

解 說

大韓熔接學會誌
第6卷, 第2號, 1988年 6月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 6, No. 2, Jun., 1988

플라즈마를 이용한 용접 및 절단

나 석 주*

I. 서 론

부분적으로 이온화된 가스로 구성되는 플라즈마는 이제 실험실적인 연구단계를 벗어나서 가공수단으로서의 중요성이 점점 증가하고 있다. 두개의 전극을 어느 정도 분리시켜 놓고 그 사이에 발생하는 방전 현상을 이용해서 생성되는 아아크도 고온의 전자, 이온, 원자 및 분자로 구성된 일종의 플라즈마로서 상당히 높은 전기전도도를 갖고 있다. 따라서 “플라즈마를 이용한 용접 및 절단”에서의 플라즈마란 아아크의 단면적을 수축하여 고밀도의 에너지를 전달하는 특성을 갖는 에너지원으로서의 의미를 내포하고 있다. 이때 아아크의 수축은 아아크가 전극에서 모재로 이동할 때 reducing nozzle을 통과하게 함으로서 이루어진다.

플라즈마는 높은 아아크의 안정성과 고밀도 에너지를 전달하는 특성을 갖기 때문에 산소용접 및 절단, SMAW, GMAW, GTAW, SAW 등의 재래식 열가공법에 비해서 부품의 정밀도, 가공속도면에서 유리하고 알루미늄과 스테인레스강 등 특수금속의 가공에도 효과적으로 적용될 수 있다. 초기에는 주로 500A 정도의 용량을 갖는 대형 자동 가공기가 주로 공급되어 왔으나 현재는 0.1A 정도의 낮은 용량의 수동장치도 개발되고 있다.

II. 플라즈마 아아크 용접

1. 작동원리

플라즈마 아아크 용접(Plasma Arc Welding: PAW)

은 gas tungsten arc welding(GTAW)의 특수한 형태라고 할 수 있다. PAW에서는 수축노즐(constriction nozzle)을 사용하기 때문에 GTAW에 비해서 안정되고 에너지 밀도가 높으며, 농축된 아아크가 생성된다. Fig. 1. 재래식의 GTAW에서는 아아크가 약한 자장에 의해서 분산되어 그 단면적이 커지게 되나 플라즈마 제트는 비교적 stiff하기 때문에 원하는 방향으로 곧게 진행하며 자장에 의한 영향도 더 적게 받는다. 이때 플라즈마가스로서 공급되는 Ar은 아아크를 통과하면서 급격하게 가열되고 팽창하며, 수축노즐을 통과하면서 속도가 매우 빠르게 되어 전체 플라즈마의 강도와 속도에 큰 영향을 미친다. 또한 아아크를 수축시키면 전류밀도와 에너지 밀도가 높아지는데, 이 결과 플라즈마 아아크의 온도가 증가하게 된다. Fig. 2.¹⁾ 이 그림의 왼쪽은 GTAW시의 보통 아아크내의 온도분포를 나타내고 오른쪽의 그림은 수축된 플라즈마 아아크의 온도분포를 보여주고 있는데 플라즈마 아아크에서는 많은 부분이 14,000°K 이상의 고온 상태에 있음을 알 수 있다.

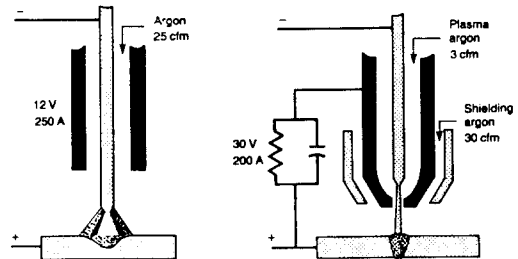


Fig. 1. Arc column shape for GTAW and PAW

* 한국과학기술원 생산공학과

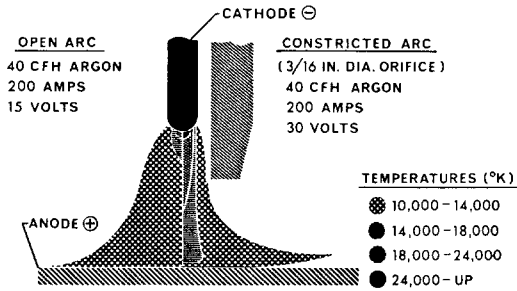


Fig. 2. Effect of arc constriction on temperature in arc.

