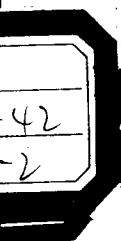


焊接方法及设备

(二)

郑州机械科学研究所编译

第一机械工业部情报所



目 录

1. 等离子焊接的现状和问题	1
2. 能消除双弧现象的等离子焊炬	13
3. 等离子切割磁放大器电源工作电流控制电路	16
4. 熔化焊调制电源控制的发展和研究	20
5. 自动钨极间歇式脉冲电弧焊接法及其设备	32
6. 管子对接焊用轻巧灵便的自动电弧焊机头	38
7. ORNL 轨道式自动焊管机系统	43
8. 电弧焊无电刷发电机	67
9. 适合于药芯焊丝 CO_2 气体保护焊的交流焊接电源及控制电路	71
10. 汽车轮箍的自动焊接装置	81
11. 水轮机的焊接	83
12. 铝的真空钎焊法	87
13. 光束焊接法	95
14. 焊接技术参考数据及图表:	107
(A) 脉冲钨极氩弧焊的应用及其脉冲电流参数的选择	
(B) 各种半导体器件的基本电路符号 (国际通用)	

等离子焊接的现状和问题

前言

早在1923年,人们就知道了“如果适当地冷却电弧柱周围,弧柱的温度反而会上升”的这个现象。这就是所谓的“热压缩效应”。但是,利用这样高温、高能密度的热源——等离子流来进行焊接还只是近十年来的事。在实用中产生高能等离子流有以下几种方法:在钨极与工件间产生电弧,经喷咀和工作气体的压缩而产生高温等离子射流(转弧式等离子);在钨极与喷咀间产生电弧,经喷咀和工作气体的压缩而产生高温等离子弧(非转弧式等离子)和两者结合起来的中间形式。目前金属材料的等离子焊接一般都采用转弧式或非转弧式等离子。但是,在焊接薄板时,由于使用的电流小,电弧不易稳定,为弥补这个缺点,采用了中间形式。

使用等离子焊接I形对接接头的比较容易实现单面焊双面成型,而且过程比较稳定。这是等离子焊接的特点,也可以认为是它能够达到实用化及其应用范围日益扩大的原因所在。本文对于“小孔焊接”焊缝形成的主要因素,扩大单面焊双面成型板厚范围的可能性和途径,以及在全位置焊接条件下的适用性等问题进行了探讨。同时对薄板的焊接问题也作了讨论。

一、小孔焊接的特征

所谓等离子弧就是被压缩的、具有高能量密度的等离子流的电弧,因此,它对母材的穿透作用是强有力的。如果在熔池的底层仍有未被熔化的固体金属存在的话,则由于等离子气流的强劲吹力,会使熔化金属向上翻转,液态金属将被抛到母材的表面,形成凹凸不平、无规则的焊接。但是,如图1所示,对板厚在2~3毫米以上的板材进行对接焊时,由于等离子流的作用,会在熔池前部穿透一个小孔,等离子流从这个孔排出。这时,在小孔前端的熔化金属将沿图中箭头所指方向从两旁流向熔池后方,就像在板的正面和背面同时发生电弧进行焊接一样,所以在正面和背面都能形成均匀的焊波,这就是所谓的“小孔焊接法”。这是一种优良的单面焊双面成型的焊接方法。

小孔焊接法的主要工艺参数是等离子弧的极性、电流和电流密度、等离子气体流量和焊接速度。因为采用直流电源和把钨极接于正极具有容易操作的优点,而且能够通过较大的电流,所以市场上供给的等离子焊接设备大部分是属于直流正极性的。采用直流正极性时,在一定的电流和电流密度(喷咀孔径)条件下,小孔焊接法的适用规范为图2中所示的ABCD A区域,在阴影线右方就不能形成小孔。照片1是与

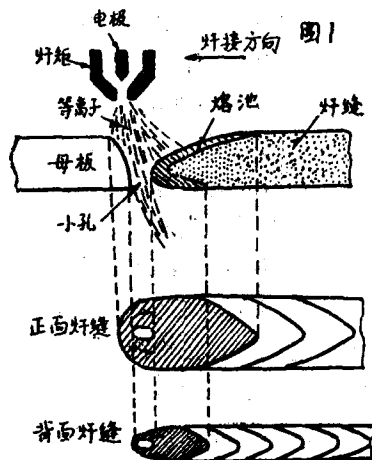


图1 等离子弧小孔焊接法

图 2 中 (a)~(e) 各区域相对应的具有代表性的焊缝截面形状。(a) 区域在低速小流量时, 由于输入热量过大, 和在中速大流量时, 由于等离子流的压力过大都会使熔池下塌而流失。(b) 区是最适用的范围区, 其焊缝截面如同熔化极气体保护焊那样形成酒杯型。在 (c) 区中, 焊缝截面上还留有孔运动时产生的小沟痕迹。在 (d) 区, 由于焊接速度过大致使小孔向后方倾斜, 当熔化金属通过它时会被等离子流吹开而形成不良焊缝。

在图 3 中示出了在平均电流密度保持一定时, 改变喷嘴孔径 d 及电流对适用焊接规范区域大小的影响。由图 3 可见: 当电流增大到一定程度 (如 $I = 200$ 安, $d = 3$ 毫米) 时可以提高焊接速度, 并扩大了适用焊接规范区。但进一步增大电流时, 反而会造成焊接的困难。图 4 表明了电流密度对适用焊接规范区的影响。实验结果表明: 在同一电流值的条件下, 如果增强电弧的压缩 (即减小喷嘴孔径 d), 则适用焊接规范区域就会大大地扩展 (特别是向低流量、高速度方向扩展)。从这些研究的例子可以大体上看出: 电流值除了保证必要的输入热量之外, 没有其他作用。

而电流密度 (即电弧的压缩程度) 则对焊接的难易和对提高效力所产生的影响更为明显。

在小孔焊接时, 影响熔池的熔化金属流淌程度的因素除了等离子流的压力外, 还由材质、板厚和背面焊缝的宽度来决定。假定背面熔池形状为凸出的半圆弧形, 则作用于熔池的力的平衡条件可用下式来表示: $\rho gh = 2\gamma/W_B \dots (1)$ (ρ : 熔化金属的密度, g : 重力加速度, h : 熔池高度, γ : 表面张力, W_B : 背面熔池宽度)

从式 (1) 可清楚看出: 由于不锈钢比碳钢表面张力大, 因此焊接比较容易, 适用焊接规范区域也较大。在碳钢中, 含碳量低, 和脱氧元素多的钢种也比较容易焊接。例如 SM-50 就比 SS-41 容易焊接。图 5 是用钨极惰性气体保护焊 (TIG) 和用等离子弧焊的试验结果。结果表明: TIG 焊接和 5 毫米以上的等离子焊接的结果与式 (1) 的关系是符合的*, 然而在

