

科學技術用書

最新隋性氣體焊接法

盧信男著

復漢出版社印行

科學技術用書

最新隋性氣體焊接法

盧信男著

江苏工业学院图书馆
藏书章

復漢出版社印行

中華民國六十四年九月出版

最新脩性氣體焊接法

著者：盧 信 男

出版者：復 漢 出 版 社

地址：台南市法華街一一三號
郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈 岳 林

印刷者：國 發 印 刷 廠

地址：台南市協和街一六五號

打字者：克 林 打 字 印 刷 行

地址：台南市民族路新美街三〇號

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

版權所有
翻印必究

平 裝 八 角
精 裝 十 元

序

惰性氣體焊接法（Argon arc welding），乃現代金屬機械工業最重要之接合方法，它在世界各工業先進國家，均一致採用之，惟其在發展過程中為時尚短，在美國也祇不過是發達十多年而已，而我國工業雖已突飛猛進，但焊接技術却墜乎其後，亟待迎頭趕上，期以適應我國重大工程建設所需之技術人力。

惰性氣體焊接法（氬氣焊接），分為鎢弧法與金屬電弧法兩種，為使國內有志從事此一工作之青年仰能獲得此一技術之知識及資料，特摘譯日本產報出版之「新版アルゴン・アーク溶接學」中之精華，再以本人十餘年來之工作經驗與心得，融和譯成本書，詳細申述各種電弧之性質，機器設備，以及操作方法等，供作進修研究之參考，藉以提高並造就我國焊接人才，促使焊接技術能在我國工業界邁向光明坦途，發揮其最高功能！

編譯此書，本人確已盡了最大的心力，但登泰山而小天下，魯亥遺漏之處，在所難免，敬祈諸先進垂察指正，俾能百尺竿頭再進一步，實乃本人之榮幸！同時，經濟部南區職業訓練中心電氣科教師邱鴻癸先生，在本書中有關電器設備方面之核正，實獲益良多，特申謝悃。

編譯者 盧信男謹識

民國六十四年七月

於經濟部南區職業

訓練中心

最新惰性氣體焊接法/目次

序

第一章 概要	1
1-1 氬氣電弧焊接法之演變	1
1-2 氬氣電弧焊接	1
1-3 氬焊之特徵	4
第二章 TiG焊接之基本要素	6
2-1 電弧的基本式樣	6
2-2 TiG電弧特性	8
2-2-1 電壓、電流特性——加入電量與熱放散之平衡	8
2-2-2 電極和母材之發熱——陽極	9
2-2-3 交流TiG電弧的直流分的發生——極性效果	11
2-2-4 TiG電弧的起動——鎢棒電極(Tungsten electrode)之冷陰極形起動	11
2-3 雜論	13
2-3-1 清除作用	13
2-3-2 電弧之硬直性	14
第三章 TiG焊手焊接裝置	16
3-1 焊接裝置之組成	16
3-2 焊把(torch)	18
3-2-1 鎢極之固定焊炬護蓋(torch cap)	19
3-2-2 構造與冷卻方式	20
3-2-3 陶器護罩嘴(nozzle)	21
3-3 手焊接制御裝置	23
3-3-1 制御裝置組成	23
3-3-2 高周波發生裝置	24
3-4 焊接電源	28
3-4-1 直流電源	28
3-4-2 交流電源	31
3-5 氬氣(Argon gas)之供給	35
3-5-1 氬氣之供給方式	35

