

于增瑞 编著

钨极氩弧焊

WUJI YAHUHAN



化学工业出版社



钨极氩弧焊

WUJI YAHUHAN

于增瑞 编著



化学工业出版社

本书从设备和工具、焊接材料、焊接工艺和技术、特种类型及应用、典型焊接实例、金属材料焊接、焊接检验、安全技术、焊接成本等方面，对钨极氩弧焊的知识进行了阐述，内容实用，可操作性强，尤其工艺操作等部分是作者多年实践经验的总结。书中内容采用最新标准。

本书可作为焊工和相关技术人员用书，并可作为培训教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

钨极氩弧焊/于增瑞编著. —北京: 化学工业出版社,
2014.5

ISBN 978-7-122-19912-6

I. ①钨… II. ①于… III. ①钨极惰气保护焊-基本
知识 IV. ①TG444

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 037570 号

责任编辑: 韩庆利

文字编辑: 张燕文

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 韩 飞

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: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 474 千字 2014 年 9 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: 49.00 元

版权所有 违者必究

前 言



钨极氩弧焊是国内外发展迅速、应用广泛的一种焊接技术。目前在航空、航天、原子能、石油化工、机械、船舶、交通、轻工和纺织等工业中有着广泛应用。为了提高焊接从业人员的技术水平，增强人们在实际生产中解决问题的能力，编写了本书。

本书可作为焊工和相关技术人员用书，并可作为培训教材使用。书中从设备、工艺、材料到生产安全、质量检验、生产成本等方面，将焊接人员在实际生产中所需的知识进行了详细阐述，并列举了大量典型实例。书中采用了大量图表，便于理解和掌握。作者来自生产一线，有着多年的实践经验，书中有不少内容是作者的实践总结。

本书由于增瑞编著，在编写过程中得到了中国化学工程第十三建设有限公司焊接试验室主任高立华、张涛，工程师张利军、马琨，指导教师王宣利、师恩平的鼎力支持和帮助，在此表示衷心感谢。另外还得到了崔振兰、于新海、于新波、于新华、张国权、宋卫龄、葛书灿、周向东、周杨等的支持。

由于时间仓促，书中难免存在不足之处，请批评指正。

编 者



第一章	工艺概述	1
1.1	第一节 钨极氩弧焊的操作过程、分类及特点	1
1.2	第二节 GTAW 用的电源种类和极性	4
第二章	设备和工具	8
2.1	第一节 焊接电源	9
2.2	第二节 引弧和稳弧装置	13
2.3	第三节 焊枪	17
2.4	第四节 供气系统和水冷系统	20
2.5	第五节 焊接程序控制装置、电缆和接头	22
2.6	第六节 焊机的安装、使用和维护	23
第三章	氩弧焊用焊接材料	28
3.1	第一节 钨极	28
3.2	第二节 保护气	32
3.3	第三节 焊丝	34
第四章	焊接工艺和技术	51
4.1	第一节 焊前准备	51
4.2	第二节 气体保护效果	54
4.3	第三节 焊接工艺参数选择	56
4.4	第四节 基本操作技术	62
4.5	第五节 全位置焊接的操作要领	67
4.6	第六节 管道打底焊接操作技术	90
4.7	第七节 常见焊接缺陷及预防对策	94
第五章	钨极氩弧焊的特种类型及应用	97
5.1	第一节 钨极氩弧点焊	97
5.2	第二节 热丝钨极氩弧焊	99
5.3	第三节 双电极脉冲氩弧焊和 GTAW 多极焊	100
5.4	第四节 钨极氩弧焊管机	101

第五节	空心阴极真空电弧焊·····	102
第六节	活性剂钨极氩弧焊·····	103
第六章	应用及焊接实例	106
第一节	管道·····	106
第二节	换热器·····	109
第三节	航空器·····	111
第四节	表面堆焊·····	112
第五节	容器·····	112
第六节	焊接实例·····	114
第七章	金属材料焊接	116
第一节	金属焊接性及其试验方法·····	116
第二节	碳素钢焊接·····	124
第三节	低合金钢焊接·····	130
第四节	低温钢焊接·····	139
第五节	耐热钢焊接·····	144
第六节	不锈钢焊接·····	156
第七节	镍和镍合金焊接·····	178
第八节	铸铁焊接·····	185
第九节	铝和铝合金焊接·····	192
第十节	铜和铜合金焊接·····	209
第十一节	钛和锆焊接·····	218
第十二节	异种金属焊接·····	227
第八章	焊接检验	237
第一节	焊接检验过程及质量控制·····	237
第二节	无损检测技术·····	248
第三节	理化性能检验·····	252
第九章	安全技术	254
第一节	一般规定·····	254
第二节	焊接安全用电·····	256
第三节	氩弧焊安全技术·····	258
第四节	检修现场焊割安全作业·····	265
第十章	焊接成本计算	268
第一节	影响成本的因素及成本构成·····	268
第二节	焊接材料用量·····	269
第三节	焊接时间和能源·····	272
第四节	焊接定额编制·····	273
参考文献		282

