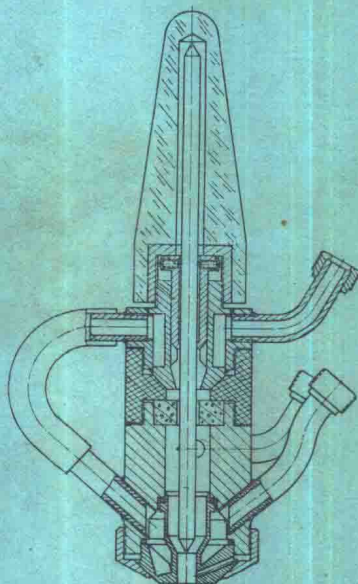


高荣发 马小雄编著

等离子弧 喷 焊



机械工业出版社

等 离 子 弧 喷 焊

高荣发 马小雄 编著



机 械 工 业 出 版 社

该书是在单位开展科学实验与工作实践的基础上，综合了国内有关单位的研究成果和国外部分情况而编写成的。主要是较全面而系统地介绍了等离子弧喷焊新工艺的原理、设备及材料。尤其是对工艺参数的选择、喷焊枪的设计、电流调节性能及合金粉末的研制均有较全面的叙述。同时例举了在工农业生产中典型产品的喷焊工艺。

本书主要供从事等离子弧喷焊实际工作的同志参考。

等 离 子 弧 喷 焊

高荣发 马小雄 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 $\frac{1}{32}$ · 印张 6 $\frac{1}{8}$ · 插页 1 · 字数 134 千字

1979年9月北京第一版·1979年9月北京第一次印刷

印数 00,001—9,000 · 定价 0.51 元

*

统一书号：15033·4711

前 言

等离子喷焊是六十年代出现的新技术，我国从六十年代中期就开始了试验研究。

等离子喷焊是利用氩气等离子弧作热源，采用粉末状合金作填充金属的一种熔敷合金的新方法。实践表明，它具有生产率高、冲淡率低、成形好、劳动强度低等一系列优点。依照不同情况，选用不同的合金粉末喷焊，能大大提高工件表面耐高温、耐腐蚀、耐磨损等性能，延长零件使用寿命，节省大量钢材和贵重合金元素。目前，已在阀门、发动机、模具、石油化工机械、工程机械、矿山机械、冶金机械、农业机械等部门里不同程度地获得了应用，并取得了明显的技术经济效果。

这项技术有着广阔的应用前景。为使这项新技术更好地为社会主义建设，为实现四个现代化服务，我们编写了这本小册子，供从事这方面实际工作的同志参考。

本书介绍了在应用等离子喷焊技术中，所要涉及到的有关基本原理、设备、合金粉末、工艺和劳动保护等方面的问题。其中一些部分是我们工作的体会。由于我们收集资料和研究不够，加之我们的技术水平和实践经验的局限性，显然不能完整地反映当前的技术水平，缺点错误在所难免。同时这项技术尚处在继续发展阶段，很多问题尚待进一步探讨，切望读者批评指正。

本书在编写过程中得到彭补之、毕顺等同志的指导和帮助，深表谢意。

作 者

目 录

前 言

第一章 等离子喷焊工艺基础	1
第一节 等离子弧的基本概念	1
一、什么是等离子体	1
二、自由电弧与等离子弧的产生	2
三、等离子弧的形式和特点	5
四、等离子弧的工作气体	6
第二节 等离子弧喷焊的基本过程和特点	9
一、基本过程	9
二、特点	11
第三节 喷焊用等离子弧的组成和伏安特性	13
一、等离子弧的组成与能量过程	13
二、伏安特性	17
三、影响转移弧伏安特性的因素	21
第二章 喷焊枪	25
第一节 喷嘴	25
一、压缩孔道参数和形状	25
二、结构形式	28
三、送粉通道	30
四、枪体的密封形式	32
第二节 电极	33
一、电极材料	33
二、电极冷却方式	34

IV

三、电极端部形状和与喷嘴的相对位置	36
第三节 气流结构	38
一、进气方式	38
二、气室结构	39
第四节 枪体结构	40
一、结构形式	40
二、极间绝缘和同心度	41
三、结构示例	41
第三章 喷焊设备	46
第一节 电源	47
一、对性能的基本要求	47
二、电源种类	50
三、电流调节器电路方案	52
四、电流调节器的应用	58
第二节 电气控制系统	66
一、高频振荡器	66
二、喷焊主电路	69
三、可控硅调速电路	73
四、程序控制电路	81
第三节 机械装置	85
一、送粉器	85
二、摆动机构	89
三、工件运转机构和焊枪运行机构	93
第四节 LUP-300 型等离子喷焊机	93
一、设备组成特点与技术数据	93
二、电气控制系统工作原理	97
三、气路和水路系统	98
第四章 喷焊用合金粉末	100
第一节 合金粉末的制造	100

