

研 究 論 文

大韓熔接學會誌
第9卷第4號 1991年12月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol.9, No.4, Dec., 1991

플라즈마 아크를 이용한 판재료의 절단현상에 관한 연구⁺

엄 기 원* · 김 동 조**

A Study on the Plasma Arc Cutting Phenomena of Plate Materials

K.W. Um*, D.J. Kim**

Key Words : Plasma Cutting Method(플라즈마 절단법), Electrode(전극), Anode Voltage(양극전압), Cathode Voltage(음극전압), Positive Column(양광주)

Abstract

The Plasma Arc Cutting Method using high density and high temperature beam is well applicable to the cutting of the nonferrous metal (Al alloy) and stainless steel which are unable to be cut by the use of the oxy-fuel gas. This study focalizes on the cutting phenomena of the plate of 6 (mm) thickness, since the cutting phenomena of thick plates have been rather thoroughly studied.

In this study the cutting groove, adhesive phenomena of dross, surface roughness were measured according to the variation of cutting speed and compared with the case of mild steel plates.

The result showed that the kerf width variation of Al alloy was similar to the case of mild steel, while that of the stainless steel differed from the mild steel. In the adhesive phenomena of dross, 6 (mm) thick plates of Al alloy showed a difference from those of thick plates, but the stainless steel was similar to thick plates.

The surface roughness variation of Al alloy was minimum at 67 cm/min, while that of stainless steel was at 30 cm/min.

+ '91대한용접학회 춘계학술발표 대회발표

* 정회원, 한양대학교 공과대학

** 정회원, 한양대학교 대학원

1. 서론

플라즈마 절단법(plasma cutting method)은 원리적으로 아크용접의 분야에서 광범위하게 사용되고 있는 TIG 용접과 절단법에서 발전하여 1955년 미국에서 처음으로 알루미늄합금의 절단에 적용하였다. 최근에는 알루미늄합금, 스테인레스강, 비철금속등과 같은 가스절단이 불가능한 재료의 고속화 절단과 고정도화 및 대용량화를 위한 필요성에 따라 개선이 진행되고 있다^{1,2)}.

플라즈마 아크절단은 고온 고밀도 에너지 빔 (beam)을 이용하기 때문에 일반 열가공온도에 비해 고온으로 10,000~30,000°C 정도되므로 재료가공시 고품질, 고정밀도, 고속화절단 등의 면에서 플라즈마 아크 절단법이 이용되고 있다³⁾.

알루미늄합금과 스테인레스강의 플라즈마 아크 절단에서는 Ar, Ar/H₂의 혼합가스 그리고 질소가스 등 다양하게 사용하고 있어 각종 재료의 절단현상과 성능연구에 많은 도움이 되고 있다.

연구 논문으로서 1977년 西口公之 등이 플라즈마 절단현상에 관한것이 있다²⁾. 이것은 후판에 대한 절단현상에 대해 연구하였는데 대용량의 절단기를 사용하여 모재에 있어서 극점의 기본적인 거동과 절단홈(kerf)내에서의 극점분포 상황을 관측하고 극점분포역과 절단전면 형상과의 대응성을 고찰하였으며, 극점거동의 기본적인 특성에 입각하여 절단조건에 따른 극점분포역의 변천을 규명하였다. 또한 플라즈마 아크 절단홈에서의 입열형태와 홈안에서의 용융금속 거동과 기본 절단홈 형성기구, 절단홈 생성에 대한 극점분포상태의 영향 등을 연구하였다. 그 결과가 절단홈내에서는 3가지 영역으로 나뉘는데 각 영역은 아크 기둥에너지, 아크 기둥에너지와 극점에너지합, 그리고 고온 플라즈마류의 보유열에 의해 절단이 진행됨을 알아내었고, 이에 따른 절단홈의 형상도 달라짐을 알아내었다⁴⁾. 그러나 이제까지 발표된 연구 논문들은 6mm판에서의 절단형상에 대해서는 언급이 되어있지 않다³⁾.