第一章 工艺概述

钨极氩弧焊是钨极（也称非熔化极）惰性气体保护电弧焊的简称或俗称。国际通用代号为 GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) 或 TIG (Tungsten Inert Gas)，GTAW 应用得更广泛些。钨极氩弧焊是以钨或钨合金作为电极材料，在惰性气体保护下，利用电极与母材金属之间产生的电弧热熔化母材和填充焊丝的焊接过程。

第一节 钨极氩弧焊的操作过程、分类及特点

一、GTAW 的操作过程

图 1-1 所示为 GTAW 焊炬、电弧、钨极、保护气体以及正在被送入电弧和焊接熔池的焊丝等的相对位置。

通过焊炬供给的惰性气体层保护加热了的焊接区，使熔融金属和钨电极不受空气污染氧化。利用电弧的热作用来焊接焊缝，相邻的工件和填充焊丝就被熔化，并随着焊缝金属的凝固而连接在一起。

电流通过被电离了的惰性气体，使之产生电弧。被电离的原子失去电子而剩下正电荷。气体的正离子从电弧的正极流向负极。电子从负极流向正极。电弧所消耗的能量等于通过电弧的电流和电弧两端的电压降的乘积。

在焊接开始之前，必须用机械方法或化学方法清理待焊区域上所有的油、润滑脂、油漆、锈、尘土或其他污染物质。

引弧方法有两种：接触式和击穿式。接触式又分直击式和擦划式，都是使电极与工件间接接触并快速使钨极拉开一个短的距离，主要用于简易的 GTAW 设备来焊接黑色金属不重要构件的根层焊道。击穿式又分高频式和脉冲式。高频式是利用高频振荡器产生从钨极到工件的跃迁火花。当在焊接回路上叠加高频高压时，便产生高频引弧，高电压低电流使电极和

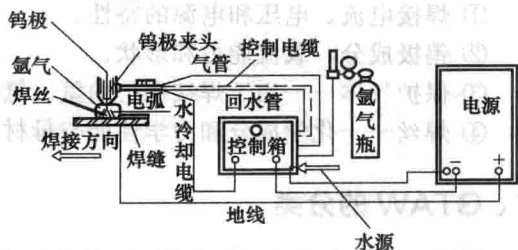


图 1-1 GTAW 操作过程示意

工件之间的保护气体电离，从而使气体导电并引燃电弧。脉冲式是在钨极和工件之间加一高压脉冲，使两极间气体电离而引弧，是一种较好的引弧方法。用直流电焊接时，在电弧引燃之后便切断高频电压。但是用交流电焊接时，特别是焊接铝时，在焊接过程中通常也要继续保持高频电压。

对于手工焊来说，电弧一旦引燃，焊炬便保持一个大约 15° 的行走角。对于自动焊来说，焊炬一般与表面垂直。手工焊开始时，常常使电弧作小的圆形运动，直到获得一个尺寸合适的熔池为止。一旦在任何一点上达到了充分熔合，便沿着被焊部件逐渐移动焊炬，以便逐渐地熔化邻接的表面并形成焊缝。随着电弧沿接头前进，熔融金属发生凝固而完成焊接循环。

熄弧之前应将焊炬垂直于工件并填充焊丝以免形成弧坑。熄弧后不要立即移开焊炬，应待滞后气体停止时再移开以免焊缝高温时被空气氧化。通常用手控开关切断电流来停止焊接。

母材的厚度和接头的设计决定着是否需要向接头中填充焊丝。当手工焊填充焊丝时，要将焊丝送入电弧前端的熔池中。

焊丝和焊炬必须逐渐平稳地移动，以使焊接熔池、热的焊丝端部和已凝固的焊缝不暴露于空气中。

焊丝通常与工作表面保持 $10^\circ\sim 15^\circ$ 角，并缓慢地送入熔池的前端。在焊接过程中，热的焊丝端部不要离开气体保护区。在 V 形坡口多道焊中，也可将焊丝沿焊缝轴线紧贴工件放好，使焊丝与坡口钝边一起熔化。在宽坡口焊接中，采用摆动填充焊丝法，焊丝左右摆动的同时，连续送入熔池中。焊丝与焊炬的摆动方向相反，但是焊丝总是靠近电弧并被送入熔池中。自动焊填充焊丝时，焊丝靠焊丝导管机械而均匀地送入熔池中。冷丝送入熔池的前端，热丝送入熔池的后端。

焊接位置的选择由焊件的可动性、工具和夹具的可用性及焊接费用来决定。平焊位置时间最短，费用最低，质量最好。向上立焊可以获得良好熔深，但由于重力的影响，焊接速度慢。平焊和向上立焊时，焊炬与焊缝表面夹角应大于 75° ，否则易卷入空气。

坡口设计取决于材料厚度。厚度小于 3.5mm 可不开坡口，小于 9.5mm 可开 V 形坡口，更厚的材料开 X 形或 U 形坡口（只能从单面焊者）。

主要工艺参数归结如下。

- ① 焊接电流、电压和电源的特性。
- ② 钨极成分、载流能力和形状。
- ③ 保护气体——用于焊接保护的氩、氦等或两者的混合气。
- ④ 焊丝——化学成分和力学性能与母材相近且适用于预定的用途。