一、对喷焊用合金粉末的基本要求	100
二、合金粉末的制造方法	102
第二节 自溶性合金中硼硅元素的作用	106
一、对合金工艺性能的影响	106
二、对合金使用性能的影响	108
第三节 几类常用的合金粉末	109
一、钴基合金	110
二、镍基合金	112
三、铁基合金	116
第五章 喷焊工艺	125
第一节 主要规范参数分析	125
一、主要工艺指标	125
二、主要规范参数分析	128
第二节 操作技术	139
一、工艺动作程序和控制方式的选择	139
二、工件喷焊面毛坯和喷焊层厚度的确定	143
三、工艺参数的预选	145
四、电流衰减的控制	147
五、焊前的准备工作	147
六、工件预热和焊后处理	148
第三节 几种典型产品喷焊工艺	149
一、阀门密封面喷焊	149
二、酸化压裂车柱塞密封面喷焊	153
三、内燃机进排气阀密封面喷焊	158
四、犁铧刃口喷焊	161
五、模具刃口喷焊	164
六、铜合金的喷焊	165
七、其它	167
第六章 故障分析及排除方法	169

VI

一、设备电气部分故障分析	169
二、工艺故障分析	172
三、喷焊层质量缺陷分析	178
第七章 劳动保护	185
一、喷焊过程中的有害因素	185
二、安全技术措施	188

第一章 等离子喷焊工艺基础

第一节 等离子弧的基本概念

一、什么是等离子体

我们在焊接生产时，要遇到物质的四种状态：粉末、工件等是固态；冷却水、熔池中的金属等是液态；氧气、氩气等是气态；而那炽热的伴随着强烈白光的电弧，就是我们要讨论的物质的第四种状态——等离子体态。

我们知道，气体是由分子组成的，分子是由原子组成的，原子是由带正电的原子核和围绕着原子核运动着的带负电的电子组成的。核外电子所带负电总数在数量上恰好等于原子核的正电量，所以原子在正常状态下是呈中性的。因而，气体在常温下是不导电的。当外界通过某种方式给予气体分子或原子以足够的能量时，例如，处于两电极之间的气体受到电场的作用，气体的分子和原子受到从电极发射出的大量高速运动的粒子（如电子）的碰撞，或者对原子的加热等，就可使电子脱离原子和分子，成为带“-”电的自由电子，而失去电子的原子或分子则成为带“+”电的正离子，这就是气体的电离现象。促使气体电离的因素很多，如碰撞作用（碰撞电离），热作用（热电离），光作用（光致电离）等等。在电场作用下，维持气体持续的强烈的电离，形成弧光放电，即产生电弧。电弧的高温又加剧气体的电离。这样，原来呈绝缘状态的气体就充满了带电的质点，变成了导体，可以流过较大的电流。被充分电离的气体中充满着带正电的正离子和带负电的电子、

负离子。这两种对立的带电粒子共同存在于一个统一体中，其正电量总数和负电量总数相等，因此，总的效果是呈中性的。我们把这两种已充分电离，正负离子数目相等的气体称为等离子体，或称为等离子态。它是一种特殊的物质形态，现代的物理学上把它列为固态，液态，气态之后的物质第四态，它具有特殊的性能而被人们加以利用。

二、自由电弧与等离子弧的产生

我们通常进行的手工电弧焊或氩弧焊，在电极和工件间产生的电弧没有受到任何外界约束，如图 1-1 所示。通常把这种电弧叫自由电弧或敞开电弧。在自由电弧弧柱区的中心部位也是处于等离子体态。

但自由电弧弧柱较粗，气体电离度较低，即电弧区内的气体尚未完全电离。因此，电弧温度较低，能量分散。自由电弧的温度与弧电流和弧压成正比，与弧柱直径成反比。而弧柱的直径又是与电流、弧压成正比的。然而，流过弧柱的电流密度趋近于常数，弧柱的温度

