

Al 5052, 6061 합금에 대한 플라즈마-GMA 용접공정특성 평가

김철희^{*,†} · 안영남^{*} · 최진강^{**} · 이세헌^{***}

^{*}한국생산기술연구원 용접·접합연구그룹

^{**}현대로템 용접기술센터

^{***}한양대학교 기계공학과

Process Evaluation of Plasma-GMA Welding for Al 5052 and 6061 Alloy

Cheolhee Kim^{*,†}, Young-Nam Ahn^{*}, Jin-Kang Choi^{**} and Sehun Rhee^{***}

^{*}Advanced Welding & Joining R&D Group, KITECH Incheon 406-840, Korea

^{**}Welding Technology Center, Hyundai Rotem, Changweon 641-808, Korea

^{***}School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

[†]Corresponding author : chkim@kitech.re.kr

(Received July 1, 2010 ; Revised July 12, 2010 ; Accepted August 9, 2010)

Abstract

In this study, the bead-on-plate welding were conducted by using GMA welding and plasma-GMA welding on Al 5052 and, Al 6061 plates. For these processes, the maximum welding speeds for full penetration were compared, and various weld qualities such as bead appearance, cross-section, cracks and porosities were examined. Faster welding speed, cleaner bead surface and more stable drop transfer could be achieved by plasma-GMA welding, compared with GMA welding.

Key Words : Plasma-GMA welding, Al alloy, Welding characteristics

1. 서 론

플라즈마-GMA(Gas Metal Arc) 용접은 1970년대에 W. G Essers에 의해 제안되었다^{1,2)}. 플라즈마-GMA용접에서는 GMA를 둘러싸는 동축 플라즈마 아크를 발생시켜 2가지 아크가 용접부에 모두 인가되는 방식의 비소모성 전극이나 노즐에서 플라즈마 아크를 발생시킨다. 비소모성 전극을 이용하는 경우에는 비동축 전극을 토치 내부에 설치하는 방식으로 고주파 아크스타트방식을 이용하며, 노즐에서 아크를 발생시키는 “노즐 플라즈마-GMA” 방식에서는 아크 스타트 시 용접와이어가 모재에서 단락된 후 아크가 발생하면서 플라즈마 아크가 기동된다.

일반적인 GMA 단독용접에서는 와이어 송급속도와 용접전류가 비례하므로 용착량과 입열량이 비례하는 특성을 가지고 있으나 플라즈마-GMA용접에서는 용착량

과 입열량을 별도로 제어할 수 있어 Essers 등은 다양한 소재에 대해 공정변수에 따른 용접특성을 진행하였다²⁻⁴⁾. 특히 플라즈마-GMA용접에서는 플라즈마 아크가 GMA아크 주위에 위치하므로 알루미늄 용접에서의 예열 및 후열효과를 가질 수 있으며, 역극성의 플라즈마가 모재의 산화막을 제거하는 청정작용을 일으킬 수 있으므로 알루미늄 용접에 유리하다고 보고되어 있다³⁻⁵⁾.

최근 플라즈마-GMA 용접에서 토치형상을 단순화한 연구결과들이 발표되고 있는데 비동축 비소모성 전극이 필요하지 않는 “노즐 플라즈마-GMA”방식을 이용하고 전원 제어 및 와이어 송급제어를 이용하여 용접와이어를 전진시켜 모재와 접촉시켜 아크를 발생시킨 후 다시 와이어를 후퇴시키는 방법으로 플라즈마 아크를 발생시키는 방법이 제안되어 아크 스타트에서 스파터 발생을 제어하고 있다⁶⁻⁹⁾. 입열량과 용착량을 별도로 제어할 경우 박판의 용접에서 용락 제어가 가능하며 알루미늄 소재 뿐 아니라 아연도금강판의 브레이징에서의 장점도

위의 연구들에서 언급되었다.

최근 알루미늄의 GMA용접기술도 인버터 용접전원기술, 와이어 송급제어기술, 시너직 제어기술 등의 발달로 인해 용접생산성의 향상이 많이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 비열처리형 합금인 5000계열합금과 열처리형 합금인 6000계열합금에 플라즈마-GMA용접 및 GMA 용접을 적용하고 최대 용접속도 및 용접품질을 평가하여 각 공정의 특성을 파악하고자 하였다. 이 때, 두께 4mm인 모재를 완전용입시킬 수 있는 조건을 선정하였고, CW 및 펄스모드에 대해 각각 특성을 평가하였다.