1) 플라즈마 무우드

플라즈마는 이행형 아아크(transferred arc)와 비이행형 아아크(non-transferred arc)의 두가지 모우드가 있다. Fig. 3.²⁾ 이행형 아아크 모우드에서는 텅그스텐 전극에(-)극을 연결하고 모재에 (+)극을 연결하는 직류 정극성의 특성을 가지며 비이행형 아아크에서는 모재 대신에 수축 노즐에 (+)극을 연결한다. 이행형 아아크 모우드는 모재가 반드시 전기전도성을 가져야 하는데, 이때 열발생은 플라즈마 제트와 모재에서의 양극점(anode spot)에 의해서 이루어지기 때문에 비교적 많은 열이 모재로 전달되어 용입깊이가 깊어지는 등의 장점이 있어서 금속의 절단과 용접에 주로 이용되고 있다. 한편 비이행형 아아크 모우드는 모재로 전달되는 열량이 이행형 아아크에 비해서 작기 때문에 열효율면에서 불리하고 수

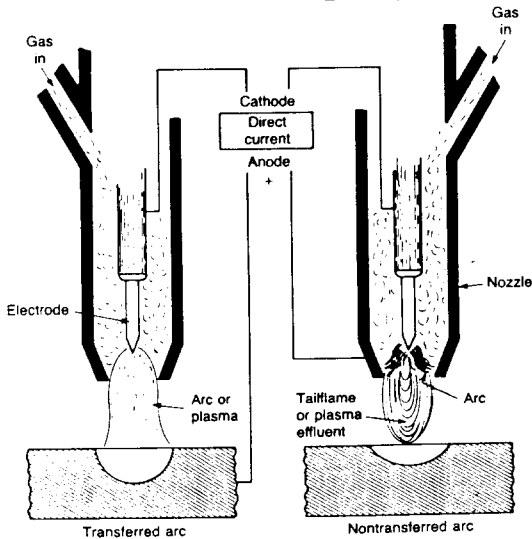


Fig. 3 Plasma mode

축 노즐이 과열될 위험이 있으나, 모재가 전기적으로 비전도체인 경우에도 작동이 가능하기 때문에 비금속의 절단이나 결합등에 이용된다.

Table 1. Current range for PAW

	Microplasma	Intermediate plasma	Conventional plasma
Current. A	0. 2-10	10-100	100-300
Operating technique		Melt-in and Keyhole	Keyhole
Thickness. in(mm)	0. 0008-0.032 (0.02-0.8)	0.020-0.17 (0.4-4.3)	0.10-0.28 (2.5-7.1)

2) 중요 공정변수

플라즈마 아아크는 아아크 에너지의 제어가 어느 정도 가능한데, 이때 아아크의 시준(collimation), 아아크힘, 모재에서의 에너지밀도 등의 특성에 영향을 미치는 주요인자는 다음과 같다.

(1) 플라즈마 전류 : 적용되는 관재의 두께에 따라 세가지로 구분할 수 있다. Table 1. 0.8mm 이하의 매우 얇은 관재의 결합에 이용되는 0.2-10A 범위의 마이크로 플라즈마와 2.5mm 이상의 두꺼운 관재의 결합에 이용되는 100A-300A 범위의 일반적인 플라즈마 이외에도 비교적 최근에는 GTAW가 주로 사용되는 전류 범위인 10-100A 범위의 플라즈마도 개발되어 효과적으로 이용되고 있다.

(2) 노즐의 직경과 형태 : 노즐은 아아크를 수축시키고 플라즈마 제트의 흐름이 노즐의 길이방향으로 일정하게 되도록 유지시켜 주는 작용을 하며, 그 내경은 아아크 직경보다 작아야 한다. 노즐의 직경이 작고 길이가 클수록 아아크의 수축정도는 증가하여 플라즈마의 경로가 균일하게 되고, 온도가 증가하며, 에너지밀도도 높아지는 등 노즐의 설계가 플라즈마 특성에 큰 영향을 끼친다.

(3) 오리피스 가스의 종류와 유속 : 오리피스 가스는 보호가스와 동일한 Ar, Ar+He, Ar+H₂가 일반적이다. 플라즈마 절단공정에는 큰 에너지밀도와 높은 가스속도가 요구되기 때문에 높은 전류, 작은 노즐의 직경과 더불어 오리피스 가스의 높은 유속이 요구되나 플라즈마 용접의 경우에는 오리피스 가스의 속도가 너무 크면 용융금속이 expulsion 될 뿐만 아니라 플라즈마의 제어도 불가능해지기 때문에 낮은 유속의 오리피스 가스가 요구된다.

