

等离子弧与焊接

沈阳机电学院焊接教研组 编

科学出版社

等离子弧与焊接

沈阳机电学院焊接教研室 编

科学出版社

1978

内 容 简 介

本书主要包括：等离子电弧的物理基础及其特性；等离子焊接、切割与堆焊；等离子喷涂工艺；等离子电弧所采用的各种电源与控制系统。此外，其中为自制等离子设备提供了一些参考实例。

为便于读者阅读，本书文字力求通俗、简明，避免较深的数学分析。可供具有一定文化程度的焊接技术人员及焊工阅读，亦可作为焊接专业教学及科学研究工作的参考资料。

等 离 子 弧 与 焊 接

沈阳机电学院焊接教研室 编

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年11月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1978年11月第一次印刷 印张：9 1/4 插页：1

印数：0001—28,330 字数：207,000

统一书号：15031·198

本社书号：1183·15—3

定 价： 1.00 元

前 言

等离子弧在焊接领域中的应用历史不长,从等离子弧应用于切割到现在还不到二十年的时间。它先后应用于喷涂、堆焊、焊接和微弧焊接等方面。等离子弧工艺现今已成为焊接领域中一个相当重要的工艺手段。

十几年来,尤其是无产阶级文化大革命以来,我国等离子弧在焊接领域中的应用取得了很大进展。我们在这方面做了点滴工作。本书的设备部分有一些是我们实践中的一点粗浅体会。至于等离子弧的工艺问题,我们的实践还不多,体会很少。但这也是一个很重要的问题。我们对国内一些实践得较多的单位进行了调查研究和学习,并遵照毛主席关于“洋为中用”的教导,也搜集了一些国外资料,在这里一同介绍出来,以供从事这方面工作的同志们参考。

由于我们实践得少,学习不够和水平有限,书中一定存在许多缺点和错误,我们衷心地欢迎读者批评指正。

在本书的编写过程中,得到了很多厂矿和科研等单位的大力支持和帮助,并提供了许多技术资料,在此一并致谢。

沈阳机电学院 焊接教研室

1973年5月

目 录

第一章 等离子弧	1
第一节 概述	1
第二节 等离子弧的物理基础	5
一、电弧现象	5
二、气体的热电离和等离子体	9
三、等离子弧	14
第三节 等离子弧的特性	15
一、等离子弧的热特性	16
二、等离子弧焰流速度	22
三、等离子弧的电特性	24
四、等离子弧燃烧的稳定性	27
第四节 等离子弧的发生装置	30
一、等离子枪	32
二、电极材料	34
三、等离子工作气体	36
第二章 等离子弧电源	38
第一节 等离子弧对电源外特性的要求	38
第二节 旋转式直流弧焊机	42
第三节 硅整流弧焊机	49
一、饱和电抗器式硅整流弧焊机	49
二、其它类型硅整流弧焊机	70
第四节 可控硅整流式弧焊机	72
一、有变压器的可控硅整流弧焊机	72
二、无变压器的可控硅整流弧焊机	85
第三章 等离子弧切割	93

第一节 等离子弧切割的基本原理及其优越性	93
一、等离子弧切割的基本原理	93
二、等离子弧切割的优越性	95
三、关于对等离子弧切割质量的评价	96
第二节 等离子弧切割设备	97
一、对程序控制的要求	97
二、枪体内腔尺寸的选择	98
第三节 等离子弧切割工艺	100
一、工作气体的选择	100
二、规范参数对切割速度的影响	102
三、关于消除切口毛刺问题	109
四、关于消除切口倾斜和圆角问题	112
五、大厚度切割特点	113
第四节 等离子弧切割中“双弧”现象分析	115
一、“双弧”的危害	115
二、“双弧”形成的条件	116
三、各种因素的影响	117
四、防止“双弧”措施	119
第五节 三种等离子弧切割工艺方法简介	119
一、钎极压缩空气等离子弧切割	119
二、脉冲等离子弧切割	121
三、水下等离子弧切割	123
第四章 等离子弧焊接	126
第一节 等离子弧焊接的基本原理及其特点	127
一、等离子弧焊接的基本原理	127
二、等离子弧焊接特点	128
第二节 等离子弧焊接设备	129
一、对控制系统的要求	129
二、等离子弧焊接枪体的喷嘴	130
第三节 等离子弧焊接工艺	133