3-5-2 壓力調整器和流量計	36
第四章 TiG焊接的實際情況	38
4-1 焊接準備	38
4-1-1 環境和保護器具之準備	38
4-1-2 表面處理	39
4-1-3 接頭部分之準備	41
4-1-4 底部墊板防撓工具	42
4-1-5 焊接裝置的調整	44
4-1-6 鎢棒電極	44
4-2 焊炬之握法與操作方法	46
4-2-1 焊炬之握持方法和電弧之起動	46
4-2-2 焊炬之操作與起弧	47
4-2-3 單焊道填料焊接	49
4-2-4 鋁金屬板之單焊道焊接	51
4-2-5 不銹鋼板之單焊道焊接	52
4-2-6 I型槽鋁板對接焊法	52
4-2-7 T型角焊	60
4-2-8 多位置焊接(管子焊)	64
4-3 各種金屬之焊接	66
4-3-1 鋁金屬之焊接與條件	66
4-3-2 鎂(Magnesium)之焊接與條件	71
4-3-3 銅及銅合金之焊接與條件	76
4-3-4 不銹鋼之焊接與條件	82
4-3-5 鋼及低合金鋼之焊接條件	85
4-3-6 鈦(Titanium)之焊接與條件	86
第五章 TiG半自動及全自動焊接裝置	91
5-1 TiG半自動焊接裝置和TiG電阻焊接(Argon arc spot welding)焊接裝置	91
5-1-1 TiG半自動焊接裝置	91
5-1-2 TiG電阻焊(Argon arc spot welding)裝置	93
5-2 TiG全自動焊接裝置	96
5-2-1 一般用TiG全自動焊接機	96

5-2-2	專用自動焊接裝置	99
5-3	高效率TiG自動焊接綫	103
5-3-1	預熱填加焊條(Hot filler wire) 焊接法	103
5-3-2	多電極TiG焊接法	105
第六章 超弧焊接(Plasma-arc welding) 與 超弧切割(Plasma-arc cutting)		107
6-1	超弧焊接	107
6-1-1	plasma 電弧焊接之原理	107
6-1-2	大電流超弧(plasma arc) 焊接及實際	108
6-1-3	小電流超弧(plasma arc) 焊接及實際	112
6-2	超弧切割	
6-2-1	超弧切割(plasma arc cutting) 裝置	116
6-2-2	超弧切割之實際	118
第七章 MiG焊接之基本原理		126
7-1	熔融金屬之移行法	126
7-1-1	噴烙型移動式	126
7-1-2	振弧焊接	129
7-1-3	短絡型移動	131
7-2	熔入情形(滲透狀況)	134
7-3	焊條(wire)之熔融速度和電弧之電氣特性	135
7-3-1	焊條(wire)之熔融速度	135
7-3-2	電弧之電氣特性	137
7-4	電弧及電源之自制特性	137
7-5	起皺(puckering)現象	139
第八章 MiG半自動焊接裝置		143
8-1	MiG半自動焊接裝置	143
8-1-1	構成	143
8-1-2	焊炬(torch)	146
8-1-3	焊線(wire)之輸送裝置	150
8-1-4	制御裝置	152
8-1-5	焊接電源	155
8-2	MiG點焊(spot welding)裝置	158

8-3	MiG全自動焊接裝置	159
第九章 MiG焊接之條件		162
9-1	焊接準備	162
9-2	操作 (半自動焊接)	162
9-2-1	焊接之開始與終止	162
9-2-2	焊炬之操作	163
9-3	各種金屬之焊接法	164
9-3-1	鋁金屬之焊接與實際	164
9-3-2	不銹鋼之焊接與實際	167
9-3-3	銅之焊接與實際	182
9-3-4	軟鋼及合金鋼	182
	參考資料	184

第一章 概要

1-1 氬氣電弧焊接法之演變

在十九世紀末葉，最初發明碳棒電弧溶接法與金屬線（裸棒）電弧熔接法以來，電弧與熔接部受到空氣中之氧氣、氮氣之影響，使熔質變質、變脆，所以要能得好的熔質必須考慮到氧氣與氮氣之革除或分離，因此熔接工學就針對這個目標實施研究。因此才有利用 CO_2 氣體來保護電弧焊接的試驗，氧乙炔氣焊和被覆電弧電焊條的發達，這個目的漸漸將要達到。在1926年美國GE公司的特庫西亞先生發明了原子氬的熔接法，與現在的惰性氣體電弧焊接法的基本形態有互相關係。

後GE公司又繼續研究發明一種叫TiC (Tungsten Inert Gas Arc Welding)，1930年由於沒有好的設備，不能得到高純度之惰性氣體，所以氬氣電弧焊接法又漸漸停頓下來。後來美國對電弧焊接研究的龍溫·斯西和日本的安藤弘平氏，針對惰性氣體中產生電弧現象之焊接法去着手研究電弧。