Ar : 모든 금속의 가공에 사용될 수 있다.

Ar+H₂: 아아크 온도가 높아지고, 열전도가 잘 되기 때문에 가공속도를 증가시킬 수 있으나 Ti이나 Zr과 같은 reactive metal의 용접에는 사용할 수 없다.

Ar+He: 주로 reactive metal의 가공에 사용된다.

He의 비율이 75% 이상이 되면 노즐이 과

Table 2. Typical PAW conditions for butt joints in stainless steel

Thickness mm	Travel speed in	Travel speed mm/s in/min	Current (dcsp) A	Arc voltage V	Nozzle type ^a	Gas flow ^b				Remarks ^d
						Orifice ^c		Shield ^c		
						L/min	h ³ /h	L/min	h ³ /h	
2.4	0.092	10 24	115	30	111M	3	6	17	35	Keyhole. square-groove weld
3.2	0.125	13 30	145	32	111M	5	10	17	35	Keyhole. square-groove weld
4.8	0.187	7 16	165	36	136M	6	13	21	45	Keyhole. square-groove weld
6.4	0.250	6 14	240	38	136M	8	18	24	50	Keyhole. square-groove weld

a. Nozzle type: Number designate in thousandths of inch, "M" designate design.
 b. Gas underbead shielding is required for all welds.
 c. Gas used: 95%Ar-5%H. d. Torch stand off: 4.8mm(3/16 in)

열릴 위험이 있기 때문에 낮은 범위의 부하 조건에서만 사용 가능하다.

Table 2에는 스테인레스강을 PAW 할 때 적용할 수 있는 용접변수들을 나타내었다.

3) 용접 모드

적용된 전류의 크기와 오리피스 가스의 유속에 따라 다음과 같은 두 가지의 용접 모우드가 있다.

(1) 용융용접(Melt-in welding): 재래식의 용융용접 방식과 마찬가지로 플라즈마에 의해서 모재로 전달된 열이 도재의 전도에 의해서 확산되며, 이때 용융온도 이상까지 가열된 부분이 녹아서 용접이 이루어진다. 적용된 용접전류와 오리피스 가스의 유속이 낮은 경우에 나타난다.

(2) Keyhole 용접: 어느 특정한 범위의 두께를 갖는 금속을 플라즈마 아아크 용접할 시에 오리피스 가스의 유속, 용접전류 및 용접속도를 잘 선정하면 모재를 관통하는 구멍(Keyhole) 주위의 좁은 구역만이 용융되면서 용접이 진행되는 Keyhole 용접이 발생할 수 있다. Fig.4. Keyhole은 용융금속이 플라즈마 제트에 의해서 용접 비이드 뒷쪽으로 밀려나는 과정에 의해서 발생되며, 용접 토오치를 진행시키면 플라즈마 제트의 앞에서 모재가 녹게 되고 이 녹은 금속은 플라즈마 제트의 뒷쪽으로 이동하여 그곳에서 응고하는데, 이와 같은 용융금속의 이동시에 불순물이나 가스가 제거되기 때문에 용접결함을 줄일

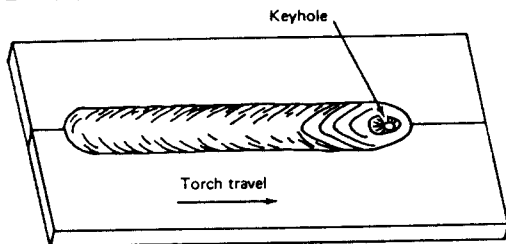


Fig. 4. Keyhole in PAW

수 있다. 이때 Keyhole 주변에 유지되는 용융금속의 크기는 용융금속의 표면장력과 오리피스 가스의 유속 등에 의해서 결정되는데, 플라즈마 절단의 경우에는 오리피스 가스의 유속을 크게 하여 용융금속을 제거시켜야 하는 반면에 용접의 경우에는 용융금속의 표면장력에 의해서 용융금속이 유지되어야 하기 때문에 오리피스 가스의 유속을 낮게 하여 일정하게 유지시켜야 한다.

