2005년도 추계 학술발표대회 발표논문, 2005년 11월, 경남 산청

플라즈마-MAG 탄뎀 용접에 의한 중후판 맞대기 용접부의 변형 특성에 관한 연구

A study on the deformation characteristic of butt weldment with middle-thickness by plasma-MAG tandem welding

고명훈*, 김인태**, 이영규***, 최규원****, 조상명*****

*창원 기능대 산업설비 자동화과
**부경대학교 대학원 소재프로세스공학과
***(주)파워웰전자산업
****모니텍(주)
*****부경대학교 신소재공학부 소재프로세스공학전공, pnwcho@pknu.ac.kr

1. 서 론

선박이나 강구조물의 중후판 완전용입 맞대기 용접에 있어서 안정된 이면비드 형성 및 용접부의 변형 감소는 매우 중요하다. 현장에서는 중후판 맞대기 이음에 주로 SAW 또는 FCAW 용접을 실시한다. 따라서, backing bar 없이 안정된 이면비드 형성은 매우 어렵고, 용착 단면적 과대로 인한 입열량 증가로 용접 변형은 클 수밖에 없다.

본 연구의 목적은 중후판 Y-그루브 맞대기 용접 이음에 대해 안정된 이면비드 형성 및 용접부의 변형 감소에 있으며 플라즈마-MAG 탄뎀 1pass 용접법을 적용하였다.

우선 플라즈마 키홀 용접을 루트면 4mm와 6mm를 가진 Y-그루브 맞대기 이음의 루트면에 적용시켰다.

플라즈마-MAG 탄뎀 용접에서는 루트면 4mm와 6mm를 가진 Y-그루브 맞대기 이음에 대해서 입열량 및 용착 단면적 변화에 따른 횡 수축량을 비교하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에서는 플라즈마 키홀, MAG 및 플라즈마-MAG 탄뎀 용접 실험에 폭 100 mm ×길이 150mm×두께 12mm 연강으로 된 Y-그루브 맞대기 이음 시험편을 사용 하였다.

2.2 실험방법

Table 1은 플라즈마 키홀 용접을 루트면 4mm와 6mm가진 Y-그루브 맞대기 이음의 루트 패스에 적용시킨 실험 조건이다.

Table 1 The condition for plasma keyhole welding

Power source	Powwel-150 and 300XP
Groove type	Y-groove(root face 4, 6mm)
Welding Current	150, 180A
Welding speed	20cpm
Arc length	6, 8mm
Orifice insert diameter	∅2.4
Orifice gas flow rate	2.0, 1.6L/min(Ar)
Shield gas flow rate	10L/min(Ar-5%H_2)

Fig. 1은 MAG 용접에서 루트면 4mm를 가진 Y-그루브 맞대기 이음에 대해 CTWD 20mm와 40mm를 적용시켜 온도 및 횡 수축량 측정을 위한 실험 모식도이며 Table 2는 그 실험조건이다. 이면의 ①②③은 온도 측정을 위한 열전대 부착 위치이며 표면의 ⒶⒷⒸ는 그 횡 수축량을 측정하기 위한 금속 블록의 위치이고 ⒹⒺⒻ는 이면 의 측정 위치를 나타낸 것이다.

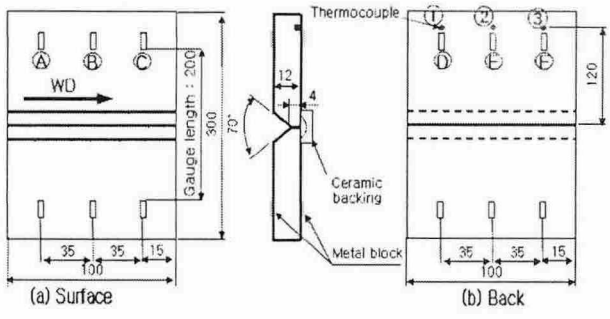


Fig. 1 Schematic of experimental setup

Table 2 The condition for MAG welding

Power source	Fronius VR4000
Wire feed rate	1300cpm, YGW11, ∅1.2
Set current	360A
Set voltage	34V
Welding speed	20cpm
CTWD	20, 40mm
Shield gas flow rate	20L/min(Ar-20%CO_2)

Fig. 2는 플라즈마-MAG 탄뎀 1패스 용접 모식도이다. 루트면 4mm 일때 groove angle 70°, 아크길이 6mm, 토치 피치는 60mm 였으며, 루트면 6mm일때 아크길이 8mm, 토치 피치는 60mm 였으며, Y-groove 맞대기 용접 이음에 대해 선행 토치를 플라즈마 용접으로 하고 후행 토치를 MAG 용접으로 하였다.