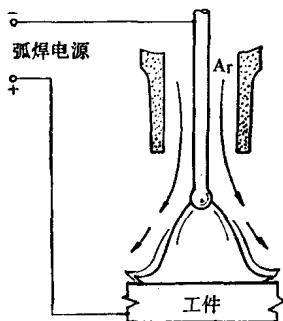


图 1-1 自由电弧示意图

只是通过增加电弧功率的方法来提高，所以电弧温度就被限制在 $6000 \sim 10000^{\circ}\text{K}$ 左右。这样自由电弧的运用就受到了限制。

利用等离子弧焊枪（或喷枪），在阴极和水冷紫铜喷嘴之间，或阴极和工件之间，使气体电离形成电弧。此电弧通过孔径较小的喷嘴孔道，弧柱的直径受到限制，使弧柱受到强行压缩。这种电弧通常叫压缩电弧，如图 1-2 所示。电弧被

压缩后，和自由电弧相比会产生很大的变化，突出的是弧柱直径变细，促使弧柱电流密度显著地提高。流经喷嘴孔道的气体，受到剧烈的碰撞和热作用，使气体能充分电离，产生正负离子相等的等离子体弧柱，因此把这种压缩电弧叫等离子弧。

为什么电弧通过喷嘴孔道就会产生等离子弧呢？这主要是水冷紫铜喷嘴和气流这两个外因条件，促使电弧内部热电离过程的变化而实现的。外因对电弧的作用主要通过以下三方面的效应。

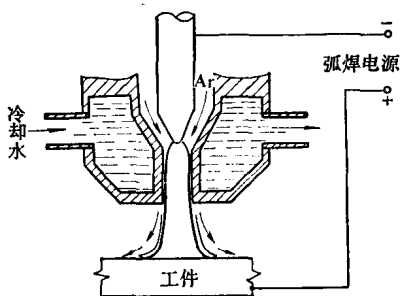


图1-2 压缩电弧示意图

1. 热收缩效应

紫铜喷嘴具有良好的导电性和导热性，由于受到水冷，使孔道壁面温度很低。气体连续地流过孔道，在靠近壁面的气流受到冷却，形成很薄的冷气流层（冷气壁）。由于这一冷气壁温度低，电离度很低几乎不能通过电流，迫使电弧电流往电离度高的中心部位流过，即电弧向中心部位压缩。显然，对于孔道壁面的冷却效果、气流量的大小及通过方式（旋流或直流）等，将影响热收缩效应的强弱。

2. 机械压缩效应

在等离子弧弧柱周围的冷气壁，是依附在喷嘴孔道壁面上的。因此，喷嘴孔径大小就基本上确定了环形冷气壁的直径，也就相应确定了等离子弧弧柱的粗细。显然，喷嘴孔径及其几何尺寸，除通过热收缩效应实现对电弧不同程度的压

缩外，还起到对电弧机械压缩的作用。

3. 自磁压缩效应

电弧电流有一定的流向，弧柱相当于一束电流方向相同的平行导体。每根通电导体都在它周围产生磁场。在磁场作用下，据左手定则，每根导体受到的电磁力都是指向这一束导体的中心，如图 1-3~4 所示。这种自身磁场产生的电磁力作用的结果，使弧柱受到一个指向弧柱轴心的压缩力，从而使电弧受到压缩。热压缩和机械压缩效应使弧柱变细，而弧柱变细后，自磁压缩效应更强。

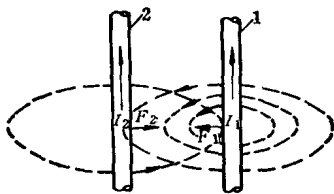


图1-3 两根平行导线流过
同向电流时受力示意图

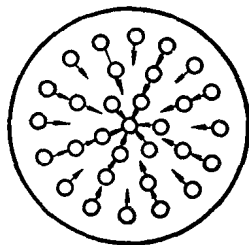


图1-4 多股平行导线流过
同向电流时受力示意图

以上三个效应对电弧作用的结果，使电弧受到强行压缩而产生等离子弧。这三个效应是互为依存，共同作用的。热收缩效应和机械压缩效应是外因的作用，是人为可以控制的。而自磁压缩效应是电弧本身具有的现象，是内在因素。但在没有机械压缩和热收缩的条件下，由于弧柱较粗，自磁压缩力很弱，在小电流时，甚至可以忽略。对这三个效应的分析表明，喷嘴压缩孔道的形状和几何尺寸，孔道壁面的冷却效果，工作气流量的大小和气流结构，是影响电弧压缩效果的主要因素，这为我们设计喷焊枪提供了最基本的原则。