따라서, 본 연구에서는 소용량의 플라즈마 절단기를 이용하여 西口公之 등이 연구하여 얻은 절단현상이 과연 6mm판에서도 적용이 되는가를 검토하였다. 그래서 우선 플라즈마 아크를 이용하여 절단가공시 그 절단홈의 드로스 생성이 없는 조건에서 윗쪽과 아래쪽의 비가 가장적은 형성현상을 규명하고, 절단속도에 따른

절단면의 형성 및 절단면의 표면거칠기(surface roughness)와 절단폭을 실험에 의해 측정하므로써 모재의 가공시 최적절단조건을 제시하였다.

2. 플라즈마 아크의 발생원리

고주파를 이용하여 우선 노즐(nozzle)과 전극봉(electrode) 사이에 파이롯트 아크(pilot arc)를 발생시키고 이 파이롯트 아크는 노즐내를 흐르는 절단가스를 가열하여 이온화가스를 만든다. 이때 이 가스는 노즐을 통과하면서 수축되어 전극봉과 모재(bass metal) 사이에 전도체로서 계속하여 고밀도 고온 고열의 플라즈마 아크를 발생시킨다⁵⁾. Fig. 1에 이 발생 장치의 개략도가 나타나 있다.

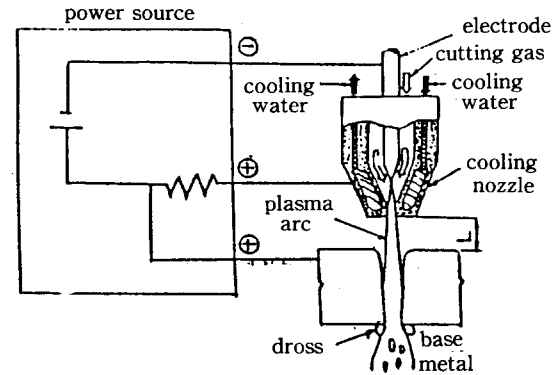


Fig. 1 Shape of the plasma Arc

3. 실험

3.1. 실험장치

본 실험에는 플라즈마 아크 절단장치(Plasma Arc Cutting Machine)와 속도제어장치(Speed Control Unit), 표면거칠기시험기(Experimental Apparatus)를 사용했으며, 절단속도의 변화는 Table 1에 표시되어 있다.

Table 1 Speed scale of speed control unit

Test No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Speed (cm/min)	0.1	2	10	20	30	45	60	85	100	120

3.2. 실험시편

본 실험에 사용된 시편은 알루미늄합금(5052 Al-alloy)과 스테인레스강(SUS 304)으로 각각의 형상과 치수는 Fig. 2에 나타나있다.

또한 각 시편의 화학성분은 Table 2와 Table 3에 나타나있다. 이것은 POSCO에 의뢰하여 조사한 것이다.

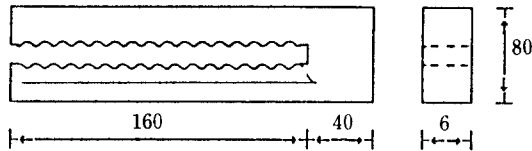


Fig. 2 Shape and dimension of specimen

Table 2 Chemical composition of 5052 Al-alloy

Composition	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
%	0.26	0.41	0.11	0.12	2.70	0.40	0.10

Table 3 Chemical composition of SUS 304

Composition	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
%	0.09	1.02	2.10	0.05	0.03	0.90	19.2