二、GTAW 的分类

根据不同的分类方式，GTAW 有以下几种类型（图 1-2）。

GTAW 按操作方式分为手工、半自动和自动三种焊法。手工焊时焊枪的运动和焊丝的送进完全靠焊工的左右手协调动作来完成；半自动焊时焊枪的运动由焊工来完成而焊丝则由送丝机构来完成；自动焊时焊枪的运动和焊丝的送进均由机械来完成。这三种方法以手工焊应用最为广泛。

通常根据工件材料种类、厚度、产品要求以及生产率等条件选择不同的 GTAW 方法。如直流正接适合于有色金属、不锈钢、低温钢、耐热钢等材料；交流焊适合于铝及铝合金、镁合金、铝青铜等材料；脉冲焊适合于薄件（0.3mm）、管道全位置焊、单面焊双面成形、高速焊和对热敏感性强的材料。热丝焊、双丝焊主要是为了提高焊接生产率。直流氩弧焊几乎可以焊接所有的金属，尤其适用于大厚度（ $>10\text{mm}$ ）铝板。

尽管 GTAW 的焊接消耗成本（钨极占 3%、电力占 5%、惰性气体占 92%）远较其他焊法高，但由于其焊道品质优异、省工省时、外观悦目和变形最小等有利条件，这种焊接方法已成为当今焊接工业有色金属、不锈钢和精密焊接等金属施焊最高水准的现代化施焊方法。

三、GTAW 的特点

1. 优点

① 保护效果好，焊缝质量高。具有一定压力的气体从喷嘴里以层流方式喷出，具有良好的挺度，能有效地隔绝周围的空气，既不溶入金属又不和金属起任何化学反应。焊接时熔池容易控制，飞溅很少，金属元素烧损极少，不容易产生气孔。能焊出高质量的焊缝。

② 电弧燃烧稳定，电弧热量集中。即使在很小的电流（10A）下，电弧仍可稳定地燃烧，并能进行脉冲焊接，容易调节和控制热输入，特别适

合于超薄（0.1mm）材料和对热敏感材料的焊接。电弧弧柱在气流的作用下产生压缩和冷却，单原子气体无吸热分解反应，导热能力又差，电弧热量散失少，弧柱中心温度可达 10000℃。由于热量集中、温度高、焊速快，相应的母材受热程度低，热影响区窄，因而焊件变形小。

③ 电弧具有阴极清理（破碎）作用。电弧中的阳离子，受阴极电场加速，以很高的速度冲击阴极表面，使阴极表面的氧化膜破碎并被清理，在惰性气体的保护下，形成清洁的金属表面。当母材是易氧化的轻金属，如铝、镁及其合金作为阴极时，这一清理作用尤为显著。

④ 能焊接大多数金属，除了低熔点（200~300℃）和易蒸发的金属，如锡、铅、锌等，GTAW 几乎能焊接其余所有的金属。由于具有阴极清理作用，是焊接铝、镁及其合金的唯一好方法，能成功地焊接易氧化、易氮化的化学性能活泼的有色金属、不锈钢及各种合金。尤其是钛和锆能溶解氧和氮，保护不好就会变脆。在异种金属焊接中，既不损失合金成分又能焊出优质焊接接头。

⑤ 适于全位置焊接。无熔渣、无飞溅，熔池和电弧的可见性好，操作方便，是实现单面焊双面成形的好方法。电弧和焊丝分别控制能有效地调节热输入，是实现自熔化焊接的好方法。无熔渣对于要求内部洁净的管道焊接特别适用，是最洁净的焊接方法。

⑥ 操作技术容易，便于实现机械化。焊接工艺性能好，明弧操作，能观察电弧和熔池，熔池的尺寸容易控制，出现未焊透和烧穿的概率小。由于焊丝是通过电弧间接加热的，焊接过程中无飞溅，焊缝成形美观。

2. 缺点

① 生产率较低。与别的电弧焊方法比较，熔深较浅，熔敷速率较低，焊接速度较慢，所以生产率较低。

② 气体保护效果易受周围气流的干扰。室外焊接时必须采取防风措施。

③ 钨极承载电流的能力有限。过大的电流会使钨极熔化和蒸发，其微粒可能进入熔池造成对焊缝的污染而形成夹钨，使接头的力学性能特别是塑性和冲击韧性降低。

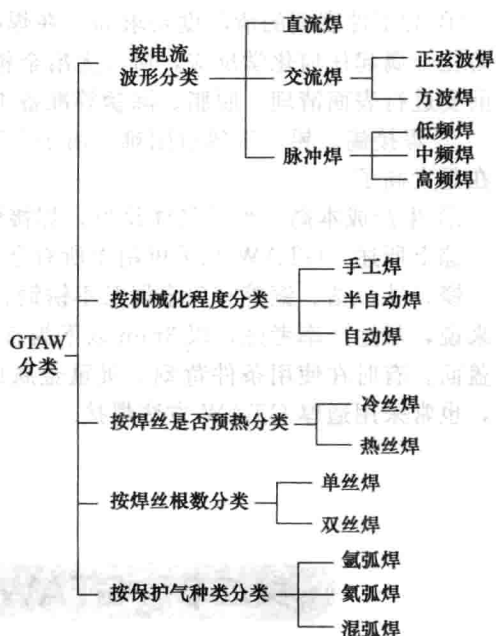


图 1-2 GTAW 分类

④ 对工件表面的清洁度要求高。在焊接过程中惰性气体仅仅起机械隔离保护作用，不和熔化金属起任何化学反应，所以无冶金精炼作用，因此对工件表面状态要求较高。工件在焊前要进行表面清理、脱脂、除锈等准备工作。