2. 실험 방법

실험에 사용한 모재는 알루미늄 5052합금과 6061합금으로 길이, 폭 및 두께는 각각 250mm, 100mm, 4mm이다. 1.2mm직경의 Al 5356용접와이어를 사용하여 BOP(Bead-On-Plate)용접을 수행하였다.

GMA용접을 구현하기 위해서는 펄스용접이 가능하고 시너직제어가 이루어지는 Fronius사의 500A급 용접전원인 TPS 5000을 사용하였으며, 팁-모재간 거리는 15mm로 설정하고 전진각 10도로 토치를 기울여 용접을 구현하였다. 용접부를 보호하기 위하여 Ar가스를 30l/min으로 공급하였다.

플라즈마-GMA용접을 위하여 AMT사의 Hybrid 8000R 용접전원을 사용하였다. 이 용접전원은 플라즈마 및 GMA 아크에 각각 최대 400A의 전류를 인가할 수 있다. 용접토치는 TBI사의 PLM 500을 사용하였으며 용접 노즐부의 개략도는 Fig. 1과 같다. GMA 아크, 플라즈마 아크, 용접보호를 위하여 세 가지의 가스를 사용하였는데 Ar가스를 각각 10 l/min, 10 l/min, 15 l/min으로 공급하였다. GMA 용접 팁은 노즐의 끝으로부터 상대적으로 안쪽에 위치하며 팁과 모재간 거리는 28mm로 설정하였으며 모재에 수직으로 용접을 수행하였다.

펄스모드 및 CW모드 각각에 대해 완전용입이 달성되는 용접속도에서 각 공정을 비교하였으며, 용접비드 외관 및 단면형상을 평가하고 X-ray를 이용하여 내부 결함을 검사하였다. 고속카메라를 이용하여 용접 스타트부와 용접진행 중 용접현상을 고속 관찰하였다. 용접 후 50g의 하중을 이용하여 2mm간격으로 비커스 경도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공정 및 소재별 최대 용접속도

Al 5052와 6061모재에 대해 완전용입이 달성되는

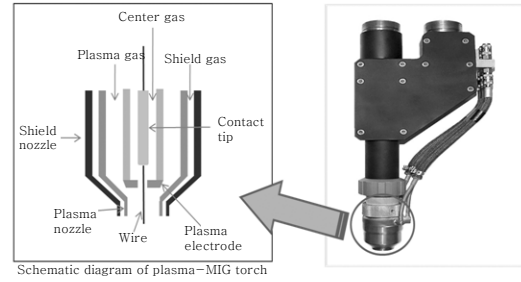


Fig. 1 Plasma-GMA welding torch

최대 용접속도를 Table 1, 2와 같은 조건에서 도출하여 Fig. 2에 나타내었다.

GMA 단독용접에서는 CW모드와 펄스모드에서 동일한 최대용접속도를 가지나 플라즈마-GMA용접에서는 CW모드에 비해 펄스모드에서 약간 낮은 최대용접속도를 보인다. Al 6061합금은 Al 5052합금에 비해 열전도도가 높기 때문에 최대 용접속도가 더 낮은 것을 알 수 있다.

GMA 단독용접과 비교할 때 플라즈마-GMA용접에서는 25~46% 정도 더 빠른 용접속도에서 완전용입 달성이 가능하므로 생산성측면에서 장점을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

3.2 용접부 단면 및 기계적 성질

Table 1과 2의 조건에서 용접을 수행한 시험편의 외관 및 단면 사진은 Fig. 3, 4와 같다. 펄스용접을 사용할 경우 전체 입열량이 줄어들어 따라 상면비드 폭이 줄어들고 볼록한 비드가 형성됨을 알 수 있다. 비드 표면에 있어서 플라즈마-GMA용접을 사용할 경우 플라즈마 아크로 인해 GMA 용접 주변의 넓은 지역에서 청정효과를 일으킴으로서 비드 주변의 청정효과를 확인할 수 있었으나 플라즈마-GMA용접 토치의 크기 제한으로 인해 긴 아크 길이를 이용하였으므로 플라즈마 아크의