一、工作气体和保护气体的选择	133
二、规范参数对等离子弧穿透性的影响	134
三、规范参数对焊缝成型的影响	137
四、等离子弧焊接的自动控制	142
第四节 等离子弧焊接质量问题	143
一、气孔问题	143
二、咬肉问题	144
第五节 等离子弧焊接生产实例	145
第五章 等离子弧喷涂	148
第一节 等离子弧喷涂的基本原理及其特点	148
一、基本原理	148
二、喷涂特点	149
第二节 等离子弧喷涂设备	149
一、设备概述	149
二、喷枪与喷嘴	150
三、送粉器	154
第三节 等离子弧喷涂工艺参数	155
一、工件表面预处理	157
二、工作气体与流量	158
三、等离子焰流热焓与功率	158
四、粉末粒度与送粉率	160
五、喷涂距离	161
第四节 带有保护套嘴的等离子弧喷涂简介	162
一、概述	162
二、带有保护套嘴的等离子焰流的物理性质	164
三、有保护套嘴的等离子弧喷涂规范	167
第五节 等离子弧喷涂涂层性能测定方法	167
一、涂层拉伸附着强度测定	167
二、涂层剪切附着强度测定	168
三、涂层弯曲附着强度测定	169

四、涂层凹坑附着强度测定	169
五、涂层本身强度测定	169
六、涂层气孔率测定	170
第六节 等离子弧喷涂应用实例	171
第六章 等离子弧堆焊	173
第一节 等离子弧堆焊基本原理及其工艺特点	174
一、基本原理	174
二、等离子弧堆焊的工艺特点	178
第二节 等离子弧堆焊设备	180
一、对工艺程序控制的要求	180
二、等离子弧堆焊枪体与喷嘴	182
三、枪体摆动机构	183
第三节 等离子弧堆焊材料及选择	186
一、堆焊材料的选择原则	186
二、堆焊材料	186
第四节 等离子弧堆焊规范参数及其对质量的影响	193
一、电流强度	193
二、工作气体和保护气体的流量	193
三、钨极缩入长度	194
四、喷嘴端面距焊件表面的距离	194
五、堆焊速度	194
六、枪体的摆动频率	195
七、钨极直径及形状	196
第五节 等离子弧堆焊实例	196
一、12V175 和 16V200 型柴油机气阀预制型等离子弧堆焊	196
二、紫铜等离子弧堆焊	199
第七章 等离子弧粉末堆焊	202
第一节 等离子弧粉末堆焊设备	203
一、等离子枪	203

二、送粉器	207
三、电源	208
四、摆动机构	209
第二节 主要的工艺因素及工艺参数	209
一、三种等离子弧燃烧方式	209
二、等离子堆焊气体及合金粉末	210
三、堆焊生产率	211
四、熔深与堆焊厚度	212
五、等离子枪摆动频率	213
六、堆焊质量	213
七、规范参数举例	216
第三节 等离子弧粉末堆焊的应用	218
一、堆焊材料	218
二、等离子堆焊的应用	220
第八章 微等离子弧焊接	221
第一节 微等离子弧焊接的基本原理及其特点	221
一、基本原理	221
二、焊接过程特点	222
第二节 微等离子弧的伏安特性及对电源外特性的要求	225
一、微等离子弧的伏安特性	225
二、微等离子弧对电源外特性的要求	227
第三节 微等离子弧焊接工艺	228
一、造成缺陷的主要原因	228
二、光学辅助器的应用	228
三、零件的清洁	228
四、气体保护	229
五、接头型式	230
六、典型焊接规范	231
第四节 微等离子弧应用的某些进展	234
第九章 自制等离子弧多用设备	235

第一节	概述	235
第二节	等离子弧设备多用的可能性	237
第三节	自制硅整流电源	238
一、	方案制定	239
二、	简要技术设计	239
三、	组装调试	253
第四节	自制可控硅整流电源	257
一、	对主回路线路方案的考虑	257
二、	对触发器的几点考虑	264
三、	组装调试	266
第五节	自制控制设备	268
一、	控制线路方案设计	268
二、	绘制控制线路图	270
三、	组装调试	278
第六节	高频引弧装置	280
一、	高频引弧装置的原理及参数分析	280
二、	高频引弧装置的使用	284