到了第二次世界大戰末期，製造飛機工業的發達，飛機骨架之鋁鎳鉻合金材料之焊接以手工來施焊，施焊時絕對要排除大氣中之氧氣，所以需要大量以老法製造惰性氣體。

過了不久由於原子彈製造工業方面的發達，能得到高純度的物質，所以對這方面之製造也相當進步，美軍的飛機製造也非常需要，因此再經過GE公司與美國技術促進協會合力研究，才有現在的惰性氣體焊接法（TiG）的完成。

以後在1948年，以與母材同一材質的電極焊線來施焊。這也就是Metal Inert Gas Arc Welding (MiG) 短絡移行焊接（Short Circuit transfer Welding）焊接法，續之由於定電壓特性電源與移行焊接的發表，所以才有現在飛躍發展的情形。

1-2 氬氣電弧焊接

電弧焊接法中，是以電極直接產生高溫電弧而溶融金屬，而這些溶融的金屬很易產生化學變化，與空氣中之氧、氮接觸後產生氧化、氮化，使熔接部不能得到良好的材質。

通常的被覆焊條是在圓形的金屬棒周圍塗上一層厚厚的藥劑，當焊接進行中，這些藥劑受到電弧的高熱而分解。產生氣體與熔渣，使電弧熔質與外氣隔離接觸，以防止不良的情形產生。但要使其熔接部之熔質提高品質，並使

達於更精良就比較困難，所以保護氣體與熔渣之效果，只對一般普通鋼之熔接比較有效，但對於高合金鋼及非鐵金屬就須十分的考慮。在氬氣電弧溶接法裡，在熔接部不會受到大氣的污染，電弧的周圍，流出氬氣覆蓋着，電弧就在這氬氣內點燃着。

氬氣的化學性是非常安定，在高溫的熔融金屬裡接觸不會起反應，這種焊接法，對於化學性相當活潑的鋁與鈦都能適合，所以說幾乎每種金屬材料都能適用此法。

除了氬 (Argon) 以外還有氦 (Helium) 氖 (Neon) 氙 (Krypton) 氙 (Xenon) 如周期律表 (表 1.1) 之第零族內屬氣體，都有惰性氣體 (Inert Gas) 之稱呼，但電弧焊接所用之氣體，我們須考慮到實際可利用之程度，價錢的高低及是否能大量的供應。目前所使用的氣體大部份以氬 (A) 與氦 (He) 較多。

氬氣在美國中、南部天然氣中含量相當多，經過精製後就可用來做為焊接用氣體。

表 1 — 1 原子周期律表

列 族	1	2	3	4	5	6	7
0	2 H ₂ 4.003	10 Ne 20.20	18 A 39.94	36 Kr 82.92	54 Xe 130.2	86 Rn 222.4	
I	1 H 1.008	3 Li 6.940	11 Na 23.00	19 K 39.10 29 Cu 63.57	37 Rb 85.45 47 Ag 107.88	55 Cs 132.8 79 Au 197.2	
II		94 Be 9.02	12 Mg 24.32	20 Ca 40.08 30 Zn 65.38	38 Sr 87.63 48 Cd 112.40	56 Ba 137.36 80 Hg 200.59	88 Ra 226

但是氬氣價錢很高，除美國以及實驗使用外，大部份都使用氬氣來代替。

氬氣如表 1.2 所示空氣中大約佔 1 % 存在，可將空氣分離再精製。製造程序是將空氣壓縮，冷卻成液態空氣再蒸發。最初在沸點 - 195.8°C 時為氮氣蒸發，再下去之沸點為 - 185.7°C 為氬氣蒸發，剩餘的為殘留的氧氣。

再把所得之氫氣，再經提製，使成為純度達到 99.9% 以上，才能供為焊接用。實際上製造氧氣時之副產品，就可得到氫氣。

表 1-2 空氣成分與沸點

※昇華點

氣體成分	記 號	分 子 量	容積百分比	沸點 (°C)
氮	N ₂	28.01	78.03	- 195.8
氧	O ₂	32.00	20.99	- 183.0
氫	A	39.94	0.93	- 185.7
二氧化碳	CO ₂	44.01	0.03	- 78.5※