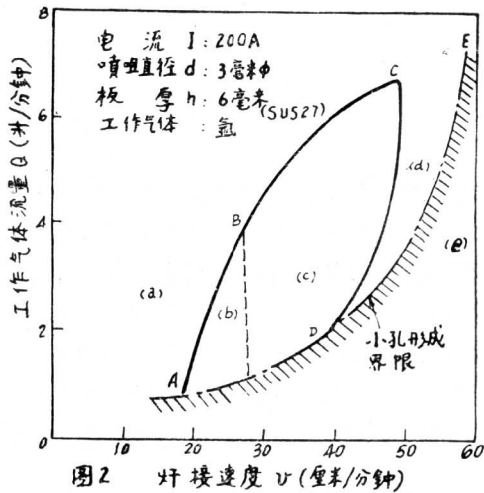
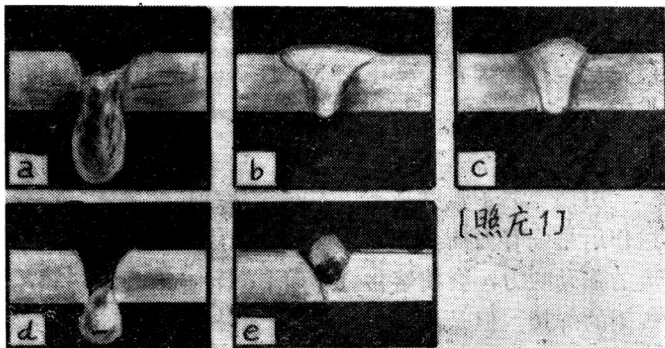