4) 장치

플라즈마 용접에 사용되는 장치의 계략도를 Fig.5에 나타내었는데 중요한 구성요소는 다음과 같다: (1) 전원, (2) 용접 토오치, (3) 제어판, (4) 오리피스 가스와 보호가스의 공급장치, (5) 토오치 냉각장치, (6) 원격조정장치(전류). 플라즈마 용접공정을 자동화하기 위해서는 이외에도 이송장치, 고주파 아아크 발생장치, 와이어 송급장치들이 필요하다.

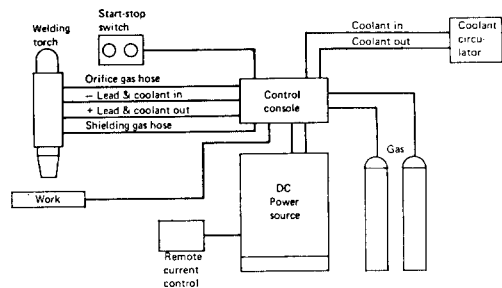


Fig. 5. Typical equipment for PAW

2. 용접부 설계

용접부의 설계는 모재의 두께에 따라 I형, V형, U형의 홈을 준비하여야 한다.

(1) 두께 1.6-6.4mm인 판재: I형 맞대기 용접을 수행하여 Keyhole 용접방식을 적용한다.

(2) 두께가 6.4-25mm인 판재: V형 홈을 준비하

여 용접하며, 루우트면의 크기는 6.4mm까지 하여 처음 패스는 Keyhole 용접법을 적용하고 그 후에는 용융 용접법을 적용한다. Fig.6에는 압연기의 table roller을 제작하기 위해서 맞대기 용접을 수행할 때 적용되는 용접부 설계를 GTAW와 PAW에 대해서 비교한 것인데 PAW의 경우에 루우트면의 크기가 더 크게 설계되어 있다.

(3) 두께가 0.05-0.25mm인 판재: Table 3에서와 같은 edge-flange 용접을 한다.

(4) 두께가 0.25-1.6mm인 판재: I형 맞대기용접을 하되 용융용접법을 적용한다.

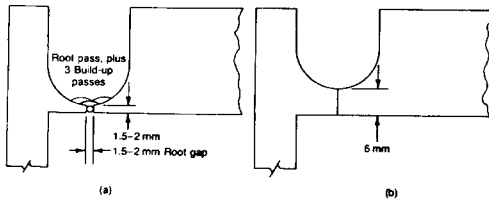
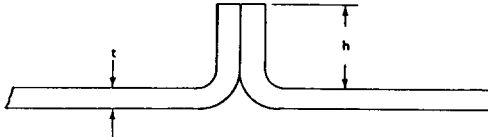


Fig. 6. Comparison of joint sections for GTAW and PAW

Table 3. Flange heights for edge flange welds with PAW



Metal thickness t		Flange height h	
mm	in	mm	in
0.05	0.002	0.25 to 0.51	0.010 to 0.020
0.13	0.005	0.51 to 0.64	0.020 to 0.025
0.25	0.010	0.76 to 1.0	0.030 to 0.040

3. 장점과 단점

PAW는 GTAW와 매우 유사한 특성을 나타내나, 수축된 아아크를 사용하기 때문에 GTAW에 비해서 다음과 같은 장점을 갖는다.

(1) 아아크의 방향성과 stiffness가 향상되기 때문에 모재로의 열유입의 제어가 용이하다.

(2) 아아크의 길이가 크기 때문에 큰 아아크 길이의 변화가 허용되며, 아아크 길이가 변하여도 용융금속의 양에는 큰 차이가 없어서 균일한 용접부를 얻을 수 있다.

(3) Keyhole 용접법을 사용하면 용입깊이를 제어할 수 있고 I형 용접부를 사용하기 때문에 용접준비가 간략해진다.

(4) 용접부의 mismatch나 poor joint fit-up에 덜 민감하다.

(5) 고밀도 에너지를 전달하기 때문에 높은 용접속도를 얻을 수 있다.

한편 GTAW에 비해서 PAW의 단점은 다음과 같다.

(1) 장비의 구입 및 유지, 보수비용이 많다.

(2) 플라즈마 아아크 토오치가 커서 모서리 용접 등에 불리하다.

(3) Keyhole 용접시 undercut이 발생하기 쉽다.

(4) Keyhole 용접과 용융용접을 다 사용해야 하는 다중용접시 용접변수의 변화가 크다.