氫氣焊接用之氣體，不只是用氫氣，也有用氮氣，所以嚴格說（理論上），惰性氣體電弧焊接法，以 Inert Gas Arc Welding 來稱呼比較正確。但也有很多人都稱呼氫氣電弧焊接，本書的書名惰性氣體焊接法名稱來訂定。以下對於氫氣焊接是包含焊機氫氣焊接，之焊機書不作特別分開說明。

二氧化碳氣體焊接法所用隔離氣體是用 CO₂ 氣體，這種氣體，當產生電弧，在高溫電弧空間裡是成為一種活性氣體，它將會分解成為 CO 與 O，氧化性極強，對於機器與氫氣焊接的場合，相似點相當多，但電弧現象以及熔接冶金面就有些不一樣，一般 CO₂ 焊接和氫焊 (Inert Gas Arc Welding) 因此就有點區別。

氫焊分有非消耗電極式 (TiG) 焊接 (Tungsten Inert Gas Arc Welding) 和消耗電極式 (MiG) 焊接 (Metal Inert Gas Arc Welding) 之區別。

TiG 焊接法，是以氫氣做為保護氣體，並以鎢棒做為電極，在母材之間產生電弧，使母材熔融接合。

鎢棒在金屬中可說融點最高者，大約在 3370°C，在高溫的電弧裡會稍微熔融，但不會消耗。所以電極是屬於非消耗性，但施焊時接合部空隙（開槽）大時，將要填加焊條 (filler wire)，填補加入接合部。

MiG 焊接法是在氫氣內以與母材同材質之細小焊線 (wire) 做電極，在母材之間產生電弧。焊接時焊線電極是從產生電弧端熔融繼續伸出，沿著母材接合部空隙移動填加進入空隙。

氫焊有二種作業程序：

(1) 線材電極的輸送作業。

(2) 熔融進行中，用電極沿焊接線移動作業。

這二種作業以手來操作，進行手焊接，在第一種的作業裡用機械（自動的）

帶動就叫爲半自動熔接，由第一種與第二種的作業用機械（自動的）帶動就叫做全自動熔接。

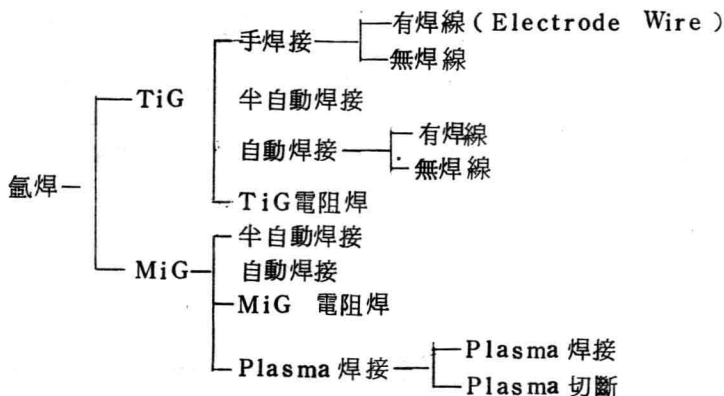
氬焊的分類由表 1.3 可清晰分析出來。MiG 熔接的電極熔融消耗量（ gr/min ）與被覆焊條是沒有什麼差別，只是它以細小直徑的焊線施焊，所以長度方面，熔融消耗速度（ cm/min ）是非常高，這種速度若以手來作業填加，絕對不可能。表 1.3 MiG 焊接以手來施焊是沒有的。

還有 Plasma-arc Welding（超弧焊接）以及切斷，用氬焊來代替是有問題的，但他的機器動作、原理與 TiG 焊接方法，相似點很多，所以本書也一併合在一起說明。

1-3 氬焊之特徵

氬焊焊接法，與其他的電弧焊接法之區別如下：

表 1.3 氬焊的種類



- (1) 構造、建築所用之材料，要得高品質之熔接熔質，可以以它來施焊。現在氬焊對任何金屬都可應用。

鋁及鋁合金、鎂及鎂合金、銅及黃銅、青銅、磷青銅、鋁青銅、矽青銅、銅合金、鎳及鎳合金、鎳鉻合金、鈦、鈦合金、碳素鋼及不銹鋼、矽素鋼、鉬鋼、合金鋼、鑄鐵等都可應用。

- (2) TiG 焊接時，電極金屬在母材表面運棒時，沒有熔珠（spatter）飛噴現象。還有電弧比較單純化，也易於產生電弧。

致於 MiG 焊接的時候，電極金屬（焊線）在母材上運行時，每秒產生有數十或數百個粒的（spray transfer）方式運行與短絡電弧的產生，每秒有數十或數百個規則的反復使用，在短絡時電極金屬在母材側

