

实用焊接技术丛书

焦万才 张文明 刘兆甲 主编

氩弧焊

YAHUHAN

辽宁科学技术出版社

实用焊接技术丛书

氩弧焊

焦万才 张文明 刘兆甲 主编

辽宁科学技术出版社

沈阳

图书在版编目 (CIP) 数据

氩弧焊/焦万才,张文明,刘兆甲主编. —沈阳:辽宁科学技术出版社,2007.4

(实用焊接技术丛书)

ISBN 978-7-5381-4839-8

I. 氩... II. ①焦... ②张... ③刘... III. 气体保护焊 IV. TG444

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第110307号

出版发行:辽宁科学技术出版社

(地址:沈阳市和平区十一纬路25号 邮编:110003)

印刷者:沈阳新华印刷厂

经销者:各地新华书店

幅面尺寸:140mm×203mm

印 张:11.25

字 数:292千字

印 数:1~4000

出版时间:2007年4月第1版

印刷时间:2007年4月第1次印刷

责任编辑:韩延本

封面设计:邹 亮

版式设计:于 浪

责任校对:李 雪

定 价:19.80元

联系电话:024-23284372

邮购电话:024-23284502

E-mail:lkzsb@mail.lnpgc.com.cn

<http://www.lnkj.com.cn>

前 言

随着工业技术的发展，新材料不断涌现，焊接在机械制造、石油化工、造船、压力容器等工业领域中的应用越来越广泛。使用氩弧焊的焊接方法焊接质量高，适用范围广，对于一些难以焊接的有色金属更有其独特优势。氩弧焊的焊接操作技能在近几年焊接生产中的重要性越来越突出，对操作者的技术要求也越来越严格，特别是在管道、锅炉、压力容器等的制造中，焊接质量直接关系到社会、企业生产和人员的安全。

针对目前市场上关于氩弧焊方面的图书较少，特别是氩弧焊操作方面的用书更是贫乏的现状，通过对市场的调查，了解到很多工艺人员和焊接工人都非常希望有关图书问世，以便解决更多的实际问题。有鉴于此，我们组织编写了本书。

本书在编写内容上侧重于基本操作技能和对一些实际问题的解决办法，对于一些金属材料的氩弧焊工艺，给出了翔实的数据和焊接措施，并列举了很多具有代表性的焊接实例，突出了焊接技术要点，希望读者能够从这些实例中得到启发和借鉴。