3m 직경의 rocket motor case (D6AC)의 제작에 PAW와 GTAW를 적용하였을 때 소요되는 용접시간, 총 작업시간 및 사용된 재료의 양을 Table 4에 비교하였는데, PAW법을 사용하면 GTAW법에 비해서 용접시간이 약 1/2배, 총 작업시간이 약 1/3배로 줄어들고 용가재, 불활성 기체도 상당히 적게 소요됨을 알 수 있다.

4. 재료와 적용예

PAW는 여러 재료의 결합에 적용되어 왔으며 용

Table 4. Comparison of PAW vs. GTAW for 120-in-D Rocket Motor Case

Operations	Cycle time		Worker-hours and consumable materials		
	GTA	Plasma arc	Personnel	GTA	Plasma arc
Preheat. h	2.0	2.0	Electrician	17.5	9.0
Fit-up inspection. h	1.0	1.0	Inspector	1.0	1.0
Weld procedure inspection. h	1.0	1.0	Welding engineer	12.0	3.5
Weld. h	7.0	1.5	Welders(2)	24.0	7.0
Interpass cleanup. h	4.0	1.0	Fitters(2)	22.0	5.0
Postheat. h	2.5	2.5	Total worker-hours	76.5	25.5
Total cycle time. h	17.5	9.0	Total filler metal lb(kg)	34(15)	14(6)
			Total inert gas h ³ /h(L/min)	560(264)	325(153)

접부의 특성은 GTAW 등 다른 용접법에 의한 것과 유사한데, 그 대표적인 적용금속의 예들을 다음에 기술하였다.

- (1) 알루미늄과 그 합금
- (2) 니켈과 그 합금
- (3) 강(steels)
- (4) 동과 그 합금
- (5) 티타늄과 그 합금

GTAW법을 사용하여 용접하는 부분은 원칙적으로 모두 PAW법을 적용할 수 있는데 지금까지 PAW법을 적용하여 제작되어온 구조물들의 대표적인 예들은 다음과 같다.

- (1) Rocket motor case
- (2) Relay housing
- (3) Titanium tee section
- (4) Stainless steel tubes
- (5) Thin-wall items such as electronic equipment, cans, bellows
- (6) Vacuum tubes, Thermocouple joining
- (7) Jet engine repair
- (8) Supersonic-aircraft stiffened panels
- (9) Office furniture, Heat-exchanger tubes, cryogenic vessels
- (10) Titanium cylindrical vessels

III. PAW와 관련된 공정

플라즈마 아아크를 열원으로 하고 외부에서 filler wire를 공급하거나 혹은 공급하지 않고서 용접구조물을 제작하는 일반적인 플라즈마 용접법외에도 다른 공정방법들이 플라즈마 아아크를 이용하여 개발되어 왔다.

1. 플라즈마 GMAW

이 공정은 와이어의 끝부분이 플라즈마 내에 들어가는 GMAW법이다. Fig. 7. 비소모성 전극과 모재 사이에 플라즈마가 발생하고, 수냉되는 동 노즐이 있어서 플라즈마를 와이어 주위에 유도한다. 와이어가 공급되어 이미 형성된 플라즈마 속으로 들어가는 순간에 와이어와 모재사이에 전류가 흐르기 시작하기 때문에 아아크를 발생시키기 위해서 단락(short-circuiting)을 시켜야 할 필요가 없어서 스파터가 전혀 발생하지 않는다. 플라즈마 GMAW법에는 이 외에도 동 노즐을 비소모성 전극으로 사용하는 방법과

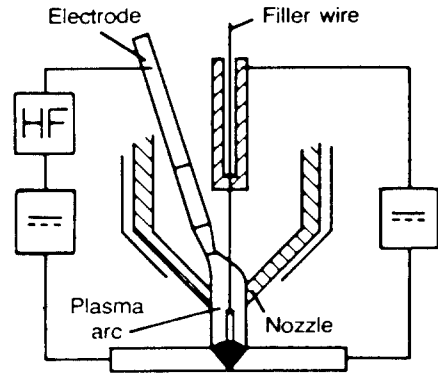


Fig. 7. Schematic diagram of a plasma-GMAW

전극봉과 동 노즐을 동시에 비소모성 전극으로 사용하는 방법이 있다. 동 노즐을 플라즈마 전극으로 사용하는 경우에는 플라즈마 발생시 스파터가 발생하는 단점이 있으나 고주파, 고전압 발생장치가 필요 없으므로 장치가 간단하다는 장점이 있고, 전극봉과 동 노즐을 동시에 비소모성 전극으로 사용하면 많은 열을 전달하기 때문에 열전도도가 높은 재료의 용접에 유익하게 사용된다.