图 2 适用的焊接规范区域



照片 1 焊缝截面的典型例子

(a) 下塌焊缝, (b) 酒杯型焊缝 (c) “接触点焊点”式焊缝
(d) 高速下塌焊缝 (e) 无小孔效应焊缝

* 等离子弧焊接, 在获得最大背面焊缝宽度的低速条件下, 因等离子气流慢慢地吹向背面, 所以不致发生熔池下塌的现象。——原注。

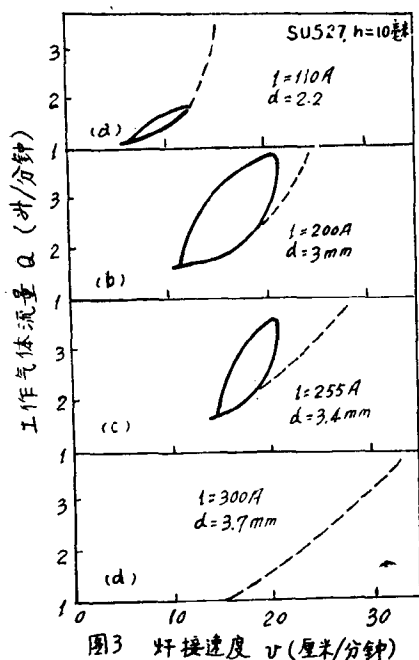


图3 在平均电流密度一定时电流值与适用焊接区的关系

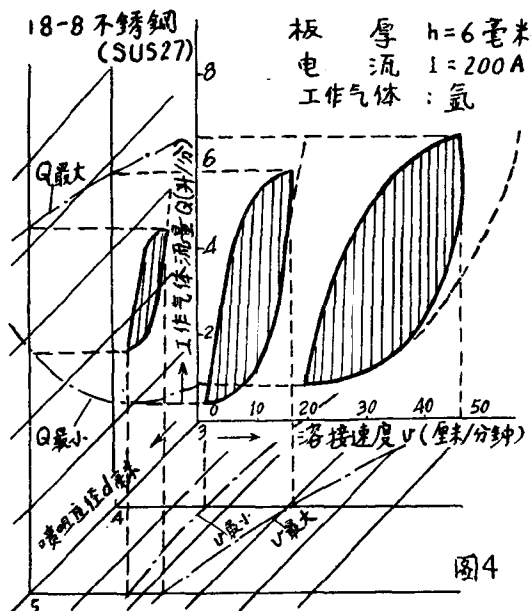


图4 电流密度对适用焊接规范区的影响

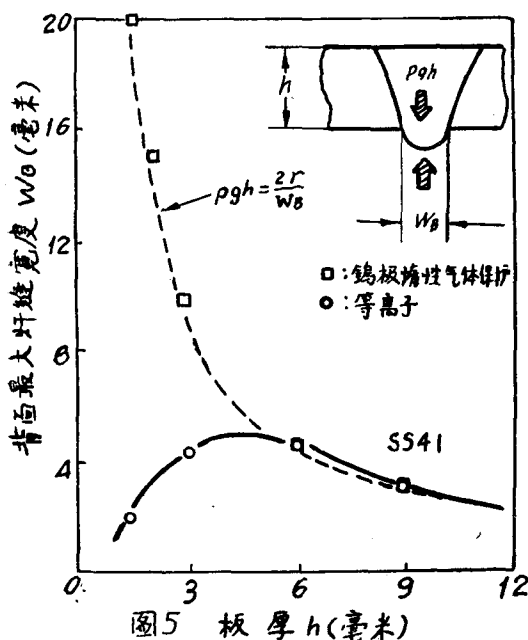


图5 背面焊缝所允许的最大熔宽与板厚的关系

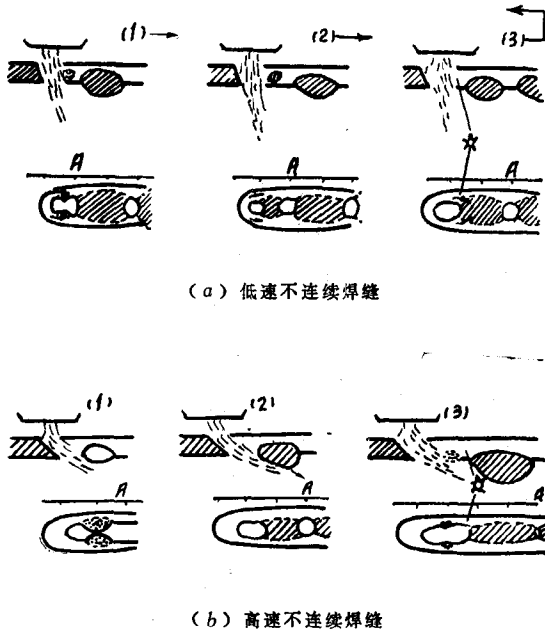


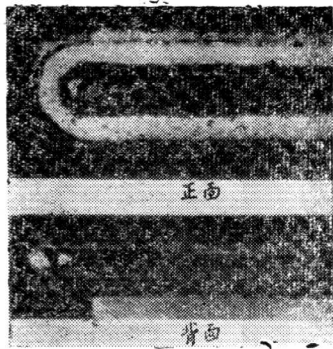
图6 薄板小孔焊接形成不连续焊缝的机理示意图

薄板的条件下, 由于“重力势能”(即 ρgh 之值) 值小, 即使背面焊缝宽度大于板厚也能保持熔池的平衡, 例如板厚为 3 毫米时, W_s 可达 4 毫米。但是, 此时往往会出现图 6 所示的焊缝不连续的现象。如图 6(a)-1 所示, 开始时熔化金属会在小孔后方的两侧产生堆积, 随后, 如图 6(a)-2 所示, 熔化金属就形成不连续的跨接, 这时, 小孔的孔径相对于板厚而言是太大了; 因而在表面张力的作用下又会从小孔前方急速吸入熔化金属, 这些金属就在如图 6(a)-3、上所示的星形标记处堆积起来而形成壁障, 阻止熔化金属向后流动, 继而又重新出现图 6(a)-1 所示的现象。在高速焊接时, 由于等离子弧会产生“后拖”(即向后方倾斜), 把熔化金属吹向后方, 经过与图 6(a) 所示的相同过程, 也形成了不连续的焊缝。参见图 6(b)。在薄板焊接时, 电流密度的大小对适用焊接规范区域大小也仍有极敏感的影响(参见图 19 和图 20)。

二、反极性等离子弧焊接

如上所述, 一般市场出售的等离子焊炬是用于正极性条件下的。如果焊炬结构修改一下, 采用大电容量容量的水冷铜电极代替钨电极, 就能使用反极性。这就使本来用正极性焊接十分困难的铝合金也可以进行一次焊透双面成形的焊接了。

如照片 2 所示, 如果正面和背面都有充分的氩气保护, 那么, 不仅在正面, 而且在背面也能形成宽于焊缝的净化区域*, 图 7 就是表示在背面形成净化区的条件下进行铝合金的反极性等离子弧焊的适用焊接规范区域。焊缝形成的基本形态和前述正极性焊接时没有差别。如图 7 中照片所示那样, 焊缝不仅在正面形成, 而且也在背面形成。截面呈“长鼓形”**, 这种“长鼓形”焊缝截面是反极性焊接的特有的现象, 用反极性焊接碳钢、不锈钢时也可得到相同的结果。



照片 2 反极性等离子弧焊接时的净化作用 ($I = 150$ 安, $Q = 2$ 升/分钟
 $d = 3$ 毫米, $v = 50$ 毫米/分钟,
Al-1200, $h = 6$ 毫米)

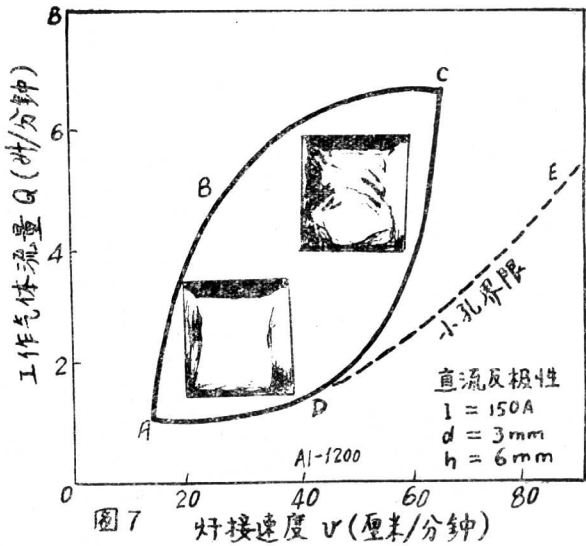


图 7 铝合金的适用焊接规范区

* 即阴极净化区——译注。
** 即上下宽中间窄的形状——译注。

图8是“长鼓形”焊缝截面形成的机理示意图,在小孔穿过背面部分P时由于阴极能量的直接作用使表面熔化,在表面张力的作用下,熔化金属按箭头方向通过小孔边缘迅速进入熔池。此时,熔化金属所流过的边缘区域的金属就被熔化,背面焊缝因此扩大,背面的“流沟”不断地增加宽度和深度,在熔池运动时就形成了“长鼓形”的熔化线。所以,背面的熔深区扩展的情况是由背面阴极净化区形成的程度所决定的。如果背面阴极点形成困难,那么阴极净化作用也会减小,则熔池的成形将接近于正极性条件下的形状。总之,结论是:如果采用反极性焊接,可以获得更为稳定的单面焊双面成型的焊接。

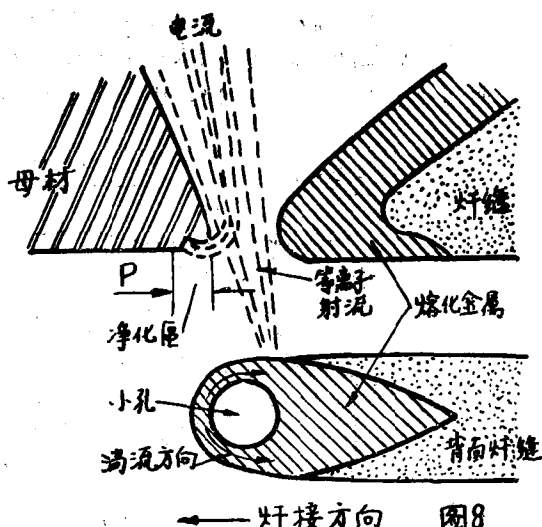


图8 长鼓形焊缝的形成机理

三、小孔焊接法适用范围的探讨

如图5所示,随着板厚的增大,腔面焊缝的宽度将变窄,而且焊接的困难也会增大。要解决厚板的焊接问题,不是把等离子弧焊接法和其他焊接方法结合起来(例如与埋弧焊结合),而是可以采用如图9所示的装置,使焊炬本身起着铜垫板的效用,形成厚板单面焊双面成型的仰焊方案。

笔者参考了许多通常单面焊接法所应用的衬垫方式,并对它们能否用于厚板的单面焊双面成型平焊的可能性进行了研究。这些常规方法有:铜垫、铜板加焊剂垫、气垫法,以及把后两种方式结合起来的铜板—焊剂气垫法。试验表明:等离子焊接和埋弧焊对衬垫的要求有所不同。为了防止高速等离子流反射产生不整齐的焊缝,衬垫的设计要沿着焊接线留出让气体排出的沟槽。