⑤ 焊接锡、铅、锌等有困难。由于 GTAW 的弧柱温度高达 10000°C ，对于低熔点金属实在是太高了。

⑥ 生产成本低。惰性气体昂贵，焊接设备复杂，生产率低是成本高的主要原因。

综上所述，GTAW 几乎可用于所有金属和合金的焊接，由于成本高，通常多用于焊接铝、镁、钛、锆、铜等有色金属及不锈钢、耐热钢、低温钢等。焊接的厚度范围，对于合金钢来说，从生产率考虑，以 3mm 以下为宜，厚件多采用组合焊，GTAW 打底，其他方法填充盖面。有时在使用条件苛刻、贵金属的全位置焊接或窄间隙焊接时，为了获得优质焊缝，也常采用通厚 GTAW 方法焊接。

第二节 GTAW 用的电源种类和极性

GTAW 用的电源可根据工件材料的要求选择直流、交流和脉冲三种。焊接铝、镁及其合金应优先选择对称交流电源，其他金属一般都选择直流正极性焊接。

一、直流 GTAW

直流电流没有极性交替变化，因而电弧燃烧稳定，有正接法和反接法之分。

1. 直流正接

工件接电源正极，钨极接电源负极的接法称直流正接法。电子流向工件，离子流向钨极。直流电源阳极的发热量远远大于阴极，几乎是阴极发热量的两倍。直流正接法有以下特点。

① 工件为阳极，接受电子轰击释放出的全部动能和逸出功，电弧集中，阳极加热面积小，发热量又大，所以熔深大，生产率高，能获得窄而深的焊缝。

② 钨极为阴极，具有很强的热电子发射能力，阴极斑点集中，所以正接时电弧燃烧非常稳定。

③ 钨极发射电子的同时要失去一部分能量，即阴极以汽化潜热的形式失去能量，其值为电流和材料逸出功的乘积。这些能量的损失将造成阴极表面的冷却，阴极发热量又小，所以钨极不易过热熔化，烧损极少，允许使用的电流比反接时大得多，几乎是反接的 13 倍。

2. 直流反接和阴极清理作用

工件接电源的负极，钨极接电源的正极的接法称直流反接法。电子流向钨极，离子流向工件。直流反接法有以下特点。

① 阴极清理作用。铝、镁及其合金和易氧化的铜合金（铝青铜、铍青铜等）焊接时，可形成一层致密的高熔点氧化物覆盖在熔池表面和坡口边缘。该氧化物如不及时清除，就会妨碍焊接正常进行。当工件为负极时，其表面氧化物在电弧的作用下可以被清除掉而获得表面光亮、美观、成形良好的焊缝。这是因为金属氧化物电子逸出功小，易发射电子，阴极斑点总是优先在氧化膜处形成，在质量很大的氩正离子撞击下，表面氧化物破坏分解而被清除掉，这就是阴极清理（破碎）作用。清理作用的强弱与正离子的质量有关，氩离子的质量比

氩离子小得多，所以氩弧焊比氦弧焊阴极清理作用强得多。正接时，工件为阳极，无论用何种气体都不会产生这种清理作用。

为了同时兼顾阴极清理作用和两极发热量的均衡分配，对于铝、镁及其合金和铝青铜等金属，一般都采用同时具有直流正接和反接优点的对称交流电源或直流正接氩弧焊，后者虽无阴极清理作用，但因氩弧的热功率大，热量集中，电弧很短时也有一定的去除氧化膜效果。

② 钨极受到电子流的撞击，把电子流携带的能量以凝固热形式吸收进来，本来阳极的发热量比阴极高很多，促使钨极具有很高的温度而过热，导致熔化，污染焊缝，所以反接时钨极的许用电流很小，只有正接的 $1/13$ 。

③ 工件多是冷阴极材料，电子发射主要为场致发射，没有冷却作用。工件所处的温度较高，但由于氧化膜存在，阴极斑点在氧化膜上来回游动，电弧不集中，加热区域大，电弧稳定性差，熔深浅而宽，生产率低，一般不推荐使用。偶尔用于薄件焊接，因受热较少以减小变形。

二、交流 GTAW

交流电流有极性交替变化，电弧不稳。

1. 交流电弧的整流作用

交流 GTAW 的主要问题是直流分量和电弧稳定性。交流 GTAW 电压和电流的波形是不对称的。正半波时，钨极为负极，因其熔点和沸点高，且导热性差，直径小，热电子发射容易，所以电弧电压低，焊接电流大，导电时间长。负半波时，工件为负极，其熔点和沸点低，且尺寸大，散热快，热电子发射困难，所以电弧电压高，焊接电流小，导电时间短。由于正、负半波电流不对称，在交流焊接回路中存在一个由工件流向钨极的直流分量，这种现象称为电弧的整流作用。钨极和工件的熔点、沸点、导热性相差越大（如铝和镁工件），上述不对称情况就越严重，直流分量就越大。