第一章 等 离 子 弧

第一节 概 述

等离子弧又称做压缩电弧。它是一种导电截面收缩得比较小、从而能量更加集中的电弧。图 1-1 是产生等离子弧的装置——等离子枪的示意图。等离子枪的后电极和水冷的铜喷嘴分别联接于电源的两极，电弧燃烧于后电极和铜喷嘴之间，连续送入的工作气体穿过电弧空间之后成为从喷嘴喷出的高温等离子焰流。这个等离子焰流可以用于各种加热，既可加热导体，也可加热不导电的材料。

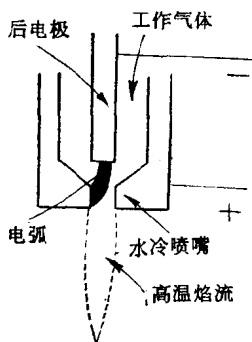


图 1-1 非转移型
等离子弧的产生

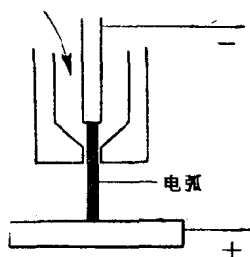


图 1-2 转移型
等离子弧

当用等离子弧对导电材料加热时，可以把工件接到电源的一极上。这时电弧穿过喷嘴燃烧在工件与后电极之间。人们常称后电极与工件之间直接产生的等离子弧为转移型等离子

弧(图1-2),而称前面那种燃烧在后电极与喷嘴之间的等离子弧为非转移型等离子弧。国际焊接学会第十二委员会曾经建议将第一类弧(转移型弧)叫做等离子弧,而将第二类弧(非转移型弧)叫做等离子焰流。有时使这两类弧同时存在(图1-3),称为联合型等离子弧。还有使喷嘴与工件之间产生电弧的(图1-4),这个电弧可以使用交流电流。这是一种特殊形式的联合型等离子弧。

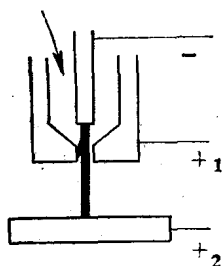


图 1-3 联合型
等离子弧

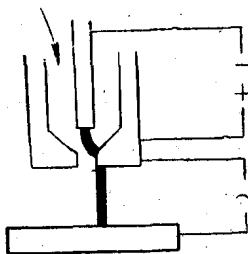


图 1-4 另一种联合型
等离子弧

使电弧导电截面缩小以使能量更加集中的方法可以追溯到半个世纪以前或更早。1922年在德国就曾获得过高温水冷电弧。它是使电弧穿过狭小的孔道,在孔道的切线方向注入水流。水进入孔道后就沿孔壁高速旋转,这个旋涡水流隔绝了电弧对孔道的热作用,保护了孔壁。通常称这种电弧为格丁电弧(Gerdinbogen)。更早一些,1909年化工中用来合成氧化氮的空气旋涡稳定电弧(图1-24)也可看作是等离子弧的前驱。从本世纪三十年代到五十年代,人们设计制造过一系列的等离子弧发生装置。不过它们几乎都还不能供工艺上实际使用。直到五十年代后期才制造出实用的等离子弧发生装置。

等离子切割是等离子弧在焊接领域里最早获得实际应用

的工艺。它出现于1955年。这种新的切割工艺是在钨极氩弧焊的实践基础上形成的。在五十年代，人们发现如果使用较大的电流和气体流量，用氩弧焊炬可以对金属进行切割，减小焊炬喷嘴的直径，切割效果会更好。当时铝和不锈钢的切割正是迫切需要解决的问题。恩格斯曾经指出：“社会一旦有技术上的需要，则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”在不长的时间里，等离子切割工艺获得了极大的进展。这一进展又为在焊接中扩大等离子弧的使用范围创造了条件。没过几年，等离子喷涂、堆焊、焊接以及微等离子弧焊接都迅速发展起来了。这些工艺都有其独特的优越性，从而都成为很重要的工艺方法。本书将在后面各章对它们作详细介绍。