運行，形成短絡移行形 (dip transfer)，這二種形式之運行，多少會發生熔珠飛噴，但被覆劑焊條在這場合，這種情形就會更嚴重。

- (3) TiG 焊接中，在小電流使用時，板厚非常薄時也可以施焊，另一方面 MiG 焊接中，700 A 程度之大電流時，厚板可以一層把它焊接完成。
- (4) 鋁在施焊之前，鋁板表面若有一層氧化物存在時，必須把氧化物除去，其氧化物為 (Al_2O_3)。這氧化物之融點相當高約 $2050^{\circ}C$ ，鋁之融點 $660^{\circ}C$ ，所以氧化物必須除去，若以氣焊來施工，不能不用藥劑來清除。但這些藥劑之腐蝕性非常強，焊接完了以後，必須完全的把它除去。還有因接合的形狀，有的很容易除去，但有的就不容易了。以氬焊時，當母材在陰極的場合裡，由於電弧遇到母材表面之金屬氧化膜而起清除作用 (clearing action)，自然可將氧化膜熔去而除掉。以上這些優點是它所具之特長，但它的第一大缺點就是易產生氣孔。

其他之缺點如下：

- (1) 對於母材表面污染情形：TiG 焊接法是很敏感。不能得到好的結果反而有害，主要原因是容易產生氣孔。MiG 與 TiG 兩種方法沒有什麼不同， CO_2 焊接就比較少有這種傾向。
- (2) MiG 焊接比 CO_2 焊接之溶入深度差，熔接速度比 CO_2 焊接快。
- (3) 電弧不能受強風吹。這裡是以被覆電弧焊接及潛弧焊接法互相比較而言， CO_2 焊接都具備有同樣之條件。一般對風的問題來說，在屋內作業是沒有什麼問題，在屋外半自動 CO_2 焊接的作業且受限制，作業領域非常廣泛。但 MiG 就比 CO_2 焊接差。

現在又以焊接軟鋼來作例子，MiG 焊接法不是 CO_2 焊接的對敵。但是 MiG 焊接法比 CO_2 焊接法好，是沒有溶珠飛噴現象，電弧安定及熔接條件多，不易變質，另一特徵「溶接作業無人化」「自動化」。這是它所具比較重要之特性，也是焊接學上所被重視。對於氣體費用問題，最近由於工資之提升，所以必須考慮如何減低緩在這個傾向，今後對氬氣及二氧化碳氣體之應用尺度會非常廣泛，所以對這些氣體之生產方法與數量應予以提高。

第二章 TiG 焊接之基本要素

圖 2-1 是 TiG 焊接之基本構造圖，使用電源可採用直流電源或是交流電源。當使用直流電源時，鎢棒電極（Tungsten electrode）可在於負極（DC. SP）或是反相的在於正極（DC. RP），依其用途的不同分別裝置使用。

TiG 電弧是具有一獨特性（unique），不只具有實用性，而且對電弧之現象研究者來講，是探研電弧最好最適合之助手。其所使用之電極是一種非消耗性，沒有金屬移行現象，並配合惰性氣體作為保護罩氣，其電弧現象非常單純，而再現性又很高，所以電弧現象雖是簡單形狀（model），但真正能表現的是非常複雜。