直流分量的危害是削弱了阴极清理作用，使焊接铝、镁及其合金产生困难。另外，直流分量磁通使焊接变压器铁芯饱和，工作条件恶化，并使焊接电流波形畸变，影响焊接电弧稳定燃烧。清除直流分量的最好方法是在焊接回路中串联电容器，电容器的容量是每安培焊接电流 $300\sim 400\mu\text{F}$ 。使用方便，维修简单。

完全清除直流分量后，焊接电流波形从不对称变为对称。阴极清理作用得到了加强，但随之两极发热量也有所变化：工件发热量减少，钨极发热量增加，钨极承载电流的能力下降。

交流电源正、负半波交替时，焊接电流过零反向，电弧空间发生消电离和重新引弧过程，这时的重新引弧电压都高于该半波的燃弧电压，尤其是负半波开始的瞬间，所需的重新引弧电压很高，普通交流弧焊电源的空载电压已不足以维持电弧的连续燃烧，必须采取稳弧措施。

(1) 高频振荡器稳弧 在焊接过程中将 $150\sim 260\text{kHz}$ 、 $2500\sim 3000\text{V}$ 的高频电压持续地加在钨极和工件之间，可以起到维持交流电弧连续燃烧的作用。缺点是高频电压的输出和交流电弧过零的时间不易保持一致，对稳弧的可靠性有一定影响。此外，对工业无线电、电子仪器有干扰作用，对人体健康也有影响。

(2) 高压脉冲稳弧 在负半波开始的瞬间，外加一个高压脉冲，以保证电弧及时复燃。这是效果较好、应用最广的引弧方法。

2. 交流矩形波钨极氩弧焊

交流矩形波一方面由于过零后电流增长快，再引燃容易，能有效地改善交流电弧的稳定性，和一般正弦波相比大大提高了稳弧性能。另一方面可以根据焊接条件选择较小而必要

的占空比,使其既能满足清理氧化膜的需要,又能合理分配工件和钨极之间的热量,获得满意的熔深和最大限度地减少钨极烧损。占空比对铝、镁及其合金的焊接有重要影响。其值为负半波时间在周期中所占的比例。当占空比增大时,阴极清理作用加强,但工件得到的热量减少,熔池浅而宽,钨极烧损大;反之,占空比减小时,阴极清理作用弱,熔池深而窄,钨极烧损小。一般占空比在 10%~50% 范围内调整。

3. 交、直流特点比较

直流和交流氩弧焊的特点见表 1-1。

表 1-1 直流和交流氩弧焊的特点

项 目	直流正接	直流反接	交流正弦波	交流矩形波
示意图				
电流波形				
两极热量比例	钨极 30%, 工件 70%	钨极 70% 工件 30%	钨极 50% 工件 50%	通过占空比可调
熔深特点	深而窄	浅而宽	中等	较深
钨极许用电流	最大 φ3.2 400A	最小 φ3.2 30A	较大 φ3.2 225A	大 φ3.2 325A
阴极清理作用	无	有	有	有
电弧稳定性	很稳	不稳	很不稳	稳
直流分量	无	无	有	无
适用材料	氩弧焊:除铝、镁合金外,其余金属。氩弧焊:几乎所有金属	一般不采用	铝、镁及其合金、铝青铜	铝、镁及其合金、铝青铜

三、脉冲 GTAW

1. 脉冲焊概念

脉冲焊的电流值按一定频率周期性地变化。当每一次脉冲电流通过时,工件被加热熔化,形成一个点状熔池,基值电流通过时使熔池冷凝结晶,同时维持电弧燃烧。焊接过程是一个断续的加热过程,焊缝由一个个点状熔池叠加而成。电流是脉动的,电弧有明亮和暗淡的闪烁现象。即峰值时间内电弧燃烧强烈,弧柱扩展;基值时间内电弧暗淡,产热量降低。采用脉冲电流,可以减小电流的平均值,降低工件的热输入。

2. 低频脉冲焊

脉冲频率在 0.5~10Hz 的钨极氩弧焊称为低频脉冲焊。由于电流变化频率很低,对电弧形态上的变化可以有非常直观的感觉,即电弧有低频闪烁现象。

在熔池形成上,当每一个脉冲电流到来时,焊件上就形成一个近似圆形的熔池,在脉冲持续时间内迅速扩大;当脉冲电流过后进入基值电流期间时,熔池迅速收缩凝固,随后等待

下一个脉冲的到来。由此在工件上形成一个个熔池凝固后相互搭接所构成的焊缝。控制脉冲频率、焊接速度和其他焊接参数，可以保证获得致密性良好、搭接量合适的焊缝。

在低频脉冲氩弧焊工艺中，通过调节脉冲电流、基值电流的大小和持续时间，可以精确地控制对工件的热输入和熔池尺寸，焊缝熔深均匀，热影响区窄，工件变形小，特别适宜于薄板、全位置管道和单面焊双面成形等的焊接。