等离子弧的能量高度集中，温度很高，气流可达很高速度。它可以使用各种工作介质。它的功率及各种特性都有很大的调节范围。由于这些特点，等离子弧的实际应用有广阔的前景。

对于等离子切割、焊接、喷涂等工艺略作些改变就可以大大扩大工艺范围。例如：可以用和切割相类似的工艺对旋转的工件表面进行“车削”。这样“车削”高镍合金时比通常的机械加工快5~10倍。切割的等离子枪在提高移动速度时可在钢板表面切出U型槽，成为开坡口的手段。利用喷涂用的等离子枪可在模体上喷制成型工件，例如可以制造纯钨火箭喷嘴、坩埚等工件。这比用粉末冶金的方法制造钨工件要灵活得多。用同样的方法也可以制造陶瓷成型工件。

等离子弧在其他领域也已经获得和将要获得一系列的重要应用。只是不同的应用中利用了它的不同特点。

在冶金中可用等离子热源开创新的工艺。利用等离子弧的高温除了可熔炼难熔材料之外，还有可能直接从矿石或化合物中还原出金属，形成新的冶炼工艺。

使用等离子弧炉熔炼金属已经有了十年多的历史。它熔炼出的金属质量不亚于真空感应熔炼，电能消耗也较低。我国已有一些单位进行了试验研究工作。等离子弧也可做为铸造用的熔化炉使用。近几年发展起来的在水冷铜模中对金属和合金进行等离子重熔的方法，是精炼金属的一种有力手段。它与电子束，电渣和真空电弧重熔相比，有其独特的优点。

等离子弧还可用作制造氧化物单晶的热源。这种单晶以前大多在高频等离子火焰中生长。使用等离子弧代替高频等离子火焰可以大大简化设备。曾经在等离子弧中成功地生长过蓝宝石晶体。

现代粉末冶金中需要一些球型的粉末。使多角形的粉末颗粒通过等离子弧重新喷出，就可进行球化。类似的方法还能制造极细的粉末材料。

等离子弧应用在化工中已形成了一个新领域——等离子化工。在等离子弧中可用空气合成氧化氮，可用饱和碳化氢制造乙炔，还可以直接合成有机硅化合物。

在空间技术中，等离子弧也有很重要的地位。除了制造工艺（如喷涂）上的应用之外，还有两点值得提一提。一个是用等离子弧创造模拟高温飞行的环境，以供材料及气体动力学实验之用。它模拟出的环境相当于宇宙飞船返回大气层的条件。另一个是它可以造成宇宙航行的电弧等离子发动机，这是宇宙航行中可能使用的发动机之一。十年前，这种发动机已通过了一系列地面试验。五十年代后期大大发展的空间技术给等离子弧的研究以很大的推动作用。

因为等离子弧的应用是发展中的事物，又涉及很多领域，不可能把它们全都列举出来。这里只是举出几个例子。但这已足以说明等离子弧在科学技术中的重要地位。

第二节 等离子弧的物理基础

一、电弧现象

我们知道,在通常情况下,气体是良好的绝缘体。但是在某些情况下,电流却可以从气体中通过。电流通过气体的现象叫做气体放电。在不同的具体条件下,气体放电又有几种不同的形式。电弧是一种稳定的气体放电形式。与其他的气体放电形式相比,电弧放电需要的维持电压不高,电流则较大,温度很高。这是从事焊接工作的同志们比较熟悉的。在焊接工作中,有时还接触到另一种气体放电形式——火花放电。这是一种不稳定的气体放电。要在两个电极之间产生火花放电,需要施加很高的电压,但通过的电流强度却很小。可以通过火花放电来引燃电弧。

在两个电极间燃烧着电弧时,电子从阴极放出,穿过电弧空间,进入阳极。在两个电极之间,电场强度¹⁾不是均匀分布的。在紧靠着两个电极的很小区域内电场强度很高。除掉这两个区域以外,在电弧的大部分长度上电场强度是相同的,并且具有不大的数值。图 1-5 是电场强度沿电弧长度分布的示意图。这样,可以把电弧分成三个部分:

