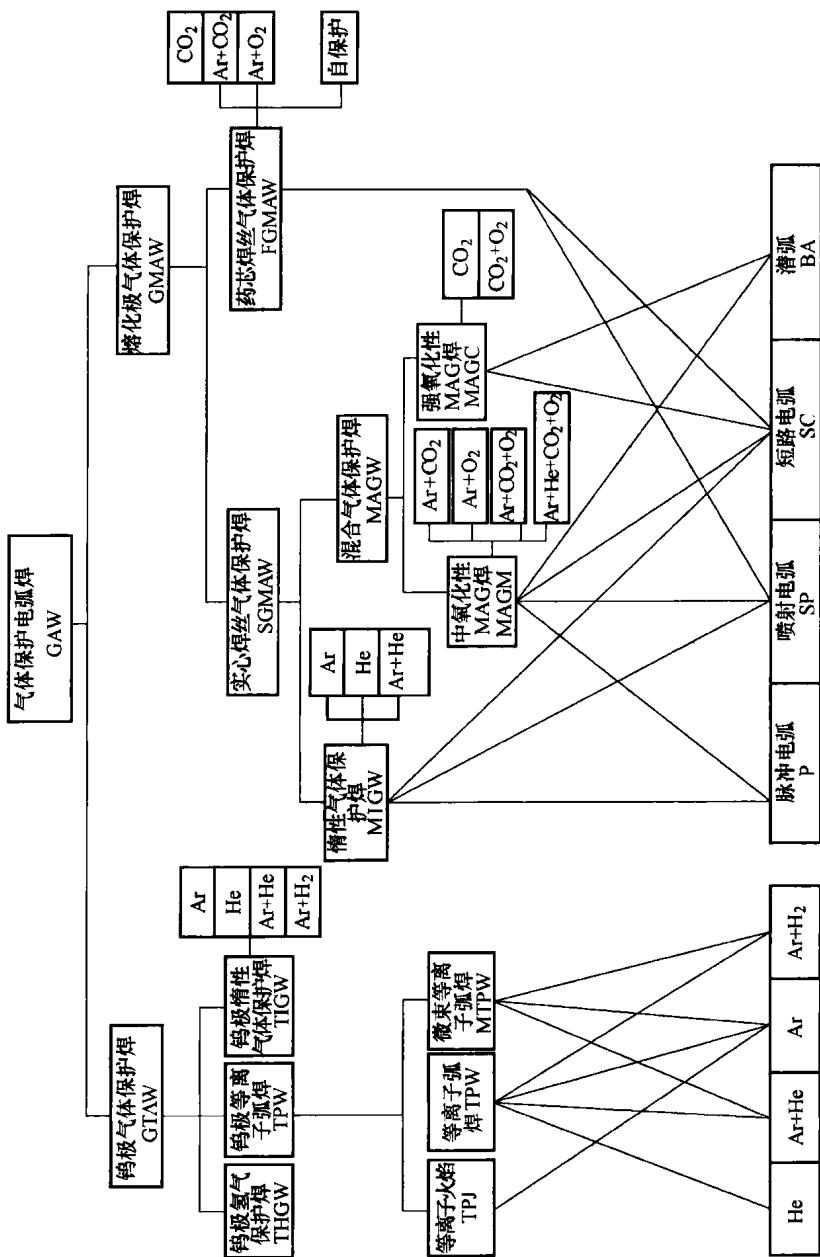


图 1-1 气体保护焊的分类

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。

2009 年我国钢产量已达到 5.7 亿 t,焊接材料产量达到 438 万 t,均为世界第一,其中焊丝的产量已超过 30%。 CO_2 焊完成的工作量达总工作量的 30% 以上,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。熔化系数比焊条高 $1 \sim 3$ 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 因为焊接熔渣极少,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 焊对铁锈和水分不敏感,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,适于进行打底焊;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。同时也适合于其他自动焊接方法。

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 2m/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。那么明天的气体保弧焊工艺将向何处发展呢?

(1) 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他焊接缺陷的原因。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的解决方法, 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 长久以来人们只是限于改变焊接参数和保护气体等方法来提高焊接效率, 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。

(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。总之，应从产生缺陷的机理出发，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以 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。

(5) 最大限度地减轻工人的劳动强度 焊接过程要摆脱对工人的技艺和劳动的依赖性，唯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。最近研制成功的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) 焊接应从恶劣环境中摆脱出来 焊接过程中污染较严重，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。环境问题备受瞩目，应认真解决。