由于焊接是脉冲式加热，熔池金属在高温停留时间短，冷却速度快，可减少热敏感材料产生焊接裂纹的倾向，也适于焊接导热性能较差和厚度差别较大的工件。

3. 高频脉冲焊

脉冲电流频率超过 5kHz，电弧具有强烈的电磁收缩效应，使高频电弧的挺度大为增加，即使在小电流状态下，电弧也有很强的稳定性和指向性，因此对薄板焊接非常有效，随着电流频率的提高，电弧压力也增大，当电流频率达到 10kHz 时；电弧压力稳定，大约为稳态直流的四倍，数值约为 0.35kPa。工艺条件为峰值电流 150A，基值电流 5A，平均电流 50A，电弧长度 3mm。电流频率再增加，电弧压力略有增大。随着电流频率的增加，由于电磁收缩作用和电弧形态产生的保护气流使电弧压缩而增大压力。所以高频电弧具有很强的穿透力，增加焊缝熔深；高频电流对焊接熔池金属有更强的电磁搅拌（振荡）作用，有利于晶粒细化、消除气孔，提高接头的力学性能，获得优质的焊缝。高频脉冲电弧在 10A 以下小电流区域仍然非常稳定。由于热输入少，电弧能量集中且挺度大，热影响区窄和变形小，有利于超薄件焊接，可以焊接 0.1mm 的超薄板，尤其是对不锈钢板，焊缝成形均匀美观。

高频电弧挺度大、指向性强，适合高速焊，焊速可达 3m/min，大大提高了生产率。

4. 交流脉冲焊

交流脉冲焊可以得到稳定的交流氩弧，通过调整正、负半波的占空比，既能去除氧化膜，又能得到较大的熔深，钨极烧损最小。

四、电源种类与极性的选择

GTAW用的电源种类与极性，应根据被焊金属材料的特性和具体施焊条件选择。常见的有直流正接、直流反接和交流三种，唯有直流反接使用得极少，不推荐选用，具体见表 1-2。

表 1-2 GTAW 用的电流种类与极性的选择

金属材料	直流正接	直流反接	交流	金属材料	直流正接	直流反接	交流
铝(<3mm)	×	○	△	铸铁	△	×	○
铝(≥3mm)	×	×	△	异种金属	△	×	○
铸铝	×	×	△	硬面堆焊	○	×	△
镁(<3mm)	×	○	△	碳钢、低合金钢	△	×	○
镁(≥3mm)	×	×	△	高合金钢、镍及 镍合金、不锈钢	△	×	×
镁铸件	×	○	△				
工业纯铜	△	×	○	钛	△	×	×
无氧铜	△	×	×	锂	△	×	×
黄铜、铜基合金	△	×	○	锆	△	×	×
铝青铜、铍青铜	×	○	△	银	△	×	×
硅青铜	△	×	×				

注：表中△—最佳；○—勉强可以；×—不可以。

第二章 设备和工具

手工钨极氩弧焊设备系统示意如图 2-1 所示。

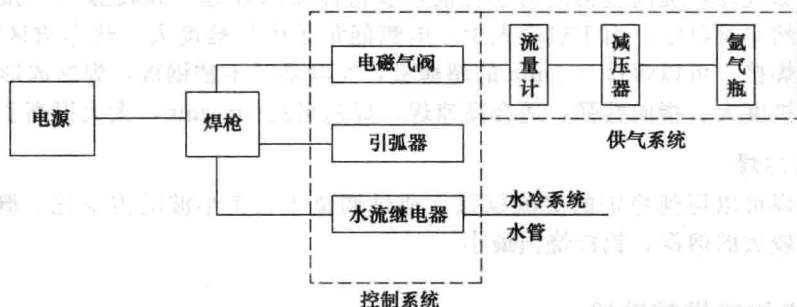


图 2-1 手工钨极氩弧焊设备系统示意

GTAW 使用下列设备和工具。

- (1) 一台具有稳恒电流的焊接电源——交流或直流电源，用以引弧、稳弧及焊接。市售焊机负载持续率在 40%~100% 时，电流 5~1500A，电压 10~35V。
- (2) 一把焊枪——用以夹持钨极、传递焊接电流和向焊接区输送保护气。
- (3) 供气系统——一种气体和气瓶、减压器、流量计、电磁气阀、气管、尾拖和背面保护。
- (4) 水冷系统——大电流焊接时用于冷却焊枪。
- (5) 焊接程序控制系统——用以自动协调水、电、气各个系统的工作顺序。手工焊的控制系统与焊接电源装在同一机壳内。
- (6) 自动焊接小车——车上装有行走机构、送丝机构、调节旋钮、控制开关、指示灯及仪表等。
- (7) 焊接电缆与连接器——连接焊枪、工件和电源。
- (8) 常用工具和护具——钢丝刷、电动砂轮、面罩和防护服。

第一节 焊接电源

一、GTAW 焊机的种类

GTAW 需要一台稳恒电流的电源,虽然这些焊机可以作为焊条电弧焊机用,但它们更昂贵,因为电流需要更精确地控制和调节。焊机在 220V 或 380V 输入电压下工作,焊机可以输出直流、交流和交流或直流电,输出电流为 5~1500A,电弧电压为 10~35V。工业用 GTAW 焊机可分为 I 极(负载持续率为 60%~100%)和 II 级(负载持续率为 30%~50%)。