3.3. 실험방법

본 실험에 사용한 PAC(Plasma Arc Cutting) 실험장치는 직류 정극성 축 전극봉이 음극(-)이고 모재가 양극(+)인 절단기로 최대전류가 100A 정도인 소용량의 절단장치이다. 대용량(수백A)의 장치로 판두께 수십mm 이상의 후판(厚板)을 절단하는 과정에서 일어나는 드로스(Dross)와 절단홈의 생성 형태를 6mm판에서도 적용되는가를 비교 검토하기위해 일정규격(200×80×9)의 시험편(알루미늄합금: 5052 Al-Alloy, 스테인레스강: SUS 304)을 절단전류 100A, 전압 120V, 아르곤가스 25l/min, 수소가스 1l/min, 그리고 모재와 노즐거리 6mm로 일정하게 하고 절단하여 성능에 영향을 미치는 절단속도를 10~100 cm/min로 변화시켜 실험하였다. 이와같은 실험을 하기 위해서 속도제어장치를 레일위에 자동으로 이동하게 장치하고 일정직경(1.8mm)의 노즐을 가진 토오치를 통해 절단홈의 생성형태와 드로스의 생성형태를 규명하고, 또한 각 시험편의 절단면의 거칠기를 측정하기 위해서 측정장치인 써어프코더(surfcoder)를 사용

하여 측정거리를 4mm로 하는 표면거칠기를 최대높이(R_{max}) 10점 평균거칠기 및 중심선거칠기평균치 Ra 값을 속도에 따른 표면거칠기변화를 측정한 것을 Fig. 7에 표시하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 드로스(Dross)와 절단홈(Kerf)의

생성형태 비교

본 실험을 통해 속도를 변화시켰을때의 알루미늄 합금과 스테인레스강의 드로스의 생성형태와 절단홈의 형상과 절단홈폭 변화가 Photo. 1, Photo. 2와 같이 나타나며, 또한 각 조건에 따른 변화가 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 드로스의 생성형태는 알루미늄의 경우 저속시에는 드로스가 부착량이 많아지나 A5(67 cm/min)에서 가장 적게 나타났으며 그 이후 부터는 다시 많아지는 경향을 나타내었다. 스테인레스강의 경우는 알루미늄합금 보다 드로스의 부착량이 대체적으로 적게 나타났고 속도 S3(30cm/min)에서 가장 적게 나타났다.

Photo. 1은 알루미늄합금의 절단홈 생성형태와 드로스를 제거한 경우의 절단홈 형상을 나타낸 것으로 속도가 증가할수록 홈이 좁아지는 경향을 나타내었다. 이때의 절단가능 한계속도는 100cm/min임을 알 수 있었다.

Photo. 2는 스테인레스강의 경우로 Photo. 1과 마찬가지로 속도가 증가할수록 홈이 좁아지는 경향을 나타내었다. 이때의 절단가능 한계속도는 45cm/min임을 알 수 있었다. 따라서 이동속도를 변화시켰을때 kerf의 위, 아래폭은 Table 4와 Table 5에 나타났

Table 4 Value of cutting speed and kerf width (5052 Al-Alloy)

No	Cutting Speed (cm/min)	W_t (mm)	W_b (mm)	W_t/W_b (mm/mm)
A1	10	4.3	3.1	1.38
A2	20	4.0	3.0	1.33
A3	30	3.9	2.0	1.95
A4	45	3.85	1.55	2.48
A5	67	3.7	1.35	2.74
A6	85	3.6	1.0	3.60
A7	100	3.5	0.95	3.68

Table 5 Value of cutting speed and kerf width (SUS 304)

No.	Cutting Speed (cm/min)	W_t (mm)	W_b (mm)	W_t/W_b (mm/mm)
S1	10	3.8	3.9	0.97
S2	20	3.7	3.4	1.09
S3	30	3.7	3.2	1.48
S4	40	3.65	1.2	3.04