三、等离子弧的形式和特点

1. 形式

(1) 非转移型弧(间接弧) 如图 1-5 a 所示, 喷嘴接正极, 钨极接负极, 电弧建立在钨极与喷嘴内表面之间, 高温的等离子焰流从喷嘴内喷出。按电弧刚性的不同, 可选用于喷镀、切割或用于加热促使化学反应等方面。

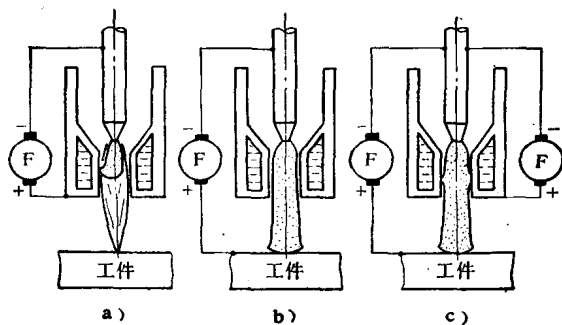


图1-5 等离子弧的形式

a) 非转移弧 b) 转移弧 c) 联合弧

(2) 转移弧型(直接弧) 如图 1-5 b 所示, 工件接正极, 钨极接负极, 电弧建立在钨极与工件之间。其温度较非转移弧高, 能量集中。具有不同压缩性的转移弧, 可用于金属切割、熔炼、焊接、送丝堆焊和粉末喷焊等。

(3) 联合型弧 如图 1-5 c) 所示, 非转移弧和转移弧并存时叫联合型等离子弧。在采用联合弧时, 一般非转移弧是作为辅助热源。联合型弧一般用于粉末喷焊。

2. 特点

等离子弧和自由电弧相比, 显著的不同是弧柱细、电流密度大、气体电离很充分, 因而具有以下主要特点;

(1) 温度高、能量集中 弧柱相当于一段通电导体，从焦耳-楞次定律的微分形式计算可知，通电导体的热功率密度 W 为：

$$W = \frac{\delta^2}{\gamma}$$

式中 δ ——电流密度 (安/厘米²)；

γ ——导电率 (1/欧姆·厘米)。

它与电流密度的平方成正比。由于等离子弧具有很高的导电性，能承受的电流密度大大高于自由电弧，因而弧柱的热功率密度大大高于自由电弧。这就使得等离子弧具有极高的温度和能量的高度集中。等离子弧的温度可达 10000~50000 °K，这样高的温度，用其它方法是很难达到的。氧乙炔火焰高温核心只有 3200 °K 左右；手工焊电弧只有 5000~6000 °K 左右；氩弧焊也只有 9000~10000 °K。

(2) 稳定性好 等离子弧弧柱挺直，在整个弧长内弧柱直径变化不大，在弧柱较长时仍能保持稳定燃烧，没有自由电弧易于飘动的缺点。

(3) 可控性好 通过气体的选择和改变压缩效应的外因条件，从而容易获得所需要的气氛、刚度和弧参数，这是自由电弧难以实现的。

四、等离子弧的工作气体

产生等离子弧的工作气体（俗称离子气），常用的有氮（N₂）、氢（H₂）、氩（Ar）、氦（He）。选用哪种气体和什么样的混合气作工作气体，要根据具体的工艺要求，同时考虑到气体的供应是否方便和价格。从后者考虑，氮气制造困难，价格昂贵，一般不选用。不同种类的气体，具有不同的热物理性质，如导热系数、密度、比热、电离电位、分解度

等。在同样的输入功率下，不同气体等离子弧的热焓和温度也相差悬殊。气体的这些特性很明显地影响到等离子弧的伏安特性。用于金属切割的转移型等离子弧和用于喷镀的非转移型等离子弧，要求热焓和温度高，使切割的金属和喷镀的粉末能在最短的时间内达到熔化状态，并希望弧压较高，电弧吹力大。对于等离子焊接和喷焊，则主要矛盾不是温度和热焓，而是要求电弧具有很好的引弧和稳弧性能，良好的保护气氛，电弧较柔软，弧压不宜过高。

双原子气体 N_2 和 H_2 ，在热电离时首先吸收热量分解成原子，然后再电离。单原子气体 Ar 没有这个热分解过程，而是直接地吸收热量电离。气体在分解和电离过程中吸收的热能就是等离子体蕴藏的热能，称为气体的热焓，用千卡/米³或千卡/公斤表示。显然双原子气体的热焓要高于单原子气体的热焓。表 1-1 中的数据为用于喷镀时各种气体所表现的性