GTAW 焊机可以是发电机、变压整流器或逆变焊机。内燃机驱动的发电机可以输出直流或直流和交流电,适合在无电源的地方工作。

单相输入变压整流器输出的直流电弧会发出轻微的响声。三相输入变压整流器输出的直流电弧感觉很柔和。

逆变焊机使用高频转换输入电流,因为转换和变压都比常用的电源小,所以在同样的功率输出时逆变焊机的重量比变压整流器小得多。它们与别的焊机相比,可在更大的功率下操作和在更高的功率因数下运行。

脉冲焊机减少了向工件输入的热量并改善了焊接熔池的控制。利用高压脉冲引弧是一种较好的方法。在交流焊机中,既用高压脉冲引弧又用高压脉冲稳弧。

GTAW 焊机允许使用的最大空载电压为 80~100V,可能不足以建立和维持稳定的电弧,因此该工艺可以由高频(每秒几百万次)电流来建立较高的空载电压以稳定电弧。

二、对焊接电源的基本要求

① 氩气与氦气电弧电压的比较。电弧的静特性曲线是指在一定的电弧长度、一定的保护气体氛围和一定的阴、阳电极材料条件下,电弧达到稳定状态时电弧电压与焊接电流之间对应关系的曲线。图 2-2 所示为在分别采用氩气和氦气作保护气体时的两组电弧静特性曲线,从图中可以看出,在任何给定的焊接电流和电弧长度下,氩弧电压都低于氦弧电压,这和氩气的一次电离电压(15.76V)低于氦气的一次电离电压(24.59V)有关,也表征着氩弧比氦弧容易引燃。氩气保护具有较低电弧电压的特性,有利于薄件手工焊,可减少烧穿倾向,也有利于立焊和仰焊。当弧长和焊接电流相同时,氦弧的功率比氩弧高,故常用氦弧来焊接厚板、导热率高或熔点高的材料;或在氩气中加入氦气来提高电弧的功率。

② 电源必须具有陡降的外特性:根据 GTAW 电弧静特性曲线的特征,为了减少或排除因弧长变化而引起的焊接电流的波动,无论直流或交流 GTAW,都要求选择具有陡降(恒流)外特性的弧焊电源,如图 2-3 所示。在国家标准 GB/T 8118 中对于 GTAW 工艺,规定了焊接电源应能在整个调节范围内提供约定负载电压(U)下的焊接电流(I),即 $U=10+0.04I$,当焊接电流大于 600A 时,电弧电压保持 34V 恒定。

③ 交流焊机必须有引弧和稳弧装置,必须有消除直流分量的装置。

④ 理想的调节特性:对于手工焊来说,电弧电压是由电弧长度决定的,主要的调节参

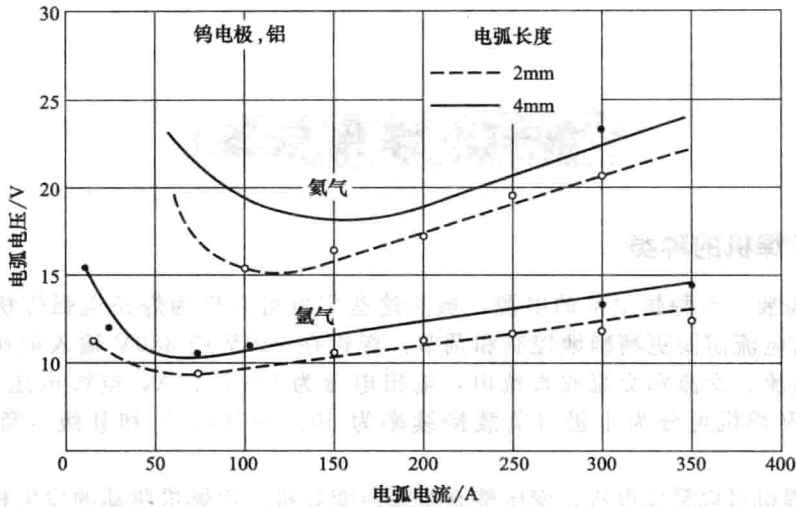


图 2-2 氩气与氦气电弧电压的比较

数是焊接电流。特别要求在焊机的电流允许使用范围内都能准确、方便、均匀地进行调节，并能保证电弧的稳定燃烧。

⑤ 结构合理、经济耐用。

三、常用的 GTAW 焊机

1. ZX₇ 和 WS 系列逆变氩弧直流焊机的主要特点和技术参数

- ① 逆变技术高效节能，工作频率高、体积小、重量轻、携带方便。
- ② 高频高压引弧及脉冲热引弧，引弧性能极佳。小电流电弧稳定，适合精密焊接。
- ③ 焊接电流、送气时间、脉冲等均可无级调节。
- ④ 智能风冷控制，智能自保全功能。
- ⑤ 工作电压范围宽，电网适应能力强。
- ⑥ 结构简洁、可靠耐用、便于维护。

⑦ 适于碳钢、合金钢、铜、钛等金属焊接。技术参数见表 2-1。ZX₇ 系列有 ZX₇-160、ZX₇-180、ZX₇-200、ZX₇-250、ZX₇-315、ZX₇-400、ZX₇-500、ZX₇-630。WS 系列有 WS-160、WS-180、WS-200、WS-250、WS-300 等。