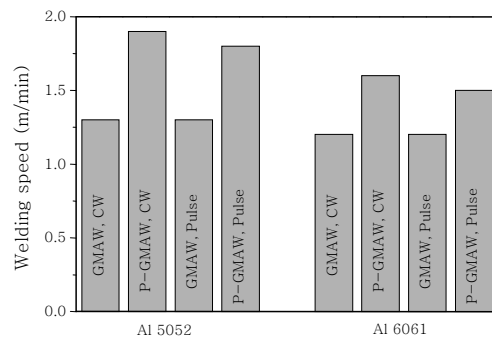


Fig. 2 Maximum welding speed to achieve full penetration for each process

Table 1 Welding parameters for CW mode welding

Material	Process	PAW parameter	GMAW parameters		
		Current (A)	Wire feed speed (m/min)	Current (A)	Voltage (V)
Al 5052	GMAW	-	15.9	291	26.3
Al 5052	Plasma-GMAW	140	20.0	212	28.0
Al 6061	GMAW	-	15.5	280	25.9
Al 6061	Plasma-GMAW	140	20.0	212	28.0

Table 2 Welding parameters for pulse mode welding

Material	Process	PAW parameter	GMAW parameters					
		Current (A)	Wire feed speed (m/min)	Pulse time (ms)	Pulse current (A)	Base current (A)	Frequency (Hz)	Voltage (V)
Al 5052	GMAW	-	15.0	1.6	373	95.5	265.5	24.1
Al 5052	Plasma-GMAW	160	20.0	5.0	278	100	100	28.4
Al 6061	GMAW	-	15.2	1.6	374	96.4	266.4	24.2
Al 6061	Plasma-GMAW	120	20.0	5.0	278	100	100	28.0