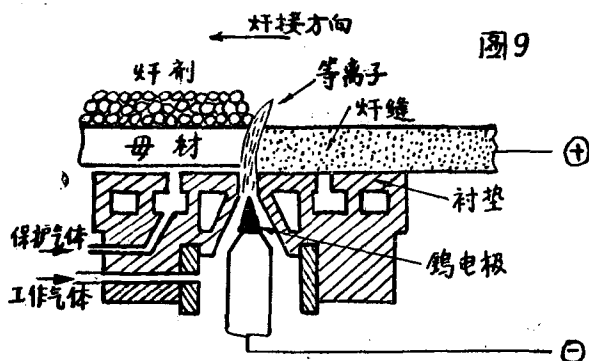


图9 仰焊等离子焊炬的厚板焊接

铜垫法容易在垫板沟内发生熔化金属先向前流动的现象,称为“先行现象”在低速焊接时,它会在背面焊缝上形成焊瘤;在高速焊接时,先向前流动的金属会迅速凝固,因此造成等离子气流反射,在先行金属前端形成尖锐的缺口环,虽然采取了许多措施,也无法消除这种现象。

图10为使用铜—焊剂垫的示意图。在这种情况下,由于焊剂能抑制背面熔化金属的先行现象和焊瘤的发生,所以焊剂层的厚度对背面焊缝的加强高的形状有很大的影响。铜垫上的

排气间隙 W 。如果太狭小，则会由于排气不畅而容易出现故障。实验结果表明，间隙取 1.5 毫米最为合适。但是随着板厚的增大，为了防止熔化金属从间隙中流失，需要把 W_0 值保持得很小。而当 W_0 值小至 1 毫米时，由于排气不畅，焊缝就会产生缺陷。

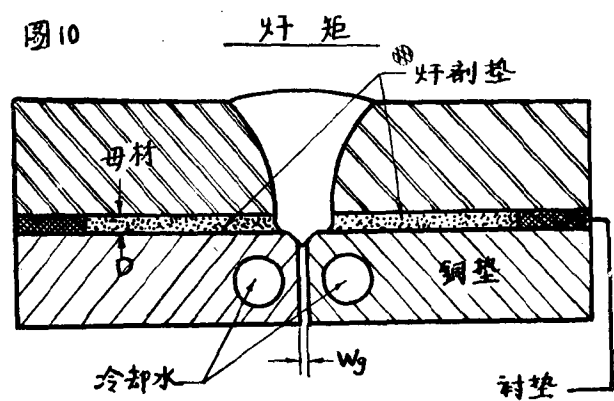


图10 铜—焊剂垫法

气垫法是在熔池底部通入压力气体来平衡熔池重力使熔池不致下垂的一种方法。这一方法只从静力平衡的角度来考虑。从理论上来看，背面焊缝的宽度可以较大，似乎与板厚无关。但是实际上，当背面熔池宽大后，伴随而来的是熔池表面的不稳定，必然会造成熔池滴落。实验结果表明，在软钢施焊的情况下，能防止熔池滴落的最大背面焊缝熔宽约为 4~5 毫米。图 11 中的 W 区就是这种方法的适用焊接规范区。 W' 区是气压增加后，扩大的适用焊接规范区。图中各点的数字代表在相应条件下背面焊缝的熔宽(毫米)。

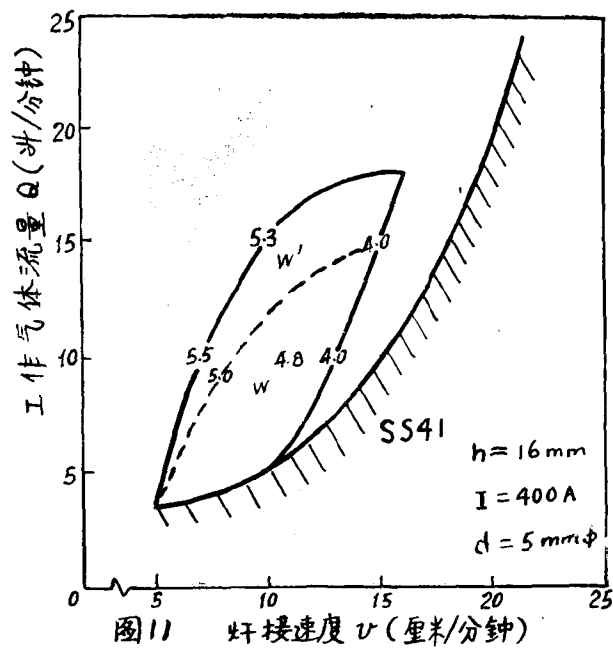


图11 气垫法的适用焊接规范区

在使用铜板—焊剂垫法时所碰到的铜垫间隙的困难可以在使用铜板—焊剂—气垫法中用增大气体压力、扩大间隙的措施来解决。例如焊接软钢时铜垫间隙可以扩大到4毫米。图12中实线包围的区域代表采用铜板—焊剂—气垫法时的适用焊接规范区，而虚线包围的区域则是使用气垫法的适用焊接规范区。由对比可见，前者较为有利。采用前—方法在低速焊接时其适用焊接规范区不能扩大，否则熔化金属会容易被等离子流吹落，从而起堵塞间隙的现象。

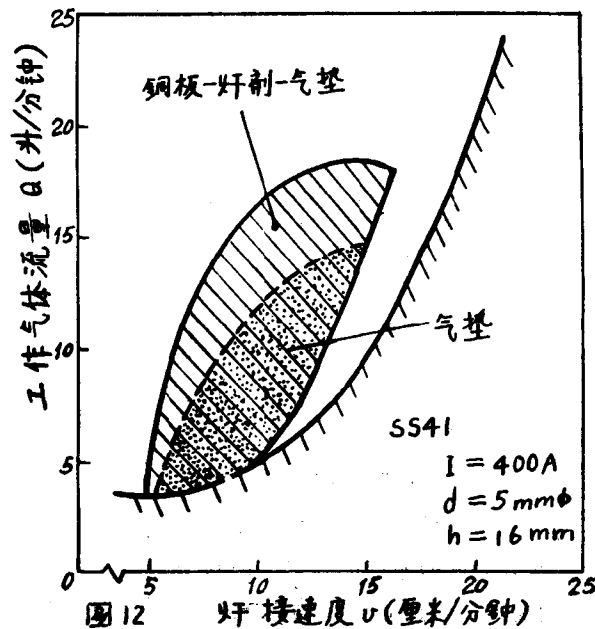


图12 铜板—焊剂—气垫法

四、全位置焊接的研究

目前，等离子焊接大部分是用于平焊。为了使等离子焊接法具有灵活的使用性，就有必要对在其他位置的焊接进行研究。笔者在研究这一重要课题时，注意到了重力的方向与熔池保持形态的相互关系并依此对全位置焊接时焊缝形成的机理进行了分析。

图13是全位置焊接的各种位置（平焊、仰焊、向上立焊、向下立焊）焊接时，经过了整理归类的熔池状态及其相应的规范区域。A表示由于输入热量过大而产生的熔池塌落状态。（参见照片1（a））。D表示由于高速运动的等离子流穿过小孔时，有一定的“后拖”量，把熔化金属吹向后方在背面凝固的状态。（参见照片1（d））。这两种状态，在能形成小孔的焊接规范条件下，无论在那一种施焊位置上都会出现在高速和低速焊接的情况下。至于C的状态，它的范围大小与