本书的编写内容体现了当前氩弧焊中的应用状况，突出了钨极氩弧焊和熔化极氩弧焊的工艺特点和应用范围，能够指导焊接工程技术人员和操作人员。

本书由沈阳大学焦万才、张文明、刘兆甲主编，参加本书编写的还有沈阳大学王滨、姚正辉、杨芙、张以鹏、江振平、何东辉，东北大学司会，鞍山钢铁公司崔正辉等同志。

由于编者水平和经验有限，书中难免有错误和不妥之处，请读者给予批评指正。

编 者

目 录

| | |
|-------------------------------|----|
| 第一章 概述 | 1 |
| 第一节 氩弧焊原理、分类及特点 | 1 |
| 一、氩弧焊原理 | 1 |
| 二、氩弧焊分类 | 1 |
| 三、氩弧焊特点 | 2 |
| 第二节 焊接材料 | 3 |
| 一、焊丝 | 3 |
| 二、钨极 | 7 |
| 三、保护气体 | 11 |
| 第二章 焊接设备 | 16 |
| 第一节 钨极氩弧焊设备 | 16 |
| 一、焊接电源 | 16 |
| 二、焊枪..... | 27 |
| 三、供气系统和水冷系统..... | 33 |
| 第二节 熔化极氩弧焊设备 | 37 |
| 一、焊接电源 | 37 |
| 二、送丝系统 | 38 |
| 三、焊枪..... | 41 |
| 四、供气系统和冷却水系统 | 43 |
| 五、控制系统 | 43 |
| 六、熔化极氩弧焊机 | 44 |
| 第三节 氩弧焊设备维护及故障处理 | 47 |
| 第三章 钨极氩弧焊 | 49 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 第一节 钨极氩弧焊工艺及操作技术 | 49 |
| 一、钨极氩弧焊工艺参数 | 49 |
| 二、钨极氩弧焊前准备 | 54 |
| 三、基本操作技能 | 58 |
| 第二节 平板对接焊操作技能 | 64 |
| 一、薄板对接平焊 | 64 |
| 二、薄板对接立焊 | 66 |
| 三、薄板对接横焊 | 67 |
| 四、薄板对接仰焊 | 69 |
| 第三节 管板焊接操作技能 | 70 |
| 一、插入式管板垂直固定平角焊 | 70 |
| 二、插入式管板焊接垂直固定仰焊 | 72 |
| 三、骑坐式管板 T 形接头水平固定焊 | 74 |
| 第四节 管子对接焊操作技能 | 76 |
| 一、水平转动的小直径管对接 | 76 |
| 二、垂直固定小径管对接 | 77 |
| 三、水平固定焊小径管对接焊技术 | 79 |
| 四、管子对接水平固定障碍焊的打底焊 | 89 |
| 五、管子对接垂直固定障碍焊 | 91 |
| 第五节 其他钨极氩弧焊接方法及工艺 | 97 |
| 一、钨极脉冲氩弧焊 | 97 |
| 二、钨极氩弧点焊 | 100 |
| 三、热丝钨极氩弧焊 | 101 |
| 四、钨极氩弧焊特有的工艺缺陷及防止措施 | 102 |
| 第四章 熔化极氩弧焊 | 104 |
| 第一节 概述 | 104 |
| 一、熔化极氩弧焊特点 | 104 |
| 二、熔化极氩弧焊的应用范围 | 104 |
| 三、MIG 焊与 TIG 焊的性能比较 | 105 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| 四、熔化极氩弧焊的熔滴过渡 | 106 |
| 第二节 熔化极氩弧焊工艺 | 110 |
| 一、熔化极氩弧焊工艺参数的选择 | 110 |
| 二、熔化极氩弧焊工艺特点 | 120 |
| 三、熔化极脉冲氩弧焊 | 124 |
| 第五章 铝及铝合金的焊接 | 128 |
| 第一节 概述 | 128 |
| 一、铝及铝合金的性能及分类 | 128 |
| 二、铝及铝合金的焊接性 | 133 |
| 三、铝及铝合金的焊前准备及焊后清理 | 134 |
| 四、铝及铝合金焊丝 | 136 |
| 第二节 铝及铝合金的钨极氩弧焊 | 142 |
| 一、铝及铝合金 TIG 焊电流种类及特点 | 143 |
| 二、坡口形式及尺寸 | 145 |
| 三、铝及铝合金交流手工 TIG 焊工艺 | 147 |
| 四、铝及铝合金交流手工 TIG 焊接技术 | 151 |
| 五、铝及铝合金交流自动 TIG 焊 | 154 |
| 六、铝及铝合金脉冲 TIG 焊工艺 | 155 |
| 七、铝及铝合金直流正接 TIG 焊 | 157 |
| 八、铝及铝合金 TIG 焊常见缺陷及防止措施 | 159 |
| 第三节 铝及铝合金的熔化极氩弧焊 | 162 |
| 一、铝及铝合金 MIG 焊特点及应用 | 162 |
| 二、铝及铝合金 MIG 焊和 TIG 焊电弧的异同 | 164 |
| 三、铝及铝合金 MIG 焊的接头及坡口形式 | 165 |
| 四、铝及铝合金半自动、自动 MIG 焊工艺 | 166 |
| 五、铝及铝合金脉冲 MIG 焊工艺 | 170 |
| 六、铝及铝合金半自动 MIG 焊操作技术 | 171 |
| 七、铝及铝合金自动 MIG 焊操作技术 | 176 |