本書對於 TiG 電弧現象，以實際應用上在最小限度需要了解，作要點的（直流或交流）解說外，詳細部份可參考後面所登錄之參考文獻。



圖 2-1 TiG 焊接之基本構造

2-1 電弧的基本式樣

一般電弧之電壓分佈如圖 2-2。

圖內所表示，陽極壓降、電弧柱壓降及陰極壓降之對應部分。亦就是陽極壓降、電弧柱壓降部及陰極壓降部的稱呼。

電弧電壓 V_a 是上面所述幾項電壓降下的總和

$$V_a = V_A + V_P + V_K \quad (2.1)$$

電弧柱壓降為 V_P ，是在電弧柱電位斜度幾乎一定時，與電弧長 L_a 成比例，（陽極及陰極壓降部與電弧長度 L_a 之比幾乎看不出）。另一方面陽極及陰極壓降 V_A ， V_K 和電弧長幾乎沒有什麼關係，如（2.1）式

$$V_a = (\text{一定電壓}) + k L_a \quad (2.2)$$

（ k ：電位傾度）

TiG 電弧內 V_a 與 L_a 的關係如圖 2.3 所示，電弧柱的空間大部分被電弧所佔，故稱呼為 arc plasma。從 5000°K 到數萬度的高溫度，並有強烈的

光發出。

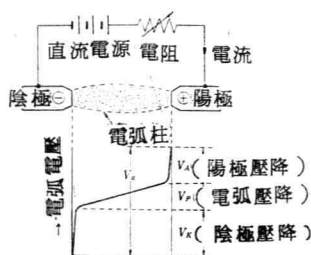


圖 2-2 電弧電位分佈

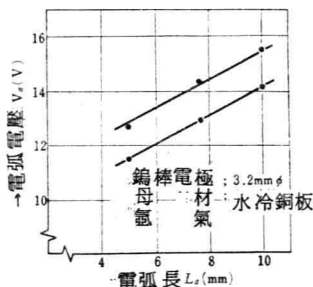


圖 2-3 TiG電弧之電弧長 (L_a) 電壓 (V_a) 特性

在電弧柱內，氣體粒子的一部份是陽離子與電子離子，在常溫時氣體且有特異之導電性。特別具有 plasma 的特徵，其正、負電荷粒子幾乎有同數存在，所以在這電氣裡成為中性狀態，但在電流主體裡，電子很容易向低電位流動，（換言之，這是電流流動之原因）從片面講，電弧是像一種金屬導體的性質一樣。

電子和陽離子同數存在時，電流的主體大部份是以電子為主，因電子與陽離子相比時，電子比陽離子輕的非常多，在同一電場裡電子移動之速度非常快，結果電流內有 99% 以上為電子流，而剩餘的才為陽離子之流動量。

高速移動電子所形成的運動能，是因高溫而形成，因此高溫會產生熱電離，這就上面所說之電離原因。

在此把電弧柱與電子運動能做一般的考察比較。電弧柱的電子是電壓與電流的乘積，除了電力之外沒有什麼，這裡所說的熱能量是因電子的運動而產生，這個熱向外周散發掉，而使達於平衡。

上面所說，電弧柱的電位傾度一定時，電壓與弧長成比例。也可說與向外散熱的長度成比例，這些現象在下節有一部分，說明電弧的電壓電流特性時，會有很好的解說。

再之，陽極及陰極壓降部的長度是在 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ cm 之短短的領域間，它的內部現象很複雜很難了解，但對電弧特性影響很大。

陽極壓降部與電弧柱不一樣，不像電氣的中性，有負極空間電荷存在，電弧柱輸出電子，是從陽極壓降之空間電荷突入陽極。在這時有高速之電子突入與中性粒子衝突電離，此為電弧柱送入陽離子之供給來源。

陰極壓降部之現象更複雜，大概與陽極壓降部相反，正的空間電荷，突入電弧之電子在陰極壓部。

電子供給之高溫是由陰極輸出熱電子，電場放射及部份局部高溫電離子

之熱電離所得來。

陰極最大區別，除了熱電子放射以外，又可分為熱陰極及冷陰極。

鎢棒 (tungsten electrode) 融點很高，可耐高溫，通電後電阻加熱效果大，被用於加熱良，可與碳棒 (carbon electrode) 共同代表用於熱陰極用，致於銅、鐵、鋁等金屬，是用來作為冷陰極用。熱陰極比一般陰極壓降 V_K 為低而冷陰極高些。