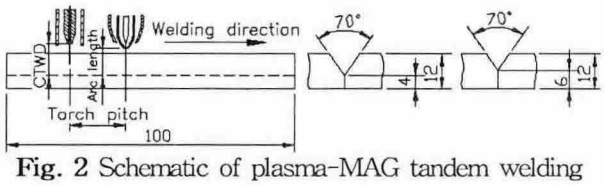


Fig. 2 Schematic of plasma-MAG tandem welding

Table 3은 플라즈마-MAG 탄뎀 용접에서 루트면 4mm와 6mm를 가진 Y-그루브 맞대기 이음에 대한 횡수축량 측정을 위한 실험조건이다.

Table 3 The condition for plasma-MAG tandem welding

Welding method	Plasma welding	MAG welding
Set current	150, 180A	360, 260A
Wire feed rate	-	WFR 1300, 820cpm
Arc length	6, 8mm	Set 34, 28V
Welding speed	20cpm	20cpm
CTWD	-	40mm

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 Y-그루브 플라즈마 키홀 용접 실험 결과

Table 4는 루트면 4mm와 6mm를 가진 Y-그루브의 루트 패스로 플라즈마 키홀 용접을 했을 때의 전류, 전압 파형이다. Table 5는 비드 형상 및 마크로 단면을 나타낸 것이며 weld metal이 루트면 위로 1~2mm 정도 높게 형성되었다.

Table 4 Current and voltage waveform by plasma keyhole welding

Groove	Welding waveform
Y-groove (root face 4mm)	Current : 150A Voltage : 29.1V Arc length : 6mm
Y-groove (root face 6mm)	Current : 180A Voltage : 38.2V Arc length : 8mm

Table 5 Bead appearance and macro section by plasma keyhole welding

Groove	Bead appearance		Macro section
	Surface bead	Back bead	
Y-groove (root face 4mm)	A … A		A-A
Y-groove (root face 6mm)	B … B		B-B

3.2 MAG 용접의 CTWD와 입열량의 관계

Table 6은 MAG 용접에서 CTWD를 변동시켰을 때의 입열량 변화를 나타낸 것이다. CTWD가 증가함에 따라 와이어 Stick out이 길어져서 와이어 저항이 증가하므로 정전압 특성전원에서는 출력 전류가 감소하고 입열량도 감소하게 된다. CTWD 증가에 따라 출력 전류가 낮아짐에도 불구하고 와이어의 저항 발열에 의한 예열 효과 증가 때문에 동일 와이어 송급 속도에서도 와이어가 잘 용융되며 설정 360A의 경우 출력전류 260A에서도 단락 시간비 0.02%인 스프레이 이행이 가능했다고 판단된다. 플라즈마 -MAG 탄뎀 1패스 Y-그루브 용접에서 CTWD를 20 → 40mm로 증가시키면 입열량은 40 → 29KJ/cm로 감소하여 저입열, 고용착 용접이 가능하다.

Table 7은 루트면 4mm를 가진 Y-그루브 맞대기 이음에 CTWD 20과 40mm로 MAG 용접을 한 후 상온에서 측정한 횡 수축량 데이터이며, CTWD 20mm로 용접한 경우에 횡 수축량이 더 컸다.