| 八、铝及铝合金 MIG 焊焊接接头常见缺陷及防止措施 | 178 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第六章 不锈钢的氩弧焊 | 184 |
| 第一节 概述 | 184 |
| 一、不锈钢的分类及化学成分 | 185 |
| 二、不锈钢的物理性能和力学性能 | 187 |
| 第二节 不锈钢的焊接性分析 | 193 |
| 一、奥氏体不锈钢的焊接性分析 | 193 |
| 二、奥氏体不锈钢焊接采取的措施 | 195 |
| 三、铁素体不锈钢的焊接性分析 | 198 |
| 四、马氏体不锈钢的焊接性分析 | 200 |
| 第三节 不锈钢的氩弧焊工艺 | 201 |
| 一、不锈钢焊丝的选用 | 201 |
| 二、不锈钢焊件的清理 | 202 |
| 三、不锈钢的钨极氩弧焊工艺 | 203 |
| 四、不锈钢的 MIG 焊工艺 | 208 |
| 第七章 其他金属材料的氩弧焊 | 211 |
| 第一节 铜及铜合金的氩弧焊 | 211 |
| 一、铜及铜合金的分类、性能及用途 | 211 |
| 二、铜及铜合金的焊接性 | 214 |
| 三、焊接铜及铜合金经常采取的措施 | 216 |
| 四、铜及铜合金的焊接材料 | 217 |
| 五、紫铜的氩弧焊工艺 | 218 |
| 六、黄铜的氩弧焊工艺 | 226 |
| 七、青铜的氩弧焊工艺 | 228 |
| 八、厚铜板的大电流 MIG 焊接 | 231 |
| 第二节 镁及镁合金的焊接 | 232 |
| 一、镁及镁合金的种类及性能 | 232 |
| 二、镁合金的焊接特点 | 234 |
| 三、镁合金的焊接性 | 234 |
| 四、镁合金的钨极氩弧焊 | 235 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第三节 钛及钛合金的焊接 | 237 |
| 一、钛及钛合金的种类和性能 | 237 |
| 二、钛及钛合金的焊接性 | 239 |
| 三、钛及钛合金的钨极氩弧焊 | 241 |
| 四、钛及钛合金的熔化极氩弧焊 | 247 |
| 五、钛材料的焊后处理 | 247 |
| 第四节 高温合金的氩弧焊 | 248 |
| 一、高温合金的牌号、性能及用途 | 248 |
| 二、高温合金的钨极氩弧焊焊接工艺特点 | 250 |
| 三、高温合金的氩弧焊焊接参数 | 255 |
| 第八章 氩弧焊焊接实例 | 258 |
| 第一节 钨极氩弧焊焊接实例 | 258 |
| 一、2A12 铝合金冷凝器的 TIG 焊 | 258 |
| 二、船用螺旋桨的焊接修复 | 260 |
| 三、铝青铜阀门密封面的堆焊 | 263 |
| 四、铜排软连接的钨极氩弧焊 | 265 |
| 五、海底充油电缆软接头的钨极氩弧焊 | 267 |
| 六、纯钛外冷器的焊接 | 270 |
| 七、空冷器管箱与换热管的焊接 | 273 |
| 八、中碳钢厚壁管高压管道的焊接 | 276 |
| 九、铅蛇形管冷却器的焊接 | 278 |
| 十、钨棒的氩弧钎焊 | 281 |
| 十一、省煤器管的分段控制自动 TIG 焊 | 282 |
| 十二、拖拉机发动机罩的自动 TIG 焊 | 284 |
| 十三、异种钢蒸气管道的修复 | 286 |
| 十四、管状铝母线全位置手工 TIG 焊 | 287 |
| 十五、铝镁合金双面同步氩弧焊 | 289 |
| 第二节 熔化极氩弧焊焊接实例 | 292 |
| 一、纯铝浓硝酸贮罐 MIG 焊 | 292 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| 二、T3 铜管与 1Cr18Ni9Ti 不锈钢板的 MIG 焊 | 294 |
| 三、铝制罐车的 MIG 焊 | 296 |
| 四、铝合金油封装配的半自动脉冲 MIG 补焊 | 298 |
| 五、铝型材散热器与导电排的自动 MIG 焊 | 300 |
| 六、铝合金压力罐的三枪自动 MIG 焊 | 302 |
| 七、高炉紫铜螺旋风口的自动 MIG 焊 | 304 |
| 八、42CrMo 链轮的富氩气体保护焊 | 306 |
| 九、水轮发电机转子支架裂纹的焊接修复 | 308 |
| 第九章 氩弧焊的安全问题与焊接检验 | 313 |
| 第一节 氩弧焊的安全问题 | 313 |
| 一、预防高频电磁场的伤害 | 313 |
| 二、预防放射线伤害 | 314 |
| 三、预防弧光伤害 | 315 |
| 四、预防飞溅金属灼伤 | 317 |
| 五、预防焊接粉尘及有毒气体中毒 | 317 |
| 六、预防火灾和爆炸 | 322 |
| 七、气瓶使用安全技术 | 322 |
| 八、预防噪声伤害 | 325 |
| 第二节 焊接检验 | 325 |
| 一、焊接检验方法及分类 | 325 |
| 二、检验内容（焊前、焊中、焊后） | 326 |
| 三、各种检验方法的特点及应用 | 329 |
| 四、焊接质量评定及控制 | 342 |
| 参考文献 | 350 |