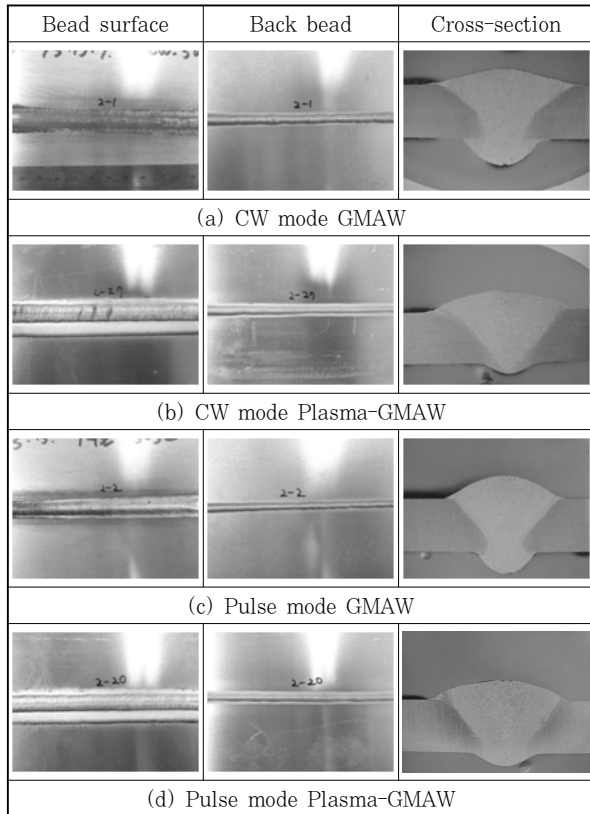


Fig. 3 Weld bead shapes for Al 5052 alloy

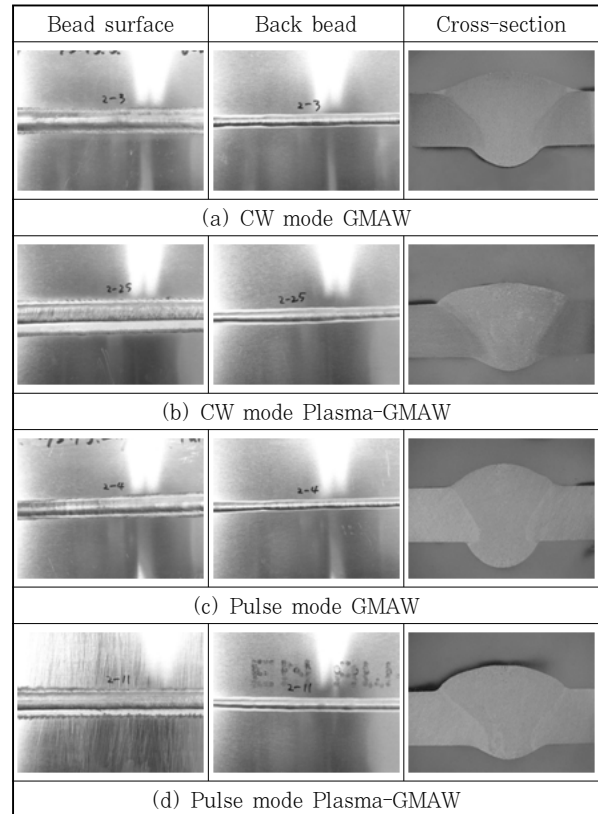


Fig. 4 Weld bead shapes for Al 6061 alloy

솔림 현상이 발생하여 청정효과가 비대칭적으로 발생한 것을 확인할 수 있었다. GMA 단독용접에서는 용입을

확보하기 위해 와이어 송급속도를 빠르게 하여 용접전류를 높게 되는데 이에 따라 아크 압력이 높아져 이

면 비드의 높이도 함께 증가하는 경향을 보이거나 플라즈마-GMA용접에서는 상면에 가하는 플라즈마 아크와 GMA 아크를 개별적으로 제어가 가능하므로 이면 비드 형상제어가 가능하다. 이러한 이면 비드 형상제어를 통해 용락의 제어가 가능하므로 용접속도 향상이 가능하다.

용접부의 기공 및 균열을 검사하기 위하여 각 용접부에 X-ray 시험을 수행한 결과 용접 시작부 및 끝부분을 제외한 본 용접부에서는 결함이 발생하지 않음을 확인하였다.

Fig. 5와 6은 Al 5052합금과 6061합금 용접부의 경도분포를 보여준다. 가공경화형 합금인 Al 5052합금에서는 용접부의 경도저하가 심하지 않으나 열처리형 합금인 Al 6061합금에서는 아크입열로 인하여 용접부에서 경도가 현저히 떨어지는 연화역이 발견된다.

펄스모드 용접과 비교하여 CW용접에서는 입열이 더 크기 때문에 용접부 경도가 다소 저하되고, GMA단독용접에 비해 플라즈마-GMA용접에서는 플라즈마 아크로 인해 용접부 주변에 HAZ 연화가 발생하나 경도차가 크지 않다.

Table 3의 인장시험결과에서 확인할 수 있는 것과 같이 Al 6061합금의 용접부의 연화역은 모재에 비해 용접부 강도를 떨어뜨리는 원인이 되나 용접공법의 차