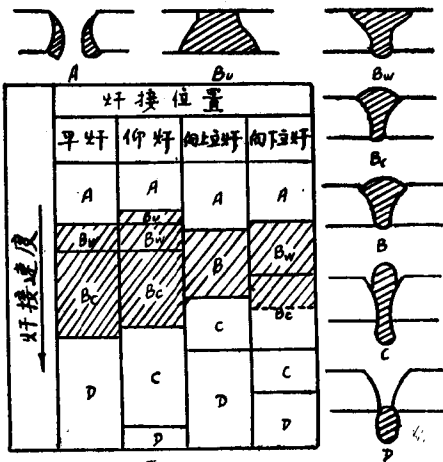


图13 板厚一定时，焊接位置与熔池保持形态的关系

作用于熔池的重力方向有密切关系。图 14 示出在仰焊时不稳定焊缝形成机理的图解。等离子流首先会强制熔化的金属向上流向表面，但当等离子弧移开时，又会由于重力和表面张力的作用使熔滴从表面滴落下来，如此周而复始，形成了不规则的焊缝。但在平焊位置时，等离子气流的主方向和重力方向大体一致，就不致出现 C 的状态。

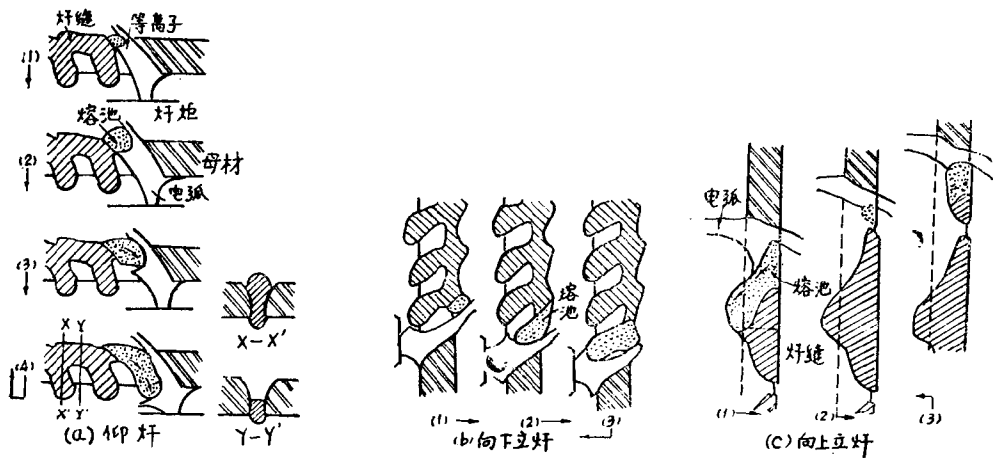


图 14 C 区域的不稳定焊缝的形成现象

在适用焊接规范区内， B_w 表示的焊缝截面是酒杯形的， B_c 表示的焊缝截面与接触点焊的焊点形状相似。（介于两者之间而不能明显区别时以 B 表示，以下同）。图 15 表示向下立焊时高速区 B_c 空洞形成的现象。焊道表面连续与 B_c 代表的形状无异，而其内部却遗有空洞。 B_w 是仰焊时的独有区域。如图 16 所示，等离子流起着支持熔池的作用，尽管熔宽较大，但可形成平坦的焊缝。

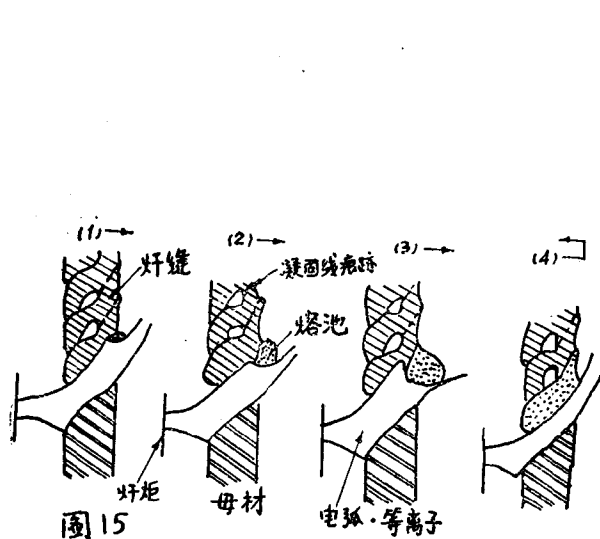


图 15 向下立焊时 B_c 高速区空洞的形成

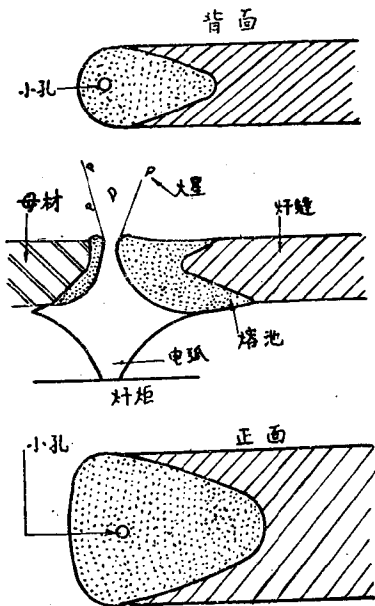


图 16 在仰焊时 B_w 区中熔池的保持状况

图 17 示出 3 毫米薄板各个施焊位置的熔池保持形态。其规律基本上是与中厚板相同,在 A 区,除向下立焊外,都呈现如图 6(a)所示的不连续跨接的焊缝规律。值得注意的是,图 17 向下立焊的适用焊接规范区 B 大大扩大,其机理如图 18 所示,熔池边缘的熔化金属的表面张力克服了重力作用而沿着边缘向上流动,而中部垂下的熔化金属则由等离子流支持着而不致下垂。但在低速 (A 区) 时,由于等离子流的吹力,会使熔化金属以火花形式喷出,因而不能进行正常的焊接。在向下立焊中不会出现 C 区。