第一章 概 述

第一节 氩弧焊原理、分类及特点

一、氩弧焊原理

氩弧焊是用惰性气体——氩气作保护气体的一种电弧焊焊接方法，焊接过程如图 1-1 和图 1-2 所示，从喷嘴中喷出的氩气在焊接区造成一个厚而密的气体保护层，使之与空气隔绝，在氩气层流的保护下，利用电弧在电极（钨极或焊丝）和工件之间燃烧产生的热量来熔化被焊处，并填充或不填充焊丝，把分离的金属连接成为一体，从而获得牢固的焊接接头。

二、氩弧焊分类

氩弧焊根据电极熔化情况，可分为熔化极氩弧焊和非熔化极氩弧焊。

1. 非熔化极氩弧焊

非熔化极氩弧焊可分为手工氩弧焊、半自动氩弧焊、自动氩弧焊、氩弧点焊、脉冲氩弧焊、真空氩弧焊及热丝钨极氩弧焊等。

非熔化极氩弧焊一般用钨作为电极，用氩气作保护气体，又叫“TIG”焊（图 1-1）。焊接时，钨极不熔化，无电极金属的过渡问题，电弧现象比较简单，焊接工艺过程的再现性较强，焊接质量稳定，在许多重要的工业部门都有广泛的应用。主要用于薄板的焊接，通常适合于 6mm 以下的工件以及厚板的打底焊道。

2. 熔化极氩弧焊

熔化极氩弧焊分为自动氩弧焊、半自动氩弧焊和脉冲氩弧焊。熔化极半自动氩弧焊靠手操纵焊枪，焊丝通过自动送丝机构经焊枪输出；熔化极自动氩弧焊的焊枪通过传动机构带动行走，通过自动送丝机构送丝。熔化极氩弧焊是采用与焊件成分相近或相同的焊丝作为电极，以氩气作为保护介质的一种焊接方法，通常又称“MIG”焊（图1-2）。

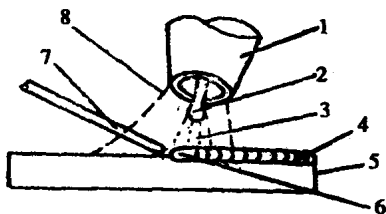


图1-1 钨极氩弧焊示意图

1—喷嘴 2—钨极 3—电弧 4—焊缝 5—工件 6—熔池 7—焊丝 8—氩气

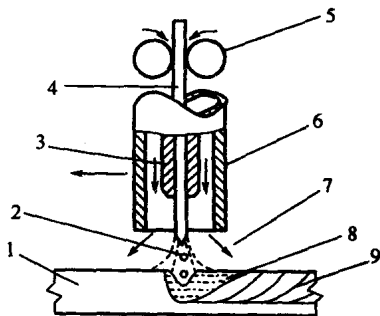


图1-2 熔化极氩弧焊示意图

1—母材 2—电弧 3—导电嘴 4—焊丝 5—送丝轮 6—喷嘴 7—保护气体
8—熔池 9—焊缝金属

三、氩弧焊特点

1. 氩弧焊优点

(1) 氩气是单原子惰性气体，高温时无放热分解反应，导

电能力差，氩气流产生压缩效应和冷却作用，电弧能量比较集中，温度较高。

(2) 能焊接活泼性较强和含有高熔点氧化膜的铝、镁及其合金。

(3) 操作时不受空间位置限制，适用于全位置焊接。

(4) 焊缝区无熔渣，焊工在操作时可以清楚地看到熔池和焊缝的形成过程。

(5) 适合于焊接有色金属及其合金、不锈钢、高温合金钢以及难熔的活性金属等，常用于结构钢管及薄壁件的焊接。

2. 氩弧焊缺点

(1) 氩气以及设备的成本较高，因此，主要用于打底焊以及有色金属的焊接。

(2) 氩气的电离势较高，引弧困难，尤其是 TIG 焊，需要采用高频引弧及稳弧装置。

(3) 氩弧焊产生的紫外线强度是焊条电弧焊的 5 ~ 30 倍，在强烈的紫外线照射下，空气中的氧分子、氧原子互相撞击生成臭氧 (O_3)，对焊工的危害较大。

(4) 采用 TIG 焊时，若使用有放射性的钨极，对焊工也有一定的危害。

第二节 焊接材料

一、焊 丝

1. 焊丝的特点

氩弧焊对焊丝的要求是很高的，焊丝主要与母材充分熔合形成焊缝，因此，焊丝对焊缝的质量有很大的影响。通常，氩弧焊要求焊丝的化学成分应与母材的性能相匹配，同时要严格控制其化学成分的纯度和质量。在焊接时，由于有化学成分的损失，所