2. 플라즈마 육성용접(overlay welding)

플라즈마 용접기에 적당한 크기를 갖는 분말형태의 코발트, 니켈 등을 공급하여 내부식등의 특수한 목적을 갖는 층을 형성하기 위한 공정이다. Fig. 8.의 육성용 분말은 플라즈마 제트에 의해서 가속되어 모재의 표면에 고속으로 충돌하게 되는데, 운동중에 고온의 플라즈마로부터 열을 전달받아 액체상태로 되며 모재의 표면도 플라즈마 아아크에 의해서 부분적으로 용융되어 용접이 이루어진다.

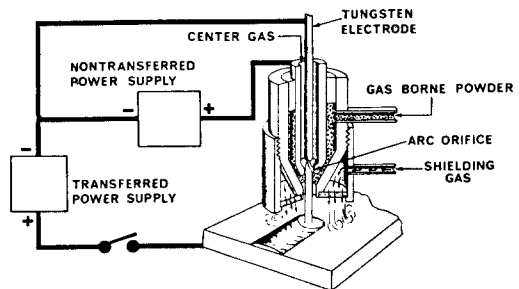


Fig. 8. Schematic diagram of plasma powder overlay welding

3. 플라즈마 열선 육성용접(Hot wire overlay welding)

이 공정에서는 플라즈마 토오치가 왕복운동하면서 모재의 표면을 녹이고, 외부에서 미리 가열된 두 개의 와이어(hot wire)가 용융부에 공급되어서 육성용접을 행한다. Fig. 9. 와이어는 전기저항에 의해서 거의 용융온도까지 가열되고 플라즈마 토오치와 함께 운동하면서 용융부에서 용융잠열 등과 같은 열들을 공급받아 녹기 때문에, 모재로 전달되는 열량을 감소시키는 효과를 가져온다. 와이어를 가열하는 열원이 플라즈마 열원과 분리되어 있어서 예열효과를 변화시킬 수 있으므로 % didution을 5%~70%의 넓은 범위에 걸쳐서 조정 가능하며, 육성층의 두께도 3-7mm 사이에서 변화시킬 수 있어서 여러가지 목적에 적합하게 사용할 수 있다.

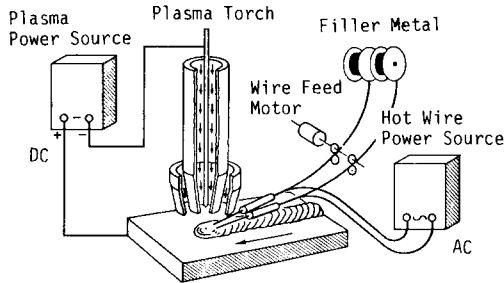


Fig. 9. Schematic diagram of plasma hot-wire overlay welding

4. 플라즈마 스프레이

비이행형 아아크를 이용하여 공급된 분말을 가열시키며, 압축가스에 의해서 가속된 분말이 모재의 표면에 도달하여 표면층을 생성시키는 공정으로서 육성용접법과 비슷하나 모재가 플라즈마에 의해서 녹지 않는다는 점이 다르다. 따라서 금속뿐만 아니라 세라믹 등 비금속의 피복에도 널리 이용되며 화염 스프레이와 비교하여 용융온도가 높은 물질의 피복 등에 매우 효과적이다. 장치의 고가 및 모재의 파열로 인한 문제점 등에 의해서 사용의 제한을 받는다.

IV. 플라즈마 아아크 절단(PAC)

플라즈마 아아크 절단(plasma arc cutting)은 1950년대에 개발된 절단방법으로서, 수축된 플라즈마 아아크의 열로서 모재의 극부면적을 녹이고 높은 속도의 가스분사로서 용융된 금속을 제거하는 공정이다.