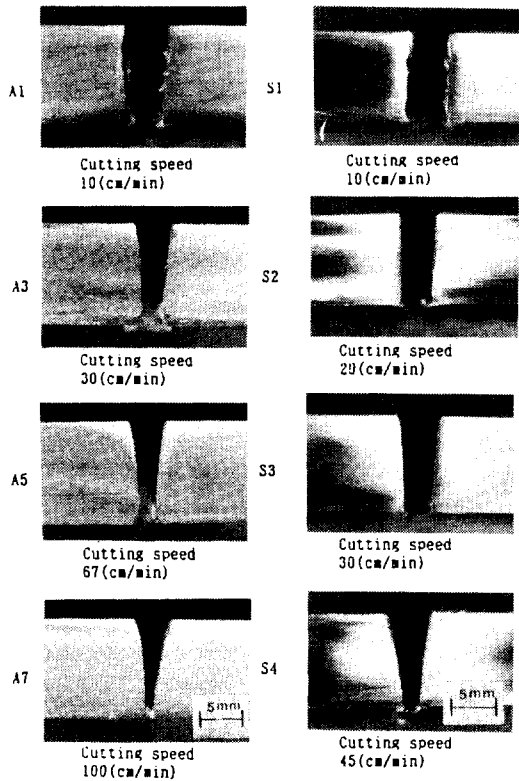


Photo. 1 Shape of cutting groove & kref formation ($t=6\text{mm}$, $Ar=25\text{ l/min}$, $H_2=1\text{ l/min}$, $V=120\text{V}$, $I=100\text{A}$, $L=6\text{mm}$, 5052 Al-alloy)

Photo. 2 Shape of cutting groove & kref formation ($t=6\text{mm}$, $Ar=25\text{ l/min}$, $H_2=1\text{ l/min}$, $V=120\text{V}$, $I=100\text{A}$, $L=6\text{mm}$, Stainless steel)

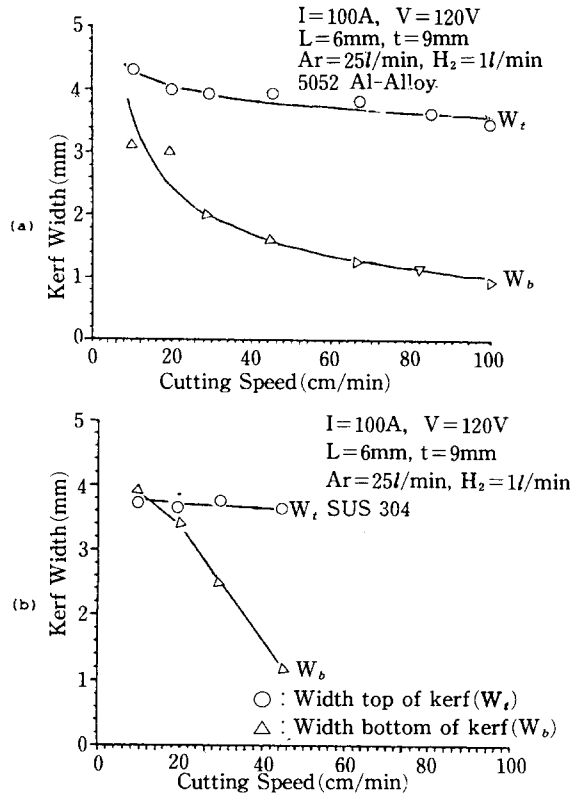


Fig. 3 The Relation of cutting speed and kerf width for 5052 Al-alloy and SUS 304

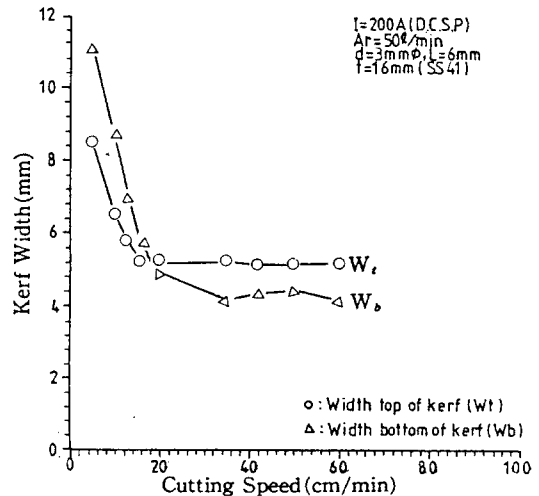


Fig. 4 The Relation of cutting speed and kerf width for Nishiguchi's experimental result of SS41