以，焊丝的主要合金成分要高于母材。

2. 焊丝标准及形式

目前已有的国家或行业焊丝标准如下。

GB/T 8110—1995 《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》。

GB/T 14957—1994 《熔化焊用钢丝》。

GB 4233—1984 《惰性气体保护焊接用不锈钢棒及钢丝》。

GB 4242—1984 《焊接用不锈钢丝》。

GB 9460—1988 《铜及铜合金焊丝》。

GB 10858—1989 《铝及铝合金焊丝》。

GB 10044—1988 《铸铁焊条和焊丝》。

GB/T 15620—1995 《镍及镍合金焊丝》。

我国惰性气体保护焊用焊丝尚未形成完整的体系，缺项者暂借用美国焊接学会标准（AWS），该标准具有一定的通用性。以下为美国焊丝标准。

A5.7 《铜和铜合金裸焊丝和焊条》。

A5.9 《铬和铬镍耐蚀钢复合金属芯和绞线芯裸焊丝和焊条》。

A5.10 《铝和铝合金裸焊丝和焊条》。

A5.13 《实芯表面堆焊丝和焊条》。

A5.14 《镍和镍合金裸焊丝和焊条》。

A5.16 《钛和钛合金焊丝和焊条》。

A5.18 《气体保护电弧焊用碳钢焊丝》。

A5.19 《镁合金焊丝和焊条》。

A5.21 《复合表面堆焊丝和焊条》。

A5.24 《锆和锆合金焊丝和焊条》。

A5.28 《气体保护电弧焊用低合金钢焊丝》。

A5.30 《熔化垫》。

焊丝形式有两种，即手工用定长焊丝和自动焊用连续焊丝。

手工用拔制或铸造的直裸焊丝切割成一定长度，直径小于 1.6mm 的用于精细工件，直径 2mm 以上的用于较大电流的焊接。一般的软金属焊丝，也可从盘丝上截取后用手矫直再用于焊接。

盘状焊丝多用于自动或半自动焊，在熔化极电弧焊中，焊丝又为熔化电极。

另一种焊丝是做成可熔衬垫的形式，主要用于管道，也称为可熔化垫（环）。这些铸造、锻制或机制的环状焊丝，在焊接前置于坡口根部，在焊接过程中熔入焊缝。

3. 焊丝分类及编号

氩弧焊焊丝主要分钢用焊丝和有色金属焊丝两大类。为了获得优质焊缝，减少化学成分的变化，保证焊缝的力学性能和焊接的工艺性能，选择焊丝时，尽量选用专用焊丝。目前，我国无氩弧焊焊丝的专用标准，表 1-1 推荐了常用氩弧焊丝，供焊接不同钢种时选用。有色金属焊丝一般是采用与母材相当的填充金属作为氩弧焊丝，也可用与母材成分相同的薄板条作为焊丝。焊丝的编号因钢种不同而异。

(1) 碳素钢及合金钢焊丝。

①焊丝牌号前面的字母 H 表示焊接用钢丝，后面的两位数字表示其含碳量，单位是万分之一。如“05”表示焊丝的平均含碳量为 0.05% 左右。焊丝中的主要合金元素，除个别微量元素外，均以百分之几表示，当平均含量小于 1.5% 时，钢丝牌号中一般只标元素符号不标含量。

②焊丝中的化学元素用化学符号表示，如 Si、Mn、Mo 等，稀土元素用 RE 表示，高级优质焊丝在牌号后加 A，特级优质焊丝在牌号后加 E。

(2) 不锈钢焊丝。

①焊丝中的含碳量以千分之几表示，例如“H1Cr18”焊丝的平均含碳量为 0.1%。

②焊丝中的含碳量不大于 0.03% 或不大于 0.08% 时, H 后面分别以 00 或 0 表示低碳钢或低碳不锈钢焊丝。例如 H00Cr18Ni12Mo2Ti、H0Cr18Ni9 等。其余各项表示方法同优质碳素钢和合金结构钢焊丝。例如: H08CrMoVA 中, H 表示焊丝, 08 表示含碳量 $\leq 0.08\%$, Cr 表示含铬量为 1.00% ~ 1.30%, Mo 表示含钼量为 0.5% ~ 0.7%, V 表示含钒量为 0.15% ~ 0.35%, A 表示高级优质钢; H1Cr24Ni13 中, H 表示焊丝, 1 表示含碳量 $\leq 0.10\%$, Cr24 表示铬含量为 24%, Ni13 表示镍含量为 12% ~ 14%。