플라즈마 절단을 위한 토오치는 기본적으로 용접 때와 유사하나 용접시에는 낮은 속도의 오리피스 가스가 공급되어 모재와 용가재를 녹이는 반면에 절단시에는 고속의 플라즈마 제트가 공급되어서 모재를 녹임과 동시에 제거하는 작용을 한다. 그 동작원리는 고주파를 이용하여 우선 노즐과 전극봉 사이에 파이로트 아아크를 발생시키고, 이 파이로트 아아크는 노즐내를 흐르는 오리피스 가스를 가열하여 이온화된 기체를 만들며, 이때 이 가스는 노즐을 통과하면서 수축되어 전극봉과 모재 사이에 전도체로서 존재하여 고밀도, 고온, 고열의 플라즈마 아아크를 형성한다. Fig. 10.

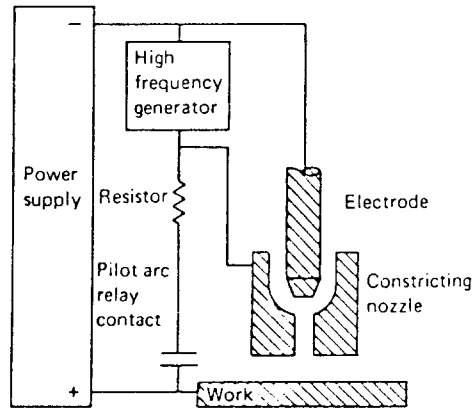


Fig. 10. Basic plasma arc cutting circuitry

PAC는 맨처음 산소절단법에 의해서는 절단이 어려운 비철금속의 절단을 위해서 개발되어 사용되어 왔으나 현재는 산소를 이용하여 강의 절단에도 적용하고 있으며 일반적으로 3-38mm 두께의 판재를 절단하는데 사용되고 있다.

1. 공 정

(1) Dual plasma cutting

플라즈마 아아크 주위에 제2의 가스를 분사시켜 주는 절단법으로서 오리피스 가스로는 일반적으로 N₂를 사용하며 보호가스는 절단할 재료에 의해서 결정된다. 연강의 절단시는 보호가스로서 CO₂ 혹은 압축공기를 사용하고, 스테인레스강은 CO₂, 알루미늄은 Ar + H₂를 사용한다.

(2) Water shield plasma cutting

Dual flow plasma cutting법과 작동원리는 유사하나 보호가스 대신에 물을 사용하여 절단면의 품질과

노즐수명을 향상시킨 방법이다.

(3) Water injection plasma cutting

수축노즐 근처에 물제트를 공급함으로써 플라즈마를 더욱더 수축시키는 방법으로, (Fig. 11), 이 물제트는 플라즈마가 주위의 공기와 혼합되는 것을 막는 역할도 한다. 이 방법은 재래식의 PAC에 비해서 절단속도가 빠르고 절단부의 폭이 좁은 장점이 있으며 분사된 물이 절단부의 모서리를 냉각시켜서 sharp corner를 갖는 절단부를 형성시키고 dross의 발생도 감소한다.

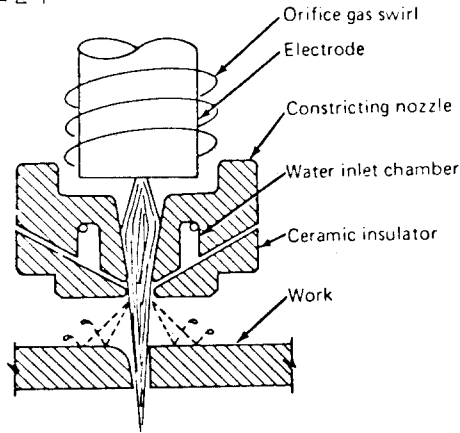


Fig. 11. Water injection plasma arc cutting arrangement

2. 공정변수

어떤 재료를 PAC법으로 절단할 때 고려되어야 할 공정변수들은 다음과 같다.

- (1) Torch design
- (2) Process variation(dual gas flow, water injection)

- (3) Constriction nozzle design and orifice size
- (4) Orifice gases and flow rates
- (5) Torch standoff distance
- (6) Travel speed
- (7) Current
- (8) Power

스테인레스강을 PAC할 때 추천되는 대표적인 공정변수들을 Table 5에 나타내었다. 25mm 두께를 갖는 판재까지는 PAC에 의한 것이 산소절단법에 의한 것보다 5배까지의 절단속도를 낼 수 있어 경제적이거나 두께가 커지면 그 차이가 점점 줄어들게 되어서 37mm 이상의 판재의 절단법을 선정할 때는 장치의 가격, 부하조건, 박판절단에의 적용, 비철금속의 절단 등을 고려하여 절단법을 선정하는 것이 바람직하다.