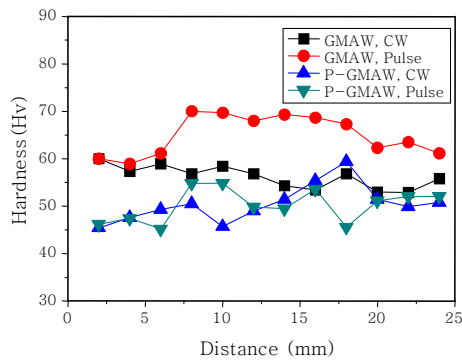


Fig. 5 Hardness distribution for Al 5052 alloy

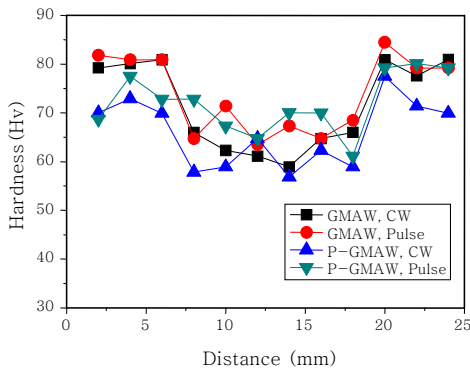


Fig. 6 Hardness distribution for Al 6061 alloy

Table 3 Tensile strength of BOP welds

Material	Process	T.S. of weldment (MPa)	T. S. of base material (MPa)
Al 5052	GMAW(CW)	178.7	190
	GMAW(Pulse)	183.8	
	Plasma-GMAW(CW)	179.8	
	Plasma-GMAW(Pulse)	175.7	
Al 6061	GMAW(CW)	203.8	320
	GMAW(Pulse)	205.6	
	Plasma-GMAW(CW)	204.3	
	Plasma-GMAW(Pulse)	207.0	

이로 인한 인장강도의 차이는 크게 발견할 수 없었다.

3.3 용적이행현상

Al 5052합금 용접시의 용적이행현상을 CW모드 GMA용접, 펄스모드 GMA용접, CW모드 플라즈마-GMA용접에 대해 Fig. 7에 각각 나타내었다. 구간 I~IV는 용적 성장, 용적 이탈, 용적자유이행, 용융풀로 이행되는 구간을 보여준다. GMA단독용접에서도 안정적인 용적이행이 이루어지나 주된 용적이행 외에 원으로 표시한 미세한 스패터가 발생하여 용접부 주변으로 이행되면서 Fig. 3(a)와 3(c)에서도 확인할 수 있는 열영향부표면에 부착된 미세 스패터 형태로 존재한다. 플라즈마-GMA용접에서는 플라즈마 아크로 인한 모재의 청정작용을 확인할 수 있으며 안정된 용적이행이 이루어진다. 또한 플라즈마-GMA용접에서는 GMA 단독용접에 비해 낮은 GMA 용접전류가 이용되므로 상대적으로 큰 용적이 이행된다.

4. 결 론

본 연구에서는 Al 5052합금과 Al 6061합금에 대하여 GMA단독용접과 플라즈마-GMA용접의 공정특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 4mm 두께의 Al 5052와 6061합금 모재를 완전 용입하기 위해 최대용접속도를 비교한 결과 플라즈마-GMA용접적용 시 25~46% 정도의 용접속도의 향상이 가능하였다.

2) 플라즈마-GMA용접적용 시 플라즈마 아크로 인한 표면 청정효과가 확인되었으나 상대적으로 긴 비대칭 아크가 발생하면서 비대칭적인 청정효과를 관찰하였다.