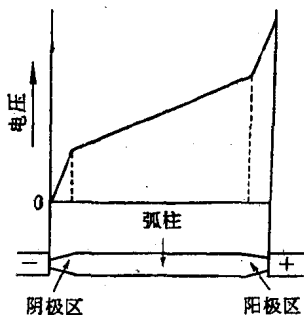


图 1-5 电弧空间的电压分布

1. 阴极及阴极区

1) 电场强度——一个说明电压在空间分布的物理量,单位是伏/厘米。

阴极是发射电子的地方。电子从阴极表面不大的区域发出,这个区域称做阴极斑点。阴极斑点的电流密度约为 $10^3 \sim 10^6$ 安/厘米²。靠近阴极附近的尺寸很小、但电场强度很大的区域称为阴极区。整个阴极区的电压降,从大多数的测量结果看,约在 10 伏左右。它并不是固定的,和很多因素有关。

阴极发生的物理过程十分复杂,其中还有很多问题至今在物理学中并没研究清楚。不过这些问题也不是都和我们有直接的、密切的关系。下面主要简单介绍一下电子发射的问题。

实践中发现,使用不同的阴极材料时,阴极的工作状况是不同的。可以把阴极材料分为两类:热阴极材料和冷阴极材料。

当使用碳或钨做阴极时,阴极温度很高而阴极斑点电流密度比较低(例如温度达 3000K,电流密度 10^3 安/厘米²)。很高的阴极温度使阴极内部的自由电子获得足够的能量,从而克服了阴极内部正离子的引力,脱出阴极表面。这叫做电子的热发射。因为阴极斑点要维持很高的温度,它在碳或钨阴极表面比较固定,不能快速移动位置。碳和钨属于热阴极材料。

如果用铜做阴极,情况就大不相同。这时阴极斑点的电流密度比用碳或钨时高,而其温度则比用钨或碳时低。这种电极的一个突出特点是阴极斑点能以很高的速度在铜电极表面上移动而仍然保持电弧稳定燃烧。在这种较低的阴极斑点温度下不足以造成电子的热发射,因而称它为冷阴极材料。电子从这种阴极的脱出可能是由于阴极区的强电场造成的。

电子从不同的阴极材料中逸出的难易程度也不同。这个难易程度可以用材料的逸出电位表示。不过,纯的钨、碳、铜、铁等材料的逸出电位差别都不太大(都为 4 伏多些),但当材料内含不多的其他元素或化合物,以及阴极表面存在氧化膜或

其他成分的吸附物时，常常会明显地降低其逸出电位。例如：在钨中加入少量的氧化钍时，逸出电位就降到2~3伏，使电子的发射比用纯钨时容易多了。这个现象有很重要的实际意义。在钨极氩弧焊及等离子工艺中通常使用钍钨极就是这个道理。

一般情况下，在阴极产生的热量要比在阳极产生的低。这将在介绍阳极时简述。阴极电压降的产生原因则将在介绍弧柱时叙述。

2. 阳极及阳极区

阳极只是接受电子，电子流入阳极也集中在阳极表面不大的面积上，称做阳极斑点。阳极斑点上的电流密度通常比阴极斑点上的电流密度小，因而阳极斑点的尺寸要比阴极斑点大。阳极斑点的电流密度与工作条件有很大关系。在电流为100~500安时，氩电弧的阳极斑点电流密度为 $2 \times 10^2 \sim 2 \times 10^3$ 安/厘米²。

从大量的对阳极电压降的实际测量结果来看，其数值的变化范围很大，约在0~30伏之间。影响其数值的因素也很多。但是在大多数情况下，阳极电压降的数值是很小的。例如：一些测定表明，钨极氩弧的阳极电压降常常小于1伏。因而通常在人们的概念中阳极电压降要比阴极电压降小。

阳极附近温度升高时，阳极电压降就降低。阳极附近的温度受很多因素影响，例如缩短电弧长度，提高电弧电流，都会使阳极附近温度升高，从而引起阳极电压降的减小。

等离子弧的弧柱具有更高的温度，因而不难想像，它的阳极电压降应该比较小。图1-6划出了两个等离子弧的伏安特性测定结果。在70安培以上两曲线的差别是很容易理解的（见第24页等离子弧的电特性）。在70安培以下，由于喷嘴较长的等离子弧对阳极的加热比较强烈，使它的阳极电压降