表 1-1 常用氩弧焊焊丝选用表

| 钢的牌号 | 焊丝的牌号 | 钢的牌号 | 焊丝的牌号 |
|---|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Q235、Q235 - F、Q235g、 10、20g、15g、22g、22 | H08Mn2Si H05Mn2SiAlTiZr | 钢 102 + 15CrMo 钢 102 + 12CrMoV | H08CrMoV |
| 16Mn、16MnR、 25Mn、16Mng | H10Mn2 H08Mn2Si | 12CrMoV + 碳钢 | H08Mn2Si |
| 15MnV、15MnVCu 15MnVN、19M5 20MnMo | H08MnMoA H08Mn2SiA | 钢 102 + 碳钢 | H08Mn2Si H08CrMoV H13CrMo |
| 15CrMo 12CrMo | H08CrMoA H08CrMoMn2Si | 12CrMoV + 15CrMo | H13CrMo H08CrMoV |
| 20CrMo 30CrMoA | H05CrMoVTiRe | 钢 102 + 1Cr18Ni9Ti | 镍基焊丝 |
| 12Cr1MoV 15Cr1MoV 20CrMoV | H08CrMoV H05CrMoVTiB | 09Mn2V | H05Mn2Cu H05Ni2.5 |
| 12Cr2MoWVTiB (钢 102) | H10Cr2MoWVTiB | 06AlCuNbN | H08Mn2WCu |
| G106 钢 | H10Cr5MoVNB | 3.5Ni | H00Ni4.5Mo |
| 0Cr18Ni9 1Cr18Ni9 | H0Cr18Ni9 | 06MnNb 06AlCuNbN | H05Ni4Ti |
| 1Cr18Ni9Ti | H0Cr18Ni9Ti | 9Ni 钢 | H00Ni1Co |
| 00Cr17Ni13Mo2 | H0Cr18Ni12Mo2Ti | | H06Cr20Ni60Mn3Nb |

二、钨 极

1. 对钨极材料的要求

(1) 耐高温。焊接过程中要求钨极不易被烧损。如果电极在焊接过程中发生烧损, 则对焊接过程的稳定性和焊缝成形有明显的影响; 若损耗的钨渗入熔池, 造成焊缝夹钨, 会严重影响焊缝的质量。钨极损耗分正常损耗和异常损耗。正常损耗是指在正常焊接中, 钨极因高温蒸发和缓慢氧化等累计的损耗。正常损耗和钨极的化学成分、采用的电流种类及电源极性有关。采用直流反极性时, 钨极的烧损比交流高, 而用交流时, 钨极的烧损又高于直流正极性。

(2) 电流容量要大。如果焊接电流超过许用电流, 会使钨极端部熔化, 形成熔球, 造成电弧不稳定, 甚至钨极端部局部熔化而落入熔池。钨极的许用电流与钨极的材料有很大的关系, 但也受其他因素的影响, 如电流的种类和极性、电极伸出导电嘴长度等。

(3) 引弧及稳弧性能良好。引弧及稳弧性能主要取决于电极材料的逸出功, 逸出功低, 则引弧和稳弧性能就好, 反之就差。一般用纯钨做电极材料是不够理想的, 因为纯钨的逸出功较高, 而且长时间使用大电流焊接时, 烧损较明显。若在钨极中加入一些可降低逸出功的元素, 如钍、铈等, 对提高钨极的发射电子能力是极为有效的。不同的电极材料, 要求的空载电压不同, 见表 1-2。

表 1-2 不同电极材料对焊机空载电压的要求

| 电极名称 | 电极型号 | 所需空载电压 (V) | | |
|------|--------|------------|-------|-------|
| | | 低碳钢 | 不锈钢 | 铜 |
| 纯钨极 | — | 95 | 95 | 95 |
| 钍钨极 | WTH-10 | 70~75 | 55~70 | 40~65 |
| 铈钨极 | WTH-15 | 40 | 40 | 35 |