Table 6 Current and heat input as CTWD increases in MAG welding(bead on plate, Set 360A, 20cpm)

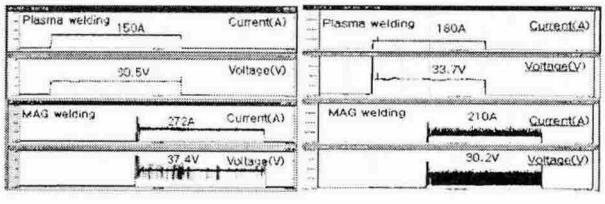
CTWD	출력 전류	출력 전압	입열량	단락 시간비	저항 변동계수
15mm	389A	38.3V	45KJ/cm	0.00%	0.06
20mm	350A	37.9V	40KJ/cm	0.00%	0.04
25mm	320A	37.6V	36KJ/cm	0.01%	0.03
30mm	291A	37.3V	33KJ/cm	0.01%	0.03
35mm	276A	37.1V	31KJ/cm	0.01%	0.03
40mm	260A	37.0V	29KJ/cm	0.02%	0.04
45mm	247A	36.8V	27KJ/cm	0.02%	0.08

Table 7 Shrinkage after only MAG welding at CTWD 20 and 40mm (unit : mm)

CTWD	Position	Block A	Block B	Block C	Average shrinkage	Total average shrinkage
		D	E	F		
20mm	Surface	-0.65	-0.76	-0.88	-0.76	-0.505
	Back	-0.14	-0.24	-0.36	-0.25	
40mm	Surface	-0.99	-0.84	-0.72	-0.85	-0.435
	Back	-0.16	-0.02	0.11	-0.02	

3.3 플라즈마-MAG 탄뎀 용접의 변형 실험 결과

Fig. 3은 루트면 4mm와 6mm인 Y-그루브의 플라즈마-MAG 탄뎀 용접에서 후행 MAG CTWD를 40mm로 용접 했을 때의 전류, 전압 파형이다. Table 8은 루트면 4mm와 6mm의 플라즈마-MAG 탄뎀 용접에 대한 횡 수축 데이터이다. 백킹 바 없이 안정적인 이면비드가 형성된 CTWD 40mm에서, 루트면 6mm인 Y-그루브 플라즈마-MAG 탄뎀 용접의 전체 평균 수축량은 루트면 4mm에 비해 훨씬 작았다. 이것은 선행 플라즈마 키홀 용접에 의해 형성된 용접부의 목두께가 루트면 4mm인 경우보다 루트면 6mm인 경우가 약 2mm 정도 커졌고, 후행 MAG 용접부의 용착 단면적 감소로 인한 입열량 감소 때문이라고 판단된다. Table 9는 플라즈마-MAG 탄뎀 용접 후 비드 형상 및 마크로 단면을 나타낸 것이다.



(a) Y-groove root face 4mm (b) Y-groove root face 6mm

Fig. 3 Current and voltage waveform by plasma -MAG tandem welding with root face 4 and 6mm

Table 8 Shrinkage after pasma-MAG tandem welding by CTWD 40mm with root face 4 and 6mm (unit : mm)

Root face	Position	Block A	Block B	Block C	Average shrinkage	Total average shrinkage
		D	E	F		
4mm	Surface	-0.92	-1.15	-1.36	-1.14	-0.765
	Back	-0.17	-0.39	-0.60	-0.39	
6mm	Surface	-0.60	-0.69	-0.78	-0.69	-0.435
	Back	-0.07	-0.18	-0.28	-0.18	

Table 9 Bead appearance and macro section in plasma-MAG tandem welding

Root face	CTWD	Bead appearance	Macro section
4mm	20mm with backing	Excessive back bead	A-A
	40mm	Sound bead	B-B
6mm	40mm	Sound bead	C-C

4. 결론

1) 루트면 6mm인 Y-그루브 플라즈마-MAG 탄뎀 용접의 전체 평균 수축량은 루트면 4mm에 비해 훨씬 작았다. 이것은 선행 플라즈마 키홀 용접에 의해 형성된 용접부의 목두께가 루트면 4mm인 경우보다 루트면 6mm인 경우가 약 2mm 정도 커졌고, 후행 MAG 용접부의 용착 단면적 감소로 인한 입열량 감소 때문이라고 판단된다.

2) 후행 토치로서 MAG 용접토치의 CTWD를 증가시켜 입열량을 28%정도 감소시키면서 용착량을 크게하는 방법을 개발하였으며, 설정 360A의 경우 CTWD 증가에 따라 출력 전류가 260A로 낮아짐에도 불구하고 와이어 저항 발열에 의한 예열 효과 증가 때문에 스프레이 이행이 가능했다고 판단된다.