3. 절단부의 품질

두께 75mm까지의 판재를 PAC하였을 경우의 표면 거칠기는 산소절단의 경우와 비슷하나 판재의 두께가 더 커지게 되면 절단속도가 감소하게 됨으로써 표면이 점점 거칠게 되어 125-180mm의 스테인레스강을 절단하는 데는 PAC법이 산소분말절단법에 비해서 갖는 장점이 거의 없다. PAC에 의한 절단폭은 산소절단에 의한 것의 약 1.5-2배가량 되어 180mm 두께의 스테인레스강을 절단하는데 절단속도를 3mm/s로 하였을 때의 절단폭은 약 28mm에 달하고 있다.

플라즈마 제트는 절단부의 윗부분에서 더 많은 금속을 제거하기 때문에 절단면은 beveled cut의 형상을 나타낸다.⁵⁾ Doss의 양은 상당히 작아서 알루미늄과 스테인레스강의 경우에는 75mm 두께까지는 dross가 거의 없는 절단부를 제작할 수 있고 탄소강의 경우에도 40mm 두께까지는 dross가 없는 절단부를 만들

Table 5. Typical conditions for PAC of stainless steels

Thickness		Speed		Orifice Diam ^a		Current (dcsp). A	Power kW
mm	in	mm/s	in/min	mm	in		
6	1/4	86	200	3.2	1/8	300	60
13	1/2	42	100	3.2	1/8	300	60
25	1	21	50	4.0	5/32	400	80
51	2	9	20	4.8	3/16	500	100
76	3	7	16	4.8	3/16	500	100
102	4	3	8	4.8	3/16	500	100

a. Plasma gas flow rates vary with orifice diameter and gas used from about 47 L/min(100ft³/h) for a 3.2mm(1/8 in.) orifice to about 94L/min(200ft³/h) for a 4.8mm(3/16 in) orifice. The gases used are nitrogen and argon with hydrogen additions from 0 to 35%. The equipment manufacturer should be consulted for each application.

수 있다.

플라즈마 절단시 절단면의 금속은 용융온도구역까지 가열되어 플라즈마 제트에 의해서 제거되기 때문에 용융용접시와 마찬가지로 절단면을 따라 열영향부가 형성되어 재료의 조직이 변화할 뿐만 아니라 인장잔류응력이 발생한다. 이때 절단속도가 높아서 냉각은 급냉의 양상을 나타내어 650°C 구역을 매우 빨리 지나가기 때문에, 크롬탄화물이 입계를 따라서 석출될 가능성이 거의 없어서 스테인레스강 등의 내부식력이 감소하는 문제는 거의 발생하지 않는다. 고탄소강을 절단할때는 냉각속도가 높기 때문에 절단면을 따라 경화가 발생할 수 있으며, 경화의 강도는 모재를 예열하여 냉각속도를 낮추어 줌으로써 감소될 수 있다.

V. 결 론

고밀도 에너지빔의 하나인 플라즈마를 이용한 절단 및 용접법은 알루미늄, 스테인레스강 등 특수 금속의 가공에 적용될 수 있고, 산소용접 및 절단, SMAW, GMAW, GTAW 등의 재래식 열 가공법에 비해서 부품의 정밀도, 가공속도면에서 유리하여 그 사용범위가 점점 넓어지고 있다. LBW, LBC, EBW

등과 마찬가지로 Keyholing 현상을 이용할 수 있어 높은 용입깊이를 나타낼 수 있는 장점이 있으며, 그 성능면에서는 위방법들과 비교해 불매 가공속도, 가공부의 성질 등에서 불리하고, 장치의 저렴, 조작의 간편함 등에서 유리하기 때문에, 경쟁 및 상호보완의 관계를 유지시켜 나갈 것으로 기대된다. 수동가공과 자동가공이 모두 가능하나 부품의 정밀도와 생산성 향상을 위해서는 플라즈마 가공공정에 적합한 자동화 장치의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

1. AWS, "Welding Handbook", 7th ed., Vol. 2, Miami, 1978.
2. M. M. Schwartz, "Metals Joining Manual", McGraw-Hill Book Comp., 1979.
3. G. Aichele, "Schutzgasschweissen", Messer Griesheim.
4. "Metallizing Manual", Metallizing Comp. of America, inc., 1963.
5. 노태정, "플라즈마 아아크 절단에서 절단폭의 해석 및 자동화에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1986.