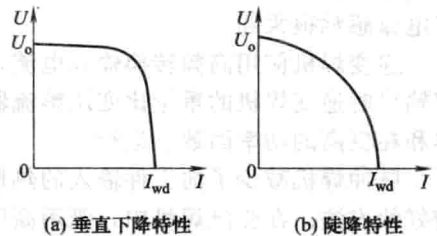


图 2-3 GTAW 电源外特性

表 2-1 ZX₇ 和 WS 系列逆变氩弧直流焊机技术参数

型 号	ZX ₇ -180	ZX ₇ -250	ZX ₇ -315	ZX ₇ -400	ZX ₇ -500	WS-160	WS-200	WS-300
电网电压/V	220	380	380	380	380	220	220	380
空载电压/V	75	75	75	75	75	40	41	95
额定电流/A	180	250	315	400	500	160	200	300
电流调节范围/A	14~200	19~250	24~315	30~400	38~500	10~160	10~200	20~300
引弧方式	高频高压	高频高压	高频高压	高频高压	高频高压	高频高压	高频高压	高频高压
钨极直径/mm	1~3	1~4	1~5	1~5	2~8	1~3	1~3	1~5
电流衰减时间/s			0~5					0~5
氩气滞后时间/s			0~15					0~15
氩气流量/(L/min)			15	20			15	15

续表

型 号	ZX ₇ -180	ZX ₇ -250	ZX ₇ -315	ZX ₇ -400	ZX ₇ -500	WS-160	WS-200	WS-300
冷却水流量/(L/min)			1					1
配用焊枪			QQ-0-90/75 QS-65/300					QQ-0-90/75 QS-65/300
重量/kg	28	35	37	55	68	9	9	19
外形尺寸/mm						395×153× 301	395×153× 301	505×203× 375

注：Z—整流；X—下降特性；W—钨极；S—手工。

2. WSJ 系列交流氩弧焊机

采用方波交流弧焊电源，输出电流为交流矩形波，电流过零点极快，电弧稳定性好，通过电子控制，正、负半波通电时间比可以自由调节，电弧稳定，电流过零时重新引弧容易，不必采用稳弧措施。方波交流氩弧焊电源常用的电路形式主要有记忆电感式交流方波电源和逆变式交流方波及变极性电源两种。技术数据见表 2-2。

(1) 记忆电感式交流方波电源 单相晶闸管式交直流两用电源工作在交流方式时的电路如图 2-4 所示，它的输出电流波形近似为方波。与普通的单相交流弧焊整流器相比，它们的不同之处在于，弧焊整流器的电感直接与负载串联连接到整流桥的直流输出端，而图 2-4 所示的交流电源只将电感接在整流器的直流输出端，然后整流器的交流输入端与负载串联再连接到交流变压器的输出端。即输出电感是一直工作在直流状态，而与之串联的交流负载却工作在交流状态。

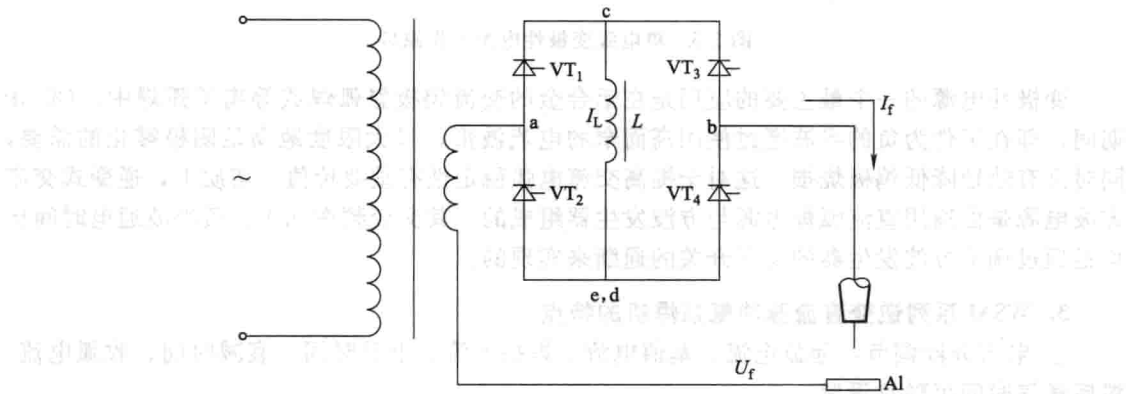


图 2-4 交流方波电源电路原理

输出电感一直工作在直流状态，对电源工作状态产生如下影响。

① 引起电流畸变，使负载电流波形由正弦波转变为方波。而且通过调节正、负半波晶闸管的导通时间比，还可以获得正、负半波时间宽度不等的矩形波。一个正比于直流电感中电流值的采样信号，用于电源的电流反馈控制，因此当电感足够大时，无论是极性变化，还是正、负半波导通时间变化，交流负载电流的幅值都等于直流电感中的电流值，此时电感的储能作用，就像有一种记忆功能一样，保持交流电流幅值不变，故称为记忆电感式交流方波电源。

② 引起电压尖峰，易于电弧的过零再引燃。由于电弧负载工作在交流状态下，所以电弧必然在电流过零点熄灭，电弧的熄灭意味着包括电感在内的整个回路电流中断，即电感中的电流突然下降，则电感中所储存的能量将在电感两端产生一个很高的电压尖峰。对于冷阴极材