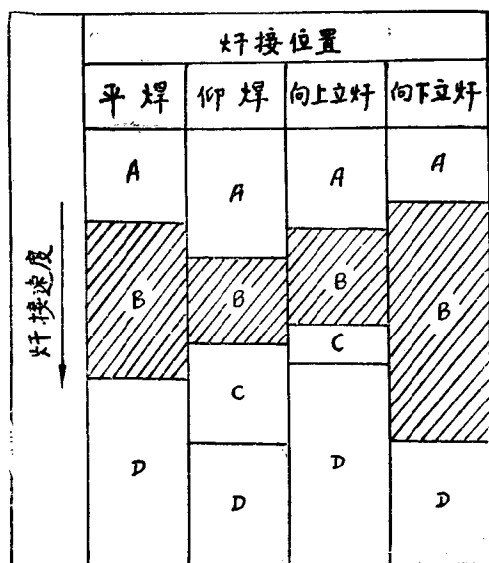


图 17 薄板焊接时焊接位置与熔池保持形态的关系

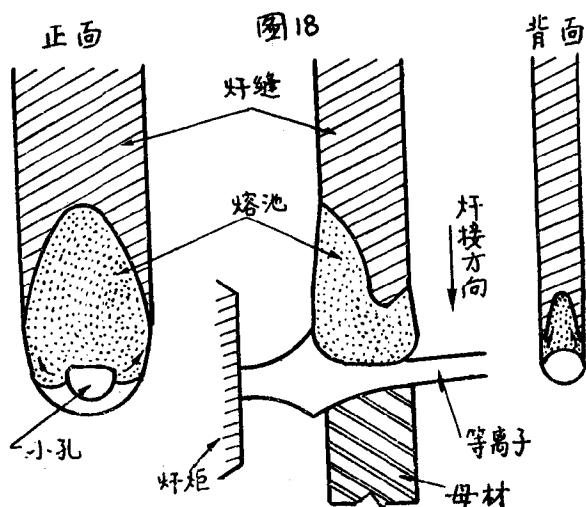


图 18 向下立焊时熔池保持的状况

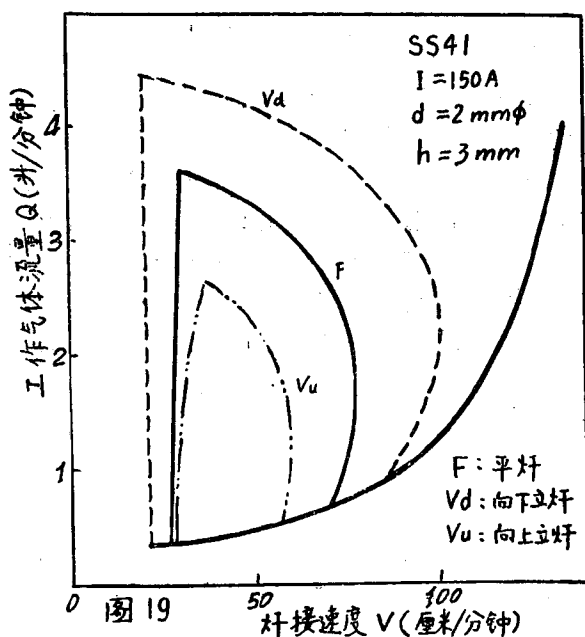


图 19 薄板的各种焊接位置的适用焊接区域的比较

图 19 是薄板在不同焊接位置时适用焊接规范区域的比较。在此图中没有标出仰焊的适用焊接规范区，因为如果它的正面和背面的熔宽相差不大，则与平焊的适用焊接规范区没有多大的差别。在各种施焊位置上表面熔宽越大，适用焊接规范区越窄。从图 19 可见，向上立焊是最困难的。在中厚板焊接时也是这样。电流密度越小，这个特征就越突出。如图 20 所示，向上立焊几乎是不可能的 (V_u 区太小)。

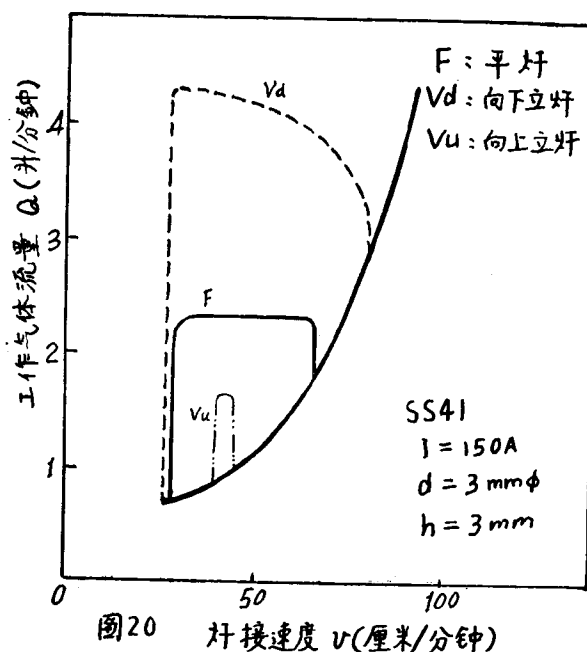


图 20 电流密度对适用焊接区域的影响

五、小电流等离子弧*薄板焊接

对于 1~2 毫米以下的薄板，要用 10 安培以下的小电流电弧焊接。在这样小的电流条件下，用通常的方式产生的电弧是非常不稳定的，因此在实用上有困难。巧妙地解决小电流等离子弧不稳定的办法是在焊矩内的电极与喷嘴之间经常维持着一个电流为 2~3 安培的电弧，而在电极与工件之间仍加上一定电压。这样，就可以得到从喷嘴孔 ($\phi 1$ 毫米以下) 喷出指向性良好的细束等离子流。即前言中所述的中间形式的等离子流发生方式。采用这种方式，甚至 0.1 毫米的超薄板对接焊也能比较容易实施。

如果小孔法在小电流等离子焊时能适用的话，那么效率是很高的。但是，在一定板厚条件下当熔宽达到某种程度的时候，在小孔部位熔化的金属会向后方流去就不能把小孔填满。在这时，假定熔化的金属在熔化沟两侧形成半圆柱状，并忽略重力的影响，则能把小孔填满的最大熔宽值 W_{sc} 与板厚 h 的关系为：

$$W_{sc} = 1.84 h \dots\dots (2)$$

这个关系式在 3 毫米以下的板厚已证明是与实验结果大体一致的；粗略地说，小孔的熔宽不能超过板厚的两倍。因此，薄板实际上无法应用小孔法焊接。

* 又称微弧等离子焊或针弧等离子焊——译注。

因此，在小电流等离子弧焊接时，应控制工作气体流量以防止小孔的形成。但是，由于减少了工作气流，弧柱的压缩程度随之减弱。为了防止这样的结果，可在保护气体 (Ar) 中加入氢或氦这类热压缩效果较好的气体。图 21 示出由于添加了氢使电弧压缩热量集中而有利于焊接的规范曲线。加氢后，同一板厚的单面焊双面成型焊接所需的电流可以减小。

薄板对接一般采用如图 22 所示的装置，在焊缝两侧需用压板压紧。影响焊接结果的因素是：电流、焊接速度、喷嘴高度、保护气体成分和夹具的间隔（指压板间隔距离）。其中影响最大的是夹具间隔。在高速焊接时，为了得到均匀的焊缝宽度需要选用小的夹具间隔。如果像手工焊那样难以维持恒定的速度时，最好选用输入热量小而且速度低的焊接规范。这些规律是热传导理论的分析结果，同时也为实验所证实。