表 1-1

气 体	喷镀枪功率 (千瓦)	电弧电压 (伏)	等离子温度 (°K)	等离子热焓 (千卡/公斤)	热 效 率 (%)
N_2	60	65	7600	9900	60
H_2	62	120	5400	76600	80
He	50	47	20300	51000	48
Ar	48	40	14700	4600	40

能。可以看出双原子气体用于喷镀时具有热焓和弧压均高的优点。由于单原子气体 Ar 没有分解过程，吸收热量后温度很快升高，并且电离，因此引弧性能就优于双原子气体。维持电弧稳定燃烧所需的电弧电压比双原子气体要低，电弧稳定性好。气体的导热系数，分解度和电离电位对电弧电压有很大的影响。导热系数 λ 愈大，则带走的热量愈多，即对电

弧压缩愈强，弧压愈高；气体的分解度愈大，弧压愈高；气体的电离电位高，弧电压也愈高。表 1-2 列出了 N_2 、 H_2 、 Ar 、三种气体的导热系数、分解度和电离电位的数据，以便比较。从表中所列数据可以看出，在同样的条件下，双原子气体 H_2

表 1-2

气 体	导热系数 λ (卡/厘米·度·秒)	分解度 (5000° K)	电离电位 (伏)
N_2	0.58×10^{-4}	0.038	13.5
H_2	4.72×10^{-4}	0.096	14.5
Ar	0.378×10^{-4}	无	15.7

的弧压应最高，而单原子气体 Ar 弧压应最低。有关资料介绍了用于喷镀和切割时，不同种类气体对弧压的影响，如图 1-6~7 所示，供比较参考。

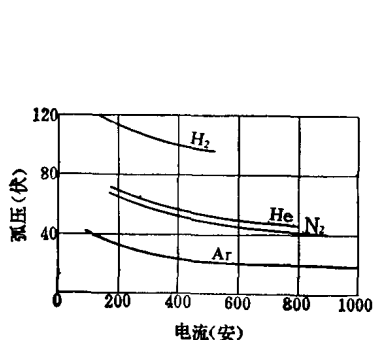


图1-6 等离子喷镀时
不同气体的伏安特性

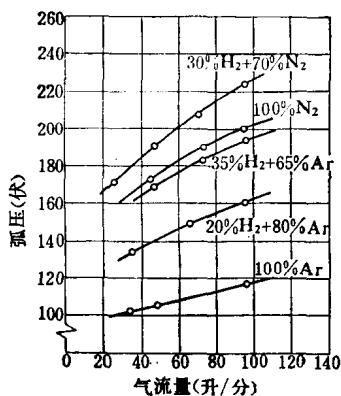


图1-7 等离子切割时气体及
流量对弧压的影响(喷嘴孔径
3.2 毫米，电流275安培)

以上分析表明, 等离子喷焊时, 选用单原子气体氩作工作气体是比较理想的。惰性气体氩在空气中所占的比例是较多的, 以体积计算, 氩约占空气的 0.93%。氩是无色无味的, 比空气重 25%。液态气化温度为 -186°C , 介于氧 (-183°C) 和氮 (-196°C) 之间。氩是在分馏液态空气时制得。氩气具有良好的保护气氛, 它不与金属起化学作用, 而且不溶解于金属内。因此喷焊时金属烧损少, 也不易产生气孔等缺陷。对氩气的纯度, 主要注意的是杂质氧和氮, 它们不仅对电弧稳定性产生影响, 而且容易引起氧化、氮化、降低喷焊层质量。喷焊时一般采用工业生产的氩气纯度, 见表 1-3。

表1-3 工业生产的氩气纯度

Ar(%)	N ₂ (ppm)	O ₂ (ppm)	H ₂ (ppm)	CO ₂ (ppm)	CnHn (ppm)	H ₂ O (mg/M ³)
>99.99	<100	<15	<5	<5	<5	<30

第二节 等离子弧喷焊的基本过程和特点

等离子弧喷焊是应用氩气等离子弧作高温热源, 采用合金粉末作填充金属的一种表面熔敷合金的新技术, 是新的表面硬化或材料保护方法之一。

一、基本过程

图 1-8 是喷焊基本过程示意图。在采用联合弧喷焊时, 一般采用两台独立的直流弧焊机作电源, 分别供给非转移弧和转移弧。两个电源的负极并联在一起, 通过电缆接至喷焊枪的钨电极。电源正极分别通过接触器和电缆接至焊枪的喷嘴和工件。冷却水通过电缆引至焊枪, 冷却喷嘴和电极。氩气通过电磁气阀和浮子流量计进入焊枪。电源接通后, 借助