2-2 TiG 電弧特性

前節對電弧的一般基本構成已經說明了，本節是說明有關於電弧之特性。

2-2-1 電壓、電流特性——加入電量與熱放散之平衡

圖 2-4 所表示在 TiG 電弧裡，

小電流域是屬於負特性，大電流域是屬於正特性，本來電弧就有負特性，這是前節說過之熱平衡，也就是由電弧的輸入電力與散失於外周之外熱損失的平衡來說明。

這裡簡略說明，電弧柱之斷面是半徑之平方，散發外周面積是與半徑比例有關係。

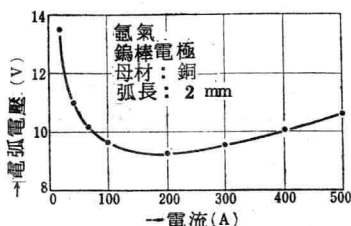


圖 2-4 TiG 電弧的電壓電流特性

另一方面，因為大電流域是屬於正特性，所以會產生電離子 (plasma) 氣流。一般裡，細小之電極和寬、擴母材之間所產生大電流電弧，在這時的電弧柱是由電極向母材廣大，而電流密度在電極端比較高，而至母材表面其密度遂漸降低，因此電磁壓力在電極端也就因此而高，從電極端向母材方面如圖 2-5 所示，有一股氣體氣流產生流出。這股氣流稱為電離子 (plasma) 氣流，這氣流對電弧有冷卻作用，這也就是受熱平衡的影響，也是產生正特性的主要原因。

細小的電極能容大電流之主要條件是因具有電離子 (plasma) 氣流存在，所以由於有這個現象所以電流密度特別高，因此 MiG 焊接，TiG 焊接時都採用以鎢棒 (Tungsten electrode) 之尖端，以產電弧最為適合。

以上這些情形，可以利用電弧的電壓，電流特性輸入電力以及熱的散失平衡來說明。舉例來說，周圍氣體 (gas) 在電弧柱之電位斜度來說，遇到強力氣體 (gas) 冷卻作用時，電位斜度

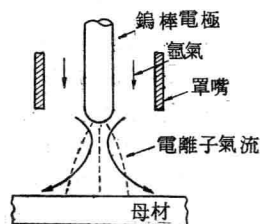


圖 2-5 電離子氣流 (plasma)

會愈高。比喻活動好、冷卻作用優良之氦氣 (Helium gas)，比氬氣 (Argon gas) 電位斜度更高，又如分解吸熱作用之雙原子氣體 (gas) 比單原子氣體 (gas) 之電位斜度更高。

2-2-2 電極和母材之發熱——陽極

電弧柱及陰極輸入電力

電弧之全部發熱量是由總輸入電力來比較，

$$P_a = I \cdot (V_A + V_P + V_K) \quad (2.3)$$

P_a 是電弧柱之電力，電極的輸入電力（陽極及陰極）和。

$$P_a = (\text{陽極輸入電力}) + (\text{電弧柱輸入電力}) + (\text{陰極輸入電力})$$

$$\begin{array}{ccc} | & | & | \\ P_A & I \cdot V_P & P_K \end{array} \quad (2.4)$$

這其中，第一簡單的就是電弧柱輸入電力，前面所述，電弧柱的電壓與電流之積也就是 $I \cdot V_P$ 其他沒什麼。

其次，陽極所產生之熱量 P_A 是以以下之公式來表示。

$$P_A = I \cdot (V_A + V_W + V_T)$$

V_A : 陽極電壓降下

V_W : 陽極材料作業因數

V_T : 電弧柱溫度之等價電壓

這公式的意義是電子突入陽極時將能量分解，也就是說 V_A 是通陽極壓降部之電子加速度之運動能， V_T 是電弧柱之電子運動能相對應，作業因數 V_W 的定義是突入自體所產生之能量。

最後，陰極所加入電力之機構雖然很複雜，不過可以以 (2.4) 式來研究，考慮。

$$P_K = P_a - I V_P - P_A \quad (2.6)$$

由 (2.3) 式和 (2.5) 式代入可得

$$P_K = I \cdot (V_K - V_W - V_T) \quad (2.7)$$

(2.5) 式和 (2.7) 式這兩個公式裡， P_A 及 P_K 之定量無法判斷，在 TiG 電弧的時候，鎢棒 (Tungsten electrode) 可發生熱陰極，使 V_K 降低，所以 $P_A > P_K$ 可以想像得出。

也就是鎢棒 (Tungsten electrode) 在陽極時 (RP) 陰極 (SP)