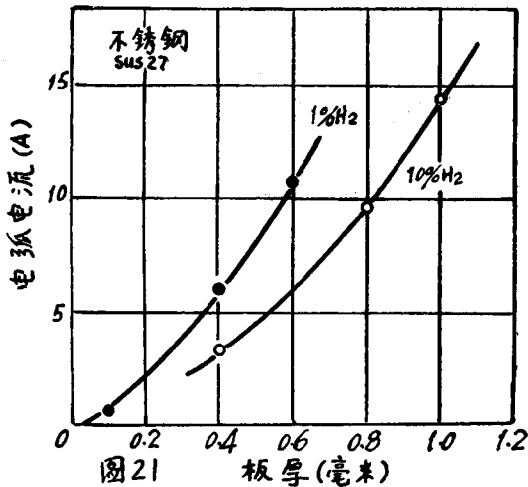


图21 保护气体中添加氢气对对接焊所需的最小电流值的影响

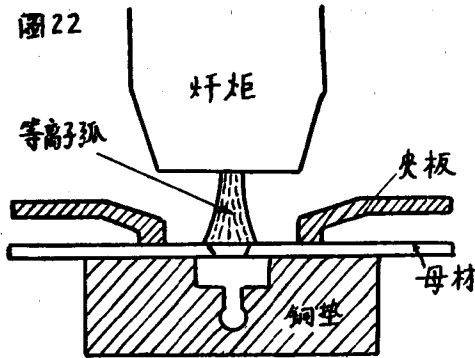


图22 小电流等离子弧对接焊接装置

六、基础问题的整理

上述各节已扼要地叙述了各种等离子弧焊接法的现状、发展趋势及存在的问题。现把主要的几个问题整理如下：

对焊接的难易和结果的主要影响因素之一是等离子弧的电流密度。因而，如何提高喷嘴对等离子弧的压缩程度是一个根本问题。但对这一问题目前主要是依靠经验来提供分析的依据，而未能对现象作出系统的说明。在一定形式的喷嘴中，当电流增大到一定值时，就会在喷嘴上产生双弧，而使喷嘴烧损。人们对于一定结构的喷嘴所允许的极限电流已进行了初步的研究。在正接法焊接时，喷嘴出口处的氧化烧损和喷嘴孔温度上升是降低极限电流的主要原因。在反接法焊接时，往往也会发生喷嘴孔熔化甚至产生双弧的危险。

通过喷嘴的等离子弧随着接近母材其弧柱截面会逐步扩展。图 23 示出几种用气流压缩等离子弧柱的方法。对于压缩的效果的分析和上述一样主要也是依靠经验。我们希望进行有效的压缩方法的基础研究。此外，关于焊炬，如前所述，反极性等离子弧有很多优点和特征，因此也期待能研制实用性的焊炬。

在施工工艺问题方面，应对厚板焊接的衬垫法及其在现场的实用性进行研究。并且应注

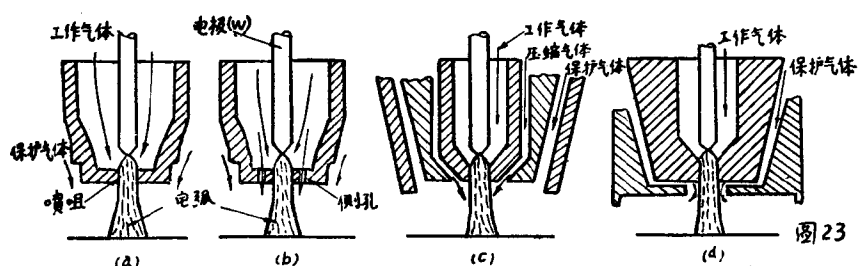


图23 等离子弧的压缩方法

意对全位置焊接法有利的向下立焊的发展及其在厚板方面的应用。

对于薄板立焊焊缝形成的机理应加以研究。特别是研究即使在低速焊接时也不致形成断续的空隙的焊缝的机理。如能有效地利用这一机理，那么等离子弧焊接法现存的某些缺点，例如薄板小孔焊接等等问题就可以迎刃而解了。

以上仅仅举出等离子焊接发展中的一些关键问题，还有许多其他问题，限于篇幅，就不一一列举了。

[译自溶接技术 1973 年 Vol.21, No.6, P 63~71.]

能消除双弧现象的等离子焊炬

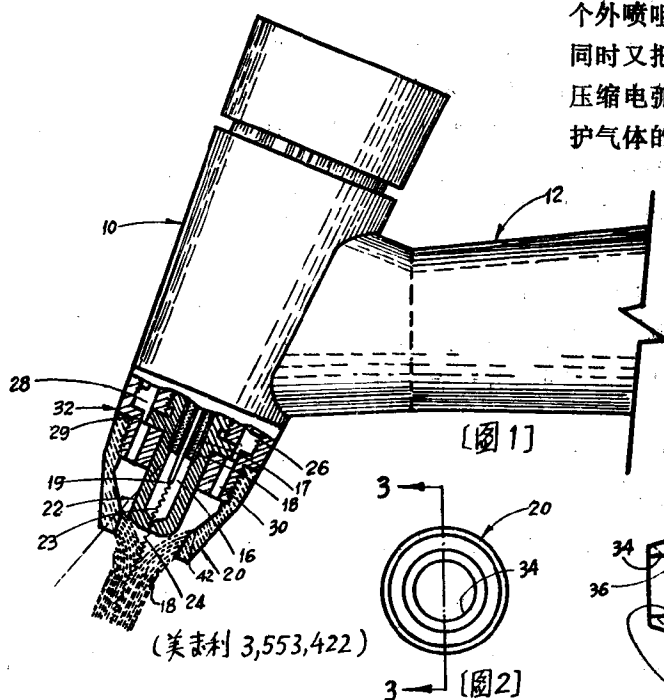
本 发 明 的 背 景

本发明涉及一项能防止或减小双弧现象的等离子焊炬结构，特别适合于额定电流和工作电流为 100 安培或小于 100 安培的那些等离子焊炬。

双弧是一种在通常称之为“转移式”等离子焊炬的操作中所常发生的现象。在以往形式的等离子焊炬中，电弧是在焊炬体内的阳极和阴极之间引发的，当进行焊接时，工件就成为焊接电流的一支通路（通常是阳极通路），于是电弧的一端就会从焊炬内部转向作为另一电极的工件。人们发现，采用以往形式的等离子焊炬时，如果电流增大到超过等离子弧柱的电流负荷容量时，或者当等离子气体流量不足以承受这个通入的电流时，那么电弧的最小电阻通路就会是从主电极（阴极）经过焊炬喷嘴（最初的阳极）然后到工件。这就形成了双弧现象，这就是说，电弧从阴极经过焊炬喷嘴而后到达工件。这种双弧现象会使焊炬喷嘴在很短时间内烧毁，使得需要更换焊咀、喷嘴及其他更多的部件，导致焊接效率的降低。