4.2. 절단속도와 절단홈폭과의 관계

Fig. 3(a)에서 보는바와 같이 알루미늄 합금의 경우 속도가 증가할 수록 절단홈폭이 감소하는 경향이 나타나고 있다, 특히 W_b 의 경우 속도 45cm/min까지는 급격히 변화하다가 그 이후 부터는 완만해짐을 알 수 있다. 이때의 절단가능 한계속도는 100cm/min임을 알 수 있었다. Fig. 3(b)는 스테인레스강의 경우로 절단홈폭의 변화가 알루미늄의 경우보다 심한변화를 나타내었다. W_i 의 변화가 알루미늄의 경우보다 완만하고 거의 변화가 없음을 알 수 있었으며, 이때의 절단가능 한계속도는 45cm/min임을 알 수 있었다. Fig. 4는 西口公之 등이 연강에 대해 실험하여 얻은 결과로서 W_i 의 경우 속도 20cm/min까지는 급격히 감소하

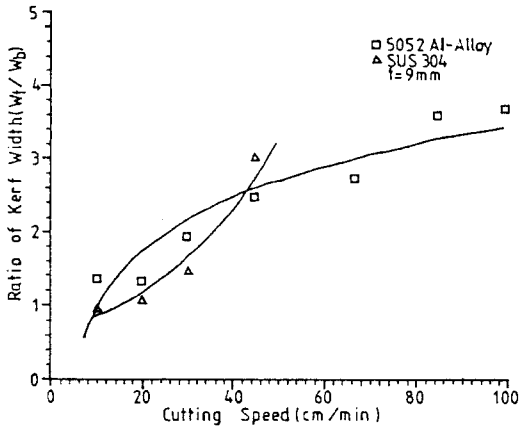


Fig. 5 Comparison of kerf width ratio for 5052 Al-alloy and SUS 304

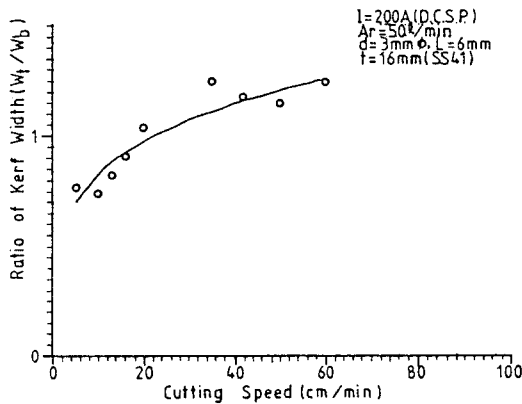


Fig. 6 Kerf width ratio of SS41 by Nishiguchi's experiment

다가 그 이후 부터는 거의 일정하게 나타나고 있고, W_b 의 경우는 16cm/min까지는 급격히 감소하다가 그 이후 부터는 완만해짐을 알 수 있었다. Fig. 5는 5052 Al-Alloy와 SUS 304의 절단홈폭비를 나타낸 것으로 SUS 304의 절단홈폭비가 5052 Al-Alloy보다 기울기가 완만해짐을 알 수 있다. Fig. 6은 西口公之 등이 연강에 대해 실험한 결과로서 속도 20cm/min을 지나면서 기울기가 완만해짐을 알 수 있다.

Fig. 5와 Fig.6을 종합해보면 5052 Al-Alloy와 연강(SS41)의 변화양상이 유사하게 나타났고 SUS 304의 경우 특이하게 변함을 알 수 있다.

4.3. 절단속도와 표면거칠기와의 관계

표면거칠기 측정장치(SE-40D)를 사용하여 알루미늄합금과 스테인레스강의 절단면거칠기를 측정한 결과가 Fig. 7에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 거칠기 값으로 R_a 값을 기준으로 잡아 측정하였는데 R_a 값이 알루미늄의 경우 속도가 10cm/min에서 45cm/min까지는 감소하다가 다시 이 속도가 증가하면 R_a 의 값이 증가하는 경향을 나타내고 있다.