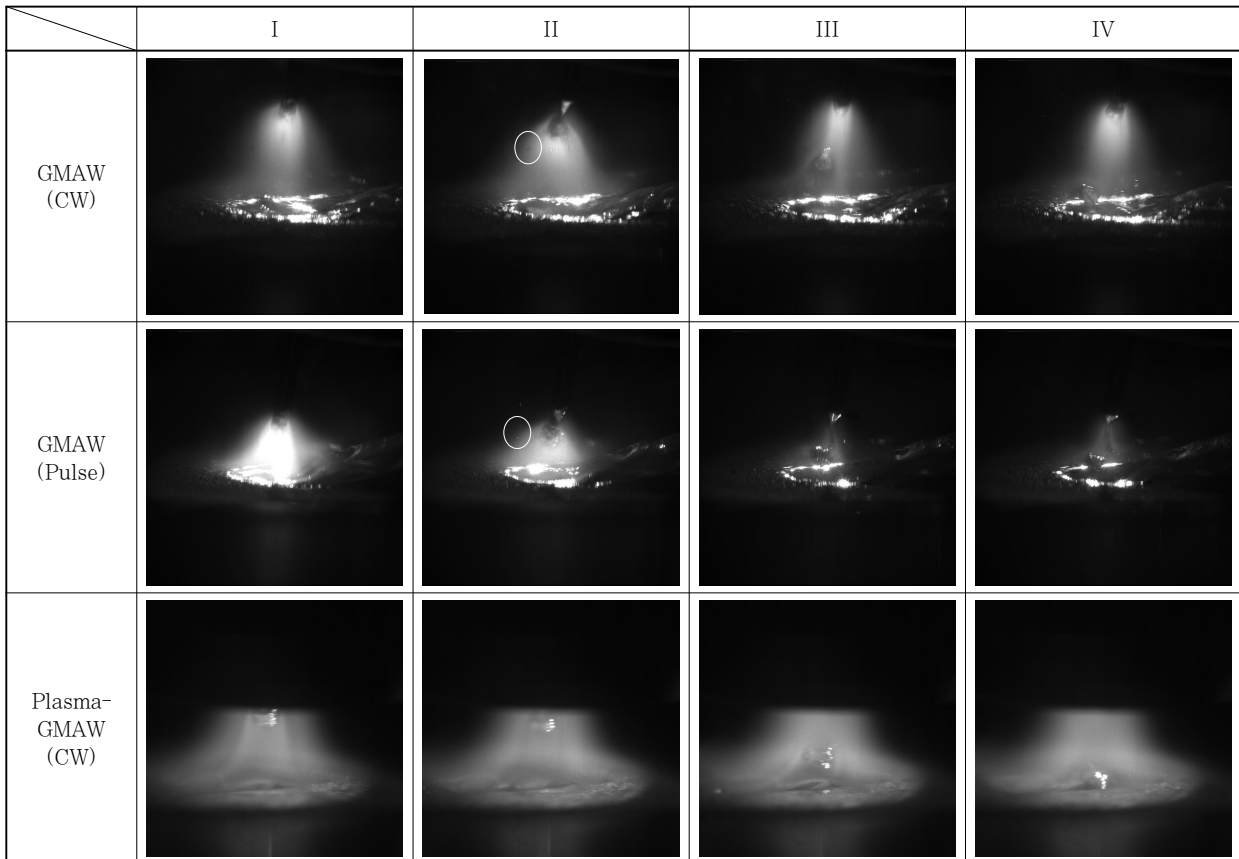


Fig. 7 High speed images for droplet transfer during each process

3) 기공 및 균열이 발생하지 않는 양호한 용접품질 확보가 가능하였으며, 플라즈마-GMA용접 시에는 플라즈마 아크입열로 인해 열영향부의 경도가 다소 저하되나 인장시험 시 GMA단독용접과 유사한 인장강도를 확인하였다.

4) GMA 단독용접에서 용적이행 시 미세한 스파터 발생으로 표면오염을 일으키지만 플라즈마-GMA용접에서는 미세 스파터가 발생하지 않아 더 양호한 표면 품질확보가 가능하였다.

참 고 문 헌

1. W. G. Essers, G. Jelmorini and G. W. Tichelaar : Plasma-MIG Welding, Philips Technical Review, **33-1** (1973), 21-24
2. W. G. Essers : New Process Combines Plasma with GMA Welding, Welding Journal, **55-5** (1976), 394-400
3. W. G. Essers, G. W. Tichelaar and G. A. M. Willems : Plasma-MIG Welding of Aluminum, Aluminum, **53-11** (1977), 663-666 (in Germany)
4. W. G. Essers and R. Walter : Heat Transfer and Penetration Mechanisms with GMA and Plasma-GMA Welding, Welding Journal, **60-2** (1981), 37s-42s
5. Plasma-GMA Welding - a New Way for Aluminum, Welding Design and Fabrication, 54-5 (1981), 89-91
6. M. Kusch and K.-J. Matthes : Plasma-MIG Welding of Aluminum Materials, DVS Report, BD **209** (2000), 47-50 (in Germany)
7. U. Draugelates, B. Bouaifi and J. Bartzsch : New Developements of Plasma-MIG-Hybrid Welding Processes, Aachen Welding Conference - High Productivity Joining Processes Fundamentals, Applications and Equipment, 2001, 103 ~ 116 (in Germany)
8. M. Kusch and S. Thurner : Application of the Plasma-IG Technology for the Joining of Galvanized Steel materials, Welding and Cutting, **7-1** (2008), 54-59
9. K. Ono, Z. Liu, T. Era, T. Uezono, T. ueyama, M. Tanaka and K. Nakata : Development of a Plasma MIG Welding System for Aluminum, Welding International, **23-11** (2009), 805-809