本 发 明 的 要 点

我们发现，双弧现象是可以减小的，在某些情况下，还可以用保护气体从某一倾斜角度迅速通过电弧发源的喷嘴顶端的办法来消除它，这个角度应为处于平行于等离子弧和小于垂直于等离子弧之间的某一适当的角度。本发明的方法是在压缩电弧气体的内喷嘴之外再加一个外喷嘴来实施的，从而增大气体的流速、同时又把保护气体导向到要求的角度、吹向压缩电弧喷嘴的顶端面。使用这种方式的保护气体的主要作用是增大内喷嘴顶端的电流



附 图 简 说

- 图 1 为本发明焊炬的局部剖面图。
- 图 2 为根据本发明而设计的喷嘴的端视图。
- 图 3 为图 2 中沿 3-3 剖开线的侧视图。

负荷容量，从而减小双弧现象。

本发明的具体内容

现参阅图 1，示出一个由“头部”（以数字 10 表示）和“手柄部”（以数字 12 表示）组成的等离子焊炬。

在头部 10 和手柄部 12 没有剖示的部分内装有把电弧气体通向电极 16、把保护气体通向外喷咀 20、把电极 16 和喷咀顶端 22 与不同电位相连等等的装置，还包括有冷却焊炬的装置，它们都是一般熟知的形式。在本发明者申请的另一美国专利中（申请号为 831,370）包括了一个能把本发明的原理应用上去的一种焊炬。

电弧气体（又称等离子气体或工作气体）沿着电极保持夹 18 外表面 17 上的多个沟槽向电极 16 的顶端 19 流出。一部分电弧气体与电弧相结合而形成等离子弧 23。等离子弧 23 受到喷咀孔 24 的压缩和集中而喷向工件（图中未示出），在等离子弧 23 和喷咀孔 24 孔壁之间还有一层未受电离分解的电弧气体通过。

如上所述的这种电弧具有内在的稳定性。但是为了使等离子弧能有效地施焊起见，还必须把它用保护气体（例如氩气）把它保护起来。保护气体 18 是经过手柄 12 通入环形通道 26、然后进入一个较大的环形腔室 28、通过环形通道 29，而进入位于内喷咀 22 外环套圈 32 上的许多圆孔 30，再通过由内喷咀 22 外壁与外喷咀 20 内壁所构成的空间向外流出。环形腔室 28 的直径即大于通道 26、也大于通道 29，为的是让保护气体在喷出焊炬之前在内喷咀 22 的周围达到相同的压力。这个腔室 28 起着镇静室的作用，使保护气体气流平稳。

内喷咀 22 在具有孔径 24 的一端作成圆弧状，通常是用铜制成的。内喷咀 22 通过焊炬手柄 12 内的导线与一个电源（未示出）相连，它通常处于正极；电极 16 也通过手柄内的导线与电源相连，通常处于负极。电极 16 用钨或钍钨制成。在正常工作条件下，电弧将在内喷咀 22 与电极 16 之间引发，于是一部分电弧气体就与电弧结合起来而产生等离子体。当等离子弧建立后，内喷咀 22 就从电路中切断，而工件（未示出）就成为电弧的正极端。这种等离子炬的工作形式称为“转弧式”，是焊接常用的一种工作形式。当电弧的正极部分转移后，电弧就只应在电极 16 与工件（未示出）之间燃着。然而在实际中，情况并非完全这样，双弧还会发生，这就是电弧可能会从电极 16 燃烧到内喷咀 22、然后再到工件。如前所述，这种现象会使焊炬顶端产生严重损耗。

在以往形式的等离子焊炬中，内喷咀往往是伸在外喷咀外面的，致使保护气体在等离子进入大气的整个长度上与等离子弧接触。如果内喷咀 22 偶尔与工件接触，那么伸在外喷咀 20 外面的内喷咀部分就会形成电的短路。除此之外，内喷咀与工件的接触还可能造成焊道的沾污。

参阅图 1，如前所述，在内喷咀 22 的周围加了一个外喷咀 20，用来向等离子弧 23 供给保护气体 18。如图 3 所示，外喷咀 20 的下端有一个大致呈圆筒形的出口部分 34。当把外喷咀 20 套在焊炬上时，圆筒部分 34 的纵向轴心线就与内喷咀 22 的纵向轴心线相重合。圆筒部分 34 的上端内壁面 36 大致形成截头圆锥状，它又与另一个圆筒面 38 相连，圆筒面 38 上车有内螺纹 40，用来固定于套圈 32 上。

在外喷咀内由圆筒部分与截头圆锥部分交界处所构成的台肩 48 的位置是这样地来选定的：即要使它和内喷咀 22 的下端相配合，对保护气体流产生一个收缩作用，如图 1 中的数

字 42 所示。于是这股受到压缩的气流首先被导向内喷咀的端面，从一定的角度方向趋向等离子弧 23。这个导向角度应大于与等离子弧相平行的角度，但又应小于与等离子垂直的角度。当保护气体在内喷咀下面通过时，它会转弯，最后包围着等离子弧、并与它平行流动，趋向工件。当气体到达大气中时，它会向外膨胀，使能在压缩喷咀的工作距离之内获得无损失的适当保护作用。

如图 1 所示，当焊炬以转弧形式操作时，正常的情况是电弧应直接维持在电极 19 的下端与工件（未示出）之间。但是如果使用一般的喷咀（即没有尖棱台肩的喷咀，而是一个有平滑的斜度锥面的喷咀），那么电弧就往往会在电极 23 与内喷咀 22 之间引着，然后趋向工件。

前面说过，双弧现象的不利效果可以通过把保护气体快速通过焊炬内喷咀的端面而得到防止。这个原因虽然还没有十分弄清楚，但是它确实具有减小双弧的作用，在某些情况下甚至具有防止双弧产生的效果，这是在低电流等离子弧炬中所常见的事实。我们发现，对于如附图中所示的那种带有圆弧形面的内喷咀而言，外喷咀 20 内部的截头圆锥面 36 的倾斜角度要求约取 70 度。但是，这个角度只有对本图所示的特殊设计形状的内喷咀才被认为是关键的，而且还应指出，这种形状也只是用来对保护气体产生压缩作用和导向作用从而防止双弧现象。此因，对于其他不同形状的内喷咀而言，外喷咀的形状也应作相应的改变，才能获得要求的保护气体流动形式。

外喷咀最好用诸如氧化铝矾土之类的非导电性材料来制造。但是根据焊炬的工作条件，也可以采用其他的材料来制造。

因为内喷咀是装在外喷咀之内的，它就不会再与工件接触而发生短路。这个受到保护的內喷咀还可以消除在焊缝金属内产生铜夹杂的事故。

[译自美国专利 3,553,422, Jan. 5, 1971, Air Products and Chemicals, Inc. Allentown, Pa. a Corporation of Delaware]。