스테인레스강의 경우는 속도 30cm/min을 지나면서 거의 변화가 없게 나타났다. 알루미늄 합금이 R_a 값이 큰것은 재질의 특성과 직류 정극성 실험에서 잘 나타나기 때문으로 생각된다. 직류 역극성을 이용하여 아르곤 절단시 응고선 부근에 형성되는 음극점으로 인하여 청정작용이 생겨 절단면은 매끈하게 된다. 이 현상

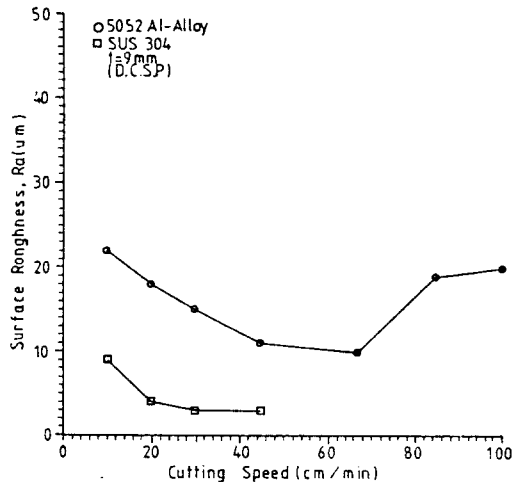


Fig. 7 The relation of cutting speed and cutting surface roughness(R_a)

은 고융점 산화물이 다량으로 생성되는 알루미늄합금의 절단에서 현저히 나타났다.

5. 결 론

플라즈마 아크 절단법 실험에서 발생한 현상을 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 절단속도와 드로스(Dross) 생성형태의 실험결과 山本英幸의 연강실험에서는 절단속도 50cm/min일때 드로스 부착량이 가장적게 나타났고 본알루미늄합금의 실험결과는 전류 100A 전압 120V로 일정하게 유지하고 절단속도 67cm/min일때와 스테인레스강인 경우는 절단속도 30cm/min일때의 드로스 부착량이 가장 적게 나타났다.

2. 절단속도와 절단홈(Kerf)의 생성관계 실험결과 西口公之의 연강실험에서는 절단속도 20cm/min일때 절단홈의 윗폭과 아래폭의 비가 가장적게 나타났고 본알루미늄합금은 절단속도가 20cm/min일때, 스테인레스강의 경우는 절단속도가 10cm/min일때 절단홈의 윗폭과 아래폭비가 가장 적게 나타났으며 알루미늄 절단가능 한계속도는 100cm/min이고 스테인레스 절단가능 한계속도는 45cm/min으로 나타났다.

3. 절단속도와 표면거칠기의 관계 실험결과 山本 英

幸의 연강실험에서는 절단속도 20cm/min일때 R_a 값이 가장적게 나타났고 본 알루미늄 실험에서는 절단속도 67cm/min일때 스테인레스강의 경우 절단속도 30cm/min일때 값이 가장 적은 값으로 나타났다.

Reference

- 1) 西口公之, 黃地尙義, 松山欽一: 플라즈마 아크切斷現象에關する基礎的 研究(第1報), 溶接學會誌, 第41卷, 第號, (1972), pp. 781~791
- 2) 西口公之, 松山欽一: 플라즈마 아크切斷現象에關する基礎的 研究(第2報), 溶接學會誌, 第46卷, (1977), pp. 585~591
- 3) 西口公之, 松山欽一: 플라즈마 아크切斷現象에關する基礎的 研究(第3報), 溶接學會誌, 第46卷, (1977), pp. 617~622
- 4) 西口公之, 松山欽一: 高速切斷法とその實用化, 溶接學會誌, 第43卷, 第號, (1974), pp. 805~817
- 5) 長谷川光雄: 溶接 아크現象, 産報出版社, (1969), pp 38~39
- 6) 山本英幸: 小型エア플라즈마 아크切斷의最近의動向, (1986), pp 361~369